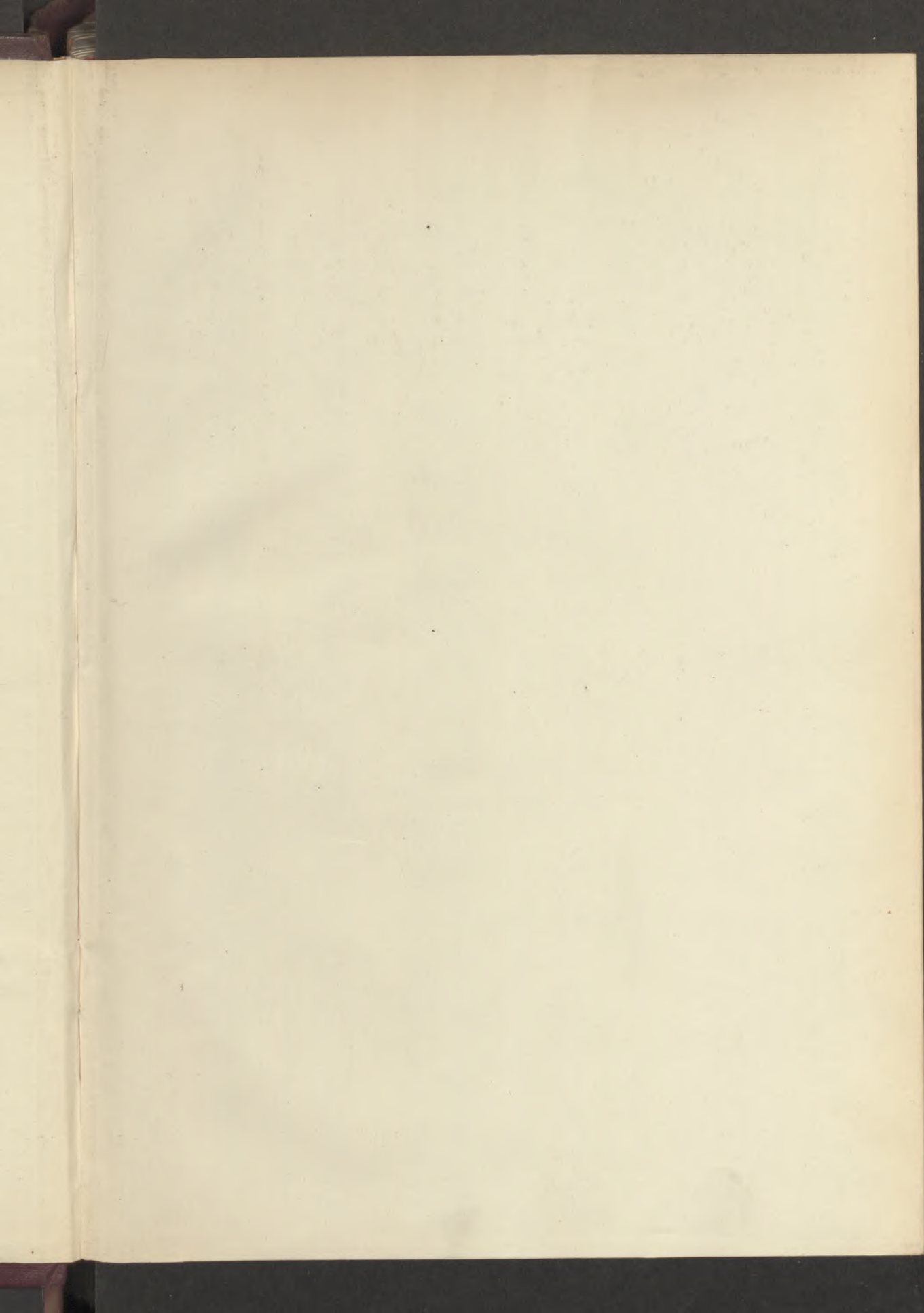




1938 SZEP. - 1.











10.581

# ERDÉSZETI NÖVÉNYTAN

IRTÁK:

† FEKETE LAJOS és MÁGOCSY-DIETZ SÁNDOR  
(1891)

MÁSODIK  
ÁTDOLGOZOTT KIADÁS

IRTÁK:

FEHÉR DÁNIEL és MÁGOCSY-DIETZ SÁNDOR

II. KÖTET  
ÉLETTAN (FIZIOLÓGIA)  
1. RÉSZ:  
A NÖVÉNYEK TÁPLÁLKOZÁSA

KIADJA:

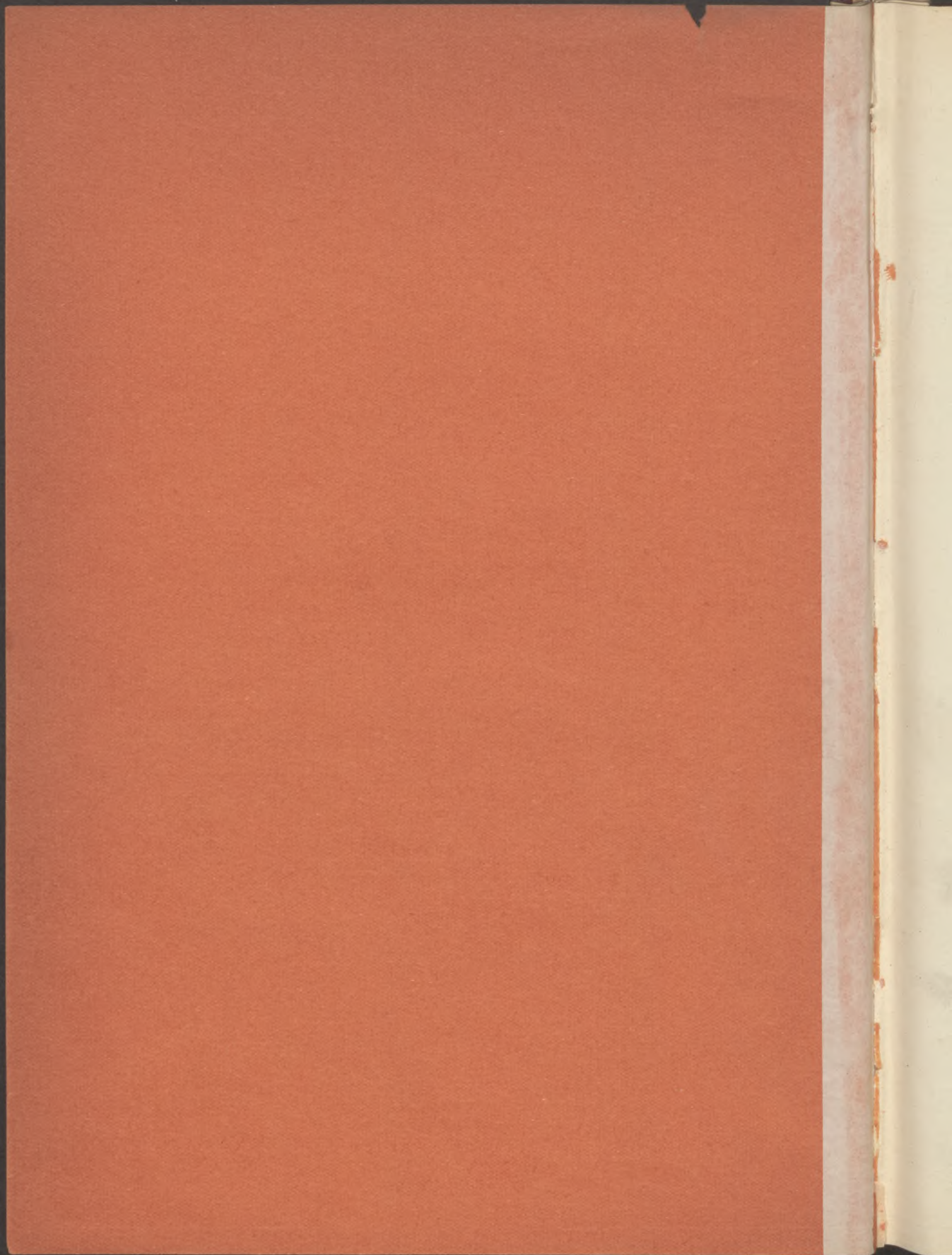
MÁHR ÁRPÁD KÖNYVKERESKEDÉSE, SOPRON

NYOMTATTA:

RÖTTIG-ROMWALTER NYOMDA-RÉSZVÉNYTÁRSASÁG, SOPRON

1931







# ERDÉSZETI NÖVÉNYTAN

IRTÁK :

† FEKETE LAJOS és MÁGOCSY-DIETZ SÁNDOR  
(1891)

## MÁSODIK ÁTDOLGOZOTT KIADÁS

IRTÁK :

FEHÉR DÁNIEL és MÁGOCSY-DIETZ SÁNDOR

## II. KÖTET

### ÉLETTAN (FIZIOLOGIA)

I. RÉSZ:

A NÖVÉNYEK TÁPLÁLKOZÁSA

KIADJA :

MÁHR ÁRPÁD KÖNYVKERESKEDÉSE, SOPRON

NYOMTATTA :

RÖTTIG-ROMWALTER NYOMDA-RÉSZVÉNYTÁRSASÁG, SOPRON

1931

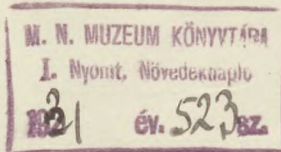


*Oh! tárd ki, tárd ki végtelen nagy ég,  
Rejtélyes és szent könyvedet előttem;  
Törvényidet ha már-már ellesém,  
Felejtem a kort és mindent körülem.  
Te örökös vagy, míg az mind mulandó,  
Te felmagasztalsz, míg amaz lesűjt.*

**(Madách.)**



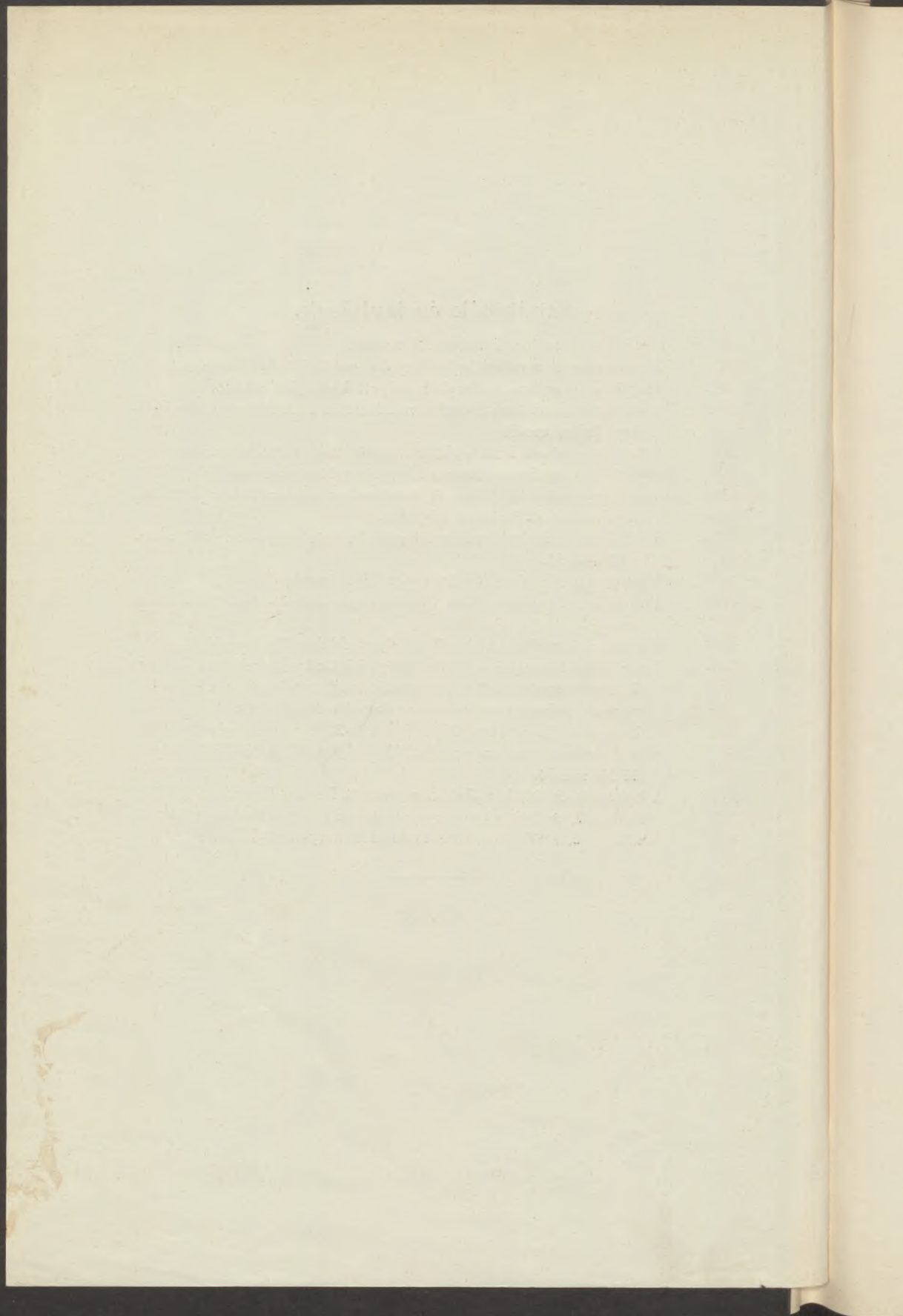
10. 584/2/1





### Sajtóhibák és javítások.

42. old. felülről a 4. sorban *h* helyett *d* irandó.
68. „ 2. bekezdés 6. sorában kolloidion helyett kristalloidion irandó.
68. „ alulról a 6. sorban hydrophob helyett hydrophil irandó.
101. „ a táblázatban az össz-N-tartalom adatainál a tizedespont egy hely-  
lyel balra irandó.
142. „ legutolsó sorában Bact. subtilis helyett Bac. subtilis irandó.
157. „ felülről a 9. sorban bizonyossá helyett valószínűvé irandó.
181. „ utolsó szó után betoldás: A kutatásokat azután Fehér 1926-ban  
Svédország déli részén folytatta.
187. „ felülről a 14. sorban mezőgazdasági helyett mező- és erdőgazda-  
sági irandó.
200. „ felülről az 5. sorban CHS helyett H<sub>2</sub>S irandó.
269. „ alulról a 12. sorban Acer saccharinum helyett Acer saccharum  
irandó.
270. „ felülről a 6. sorban Alchimilla helyett Alchemilla irandó.
280. „ 3. sor végére bepótlás: a jegenyefenyő kivételével, amelynek hiányzó  
belsőgár tracheidáit a tracheidák tangenciális falán elhelyezett  
vermes (udvaros gödörkés) vastagodások pótolják.
307. „ 4. bekezdés 11. sorában 20'93 helyett 20'99, 79'04 helyett 78'03;  
a következő sorban pedig 23'28 helyett 23'14 és 76'67 helyett  
75'51 irandó.
344. „ 3. bekezdés 5. sorában Reimann helyett Reinau irandó.
377. „ alulról a 7. sorban nitrolylcsoport helyett nitroxylcsoport irandó.
413. „ felülről a 6. sorban dextróz és levulóz helyét *d*-glukóz irandó.
-





## ELŐSZÓ.

Amint az I. kötet előszavában mondtuk, a növényélettani kutatások kiterjedt volta következtében a növényélettant egy külön kötetben óhajtottuk közre adni. Sajnos, az irodalmi adatok áttanulmányozásánál mind világosabbá vált, hogy az utolsó 2—3 évtizedben a növényélettani kutatások olyan kiterjedtekké váltak és olyan nagyszabású eredményekkel végződtek, hogy akkor, amikor ennek a tudományágnak alapvető ismereteit a lehetőség szerint teljes részletességgel óhajtjuk nyújtani, nem sikerült ezt a hatalmas anyagot egy kötetben összefoglalni.

Ezért elhatároztuk, hogy a II. kötet anyagát két részre bontjuk olyan módon, hogy az első részben a növények táplálkozását, a második részben pedig a mozgási jelenségeket, a növekedést, a szaporodást és az ökológiát fogjuk teljes részletességgel tárgyalni. Ebben a kötetben tehát a növények táplálkozását tárgyaljuk olyan részletességgel, amint azt a rendelkezésre álló irodalmi adataink és forrásmunkáink összefoglalása megengedi.

A tárgykör alapos tárgyalására már csak azért is szükség volt, minthogy Magyarország agrikultur állam és miután a növénytenyésztésnek a növények táplálkozása képezi legfontosabb alapismereteit, úgy világos, hogy nemcsak tudományos, de általános gazdasági szempontból is okadatolt volt, a legújabb kutatások eredményeit megfelelően összefoglalni. Az anyag besztása annyiban újszerű, hogy az anyag tárgyalását a kor követelményeinek megfelelően exakt kémiai és fizikai alapokra óhajtottuk fektetni. Ennek megfelelően a szorosan vett élettani jelenségeken kívül az ezeknek alapját képező kolloid-kémiai és kémiai-fizikai törvényszerűségeket is tárgyaljuk, továbbá jelentékeny részt biztosítottunk azoknak a talajtani ismereteknek, amelyeknek tudása a talajjal szorosan összefüggő növényélettani jelenségeknek megértése és elképzelése szem-



pontjából elengedhetetlenül szükséges. A növény életjelenségeit, főleg a növények táplálkozásának megértését a talajtan alapiszciplináinak ismerete nélkül ma már elképzelni sem lehet és azért ennek megfelelő fejezetet biztosítottunk, amelyben átnézetes formában még a talaj biológiájára is kiterjeszkedtünk.

A talaj biológiája c. fejezetben a cellulóz korhadásáról szóló részt *vitéz Dr. Bokor Rezső* adjunktus úr dolgozta ki, amelyért neki őszinte köszönetet mondunk.

Hasonlóképpen hálás köszönettel emlékezünk meg *Vági István* főiskolai professzor úrról, aki hozzájárult ahhoz, hogy a „Talajtan” c. kitűnő munkájának fejezeteit tetszés szerint felhasználhassuk.

Hálás köszönetünket nyilvánítjuk *Frank Melánia* úrhölgynek, aki a kézirat sajtó alá rendezésében és a kefelenyomatok olvasásában messzemenő odaadással támogatott bennünket.

*Kiss Lajos* kertészeti főintéző úr a tárgymutató összeállításával, *Döme Károly*, a m. kir. bányamérnöki és erdőmérnöki főiskola növénytan intézetének laboránsa, pedig az eredeti felvételek készítésével nagy segítségünkre voltak. Mindkettőjüknek e helyen is hálás köszönetet mondunk.

Végül szeretettel és hálával emlékezünk meg a m. kir. földművelésügyi minisztérium erdészeti főosztálya vezetőjéről: *Papp Béla* miniszteri tanácsos úrról, aki megértő és melegszívű támogatásával a mai nehéz pénzügyi viszonyok ellenére is lehetővé tette munkánk megjelenését.

Budapest—Sopron, 1931. április havában.

#### Dr. Fehér Dániel

a m. kir. bányamérnöki és erdőmérnöki főiskola rendes tanára, a főiskola növénytan intézetének és botanikus kertjének vezetője.

#### Dr. Mágocsy-Dietz Sándor

a m. kir. Pázmány Péter tudományegyetem nyug. ny. r. tanára, az egyetem növénykertjének és általános növénytan intézetének volt igazgatója.



# TARTALOMJEGYZÉK.

Előszó.

## II. rész: Növényélettan (Fiziológia).

Bevezetés. Az élet fogalma.

*A táplálkozás.*

Bevezetés . . . . .	3	A talaj adszorpciója . . . . .	101
A növényi test kémiai összetétele . . . . .	6	A talajok osztályozása . . . . .	105
A növényi test szerves alkotórészei . . . . .	7	A talajok mesterséges osztályozása . . . . .	105
A növényi test szervetlen alkotórészei (Hamualkotórészek) . . . . .	17	A talajok természetes osztályozása . . . . .	110
A víz . . . . .	33	A talaj biológiája . . . . .	128
A növények életfolyamatainak kolloidális rendszere . . . . .	39	A talajbaktériumok . . . . .	131
A kolloidoknak egyes jellemző sajátságai		A cellulóz korhadása és rothadása . . . . .	134
Diffúzió és ozmózis . . . . .	49	Egyéb szénhidrátok bontása . . . . .	142
Vizkozitás és felületi feszültség . . . . .	50	Zsírok és zsírsavak bontása . . . . .	143
A kolloid oldatok elektromos sajátságai és adszorpciós jelenségei . . . . .	53	A fehérjék bomlása . . . . .	144
A hőmérséklet befolyása a növényekben lefolyó biokémiai reakciókra . . . . .	70	A talaj gombái . . . . .	155
A növények táplálóanyagai és ezeknek forrásai . . . . .	73	A talaj algái . . . . .	156
A levegő . . . . .	73	A talaj protozoái . . . . .	157
A talaj . . . . .	74	A talaj faunája . . . . .	158
A talaj fizikai sajátságai		A talaj biológiájának mezőgazdasági jelentősége . . . . .	160
A talaj alkotórészei . . . . .	77	Az erdőtalaj biológiája és annak az erdő életét befolyásoló jelentősége . . . . .	168
A talaj szerkezete . . . . .	82	Az erdőtalaj mikroflórája . . . . .	170
A talaj kohéziója és adhéziója . . . . .	87	Az erdőtalaj mikrofaunája . . . . .	175
A talaj vízáthocsátó képessége . . . . .	91	Az erdőtalaj CO <sub>2</sub> -termelése . . . . .	180
A talaj levegőgazdálkodása . . . . .	92	Az erdőtalaj N-anyagcseréje . . . . .	195
A talaj hőmérséklete . . . . .	93	A humusz . . . . .	200
A talaj kémiai sajátságai		A talajok elsavanyodása és annak biológiai jelentősége . . . . .	204
A talaj kémiai összetétele . . . . .	95	A diffúzió, ozmózis és turgor . . . . .	211
		A víz és az abban oldott táplálóanyagok felvétele . . . . .	225
		A növények párolgása . . . . .	236
		A párolgás mérése . . . . .	237

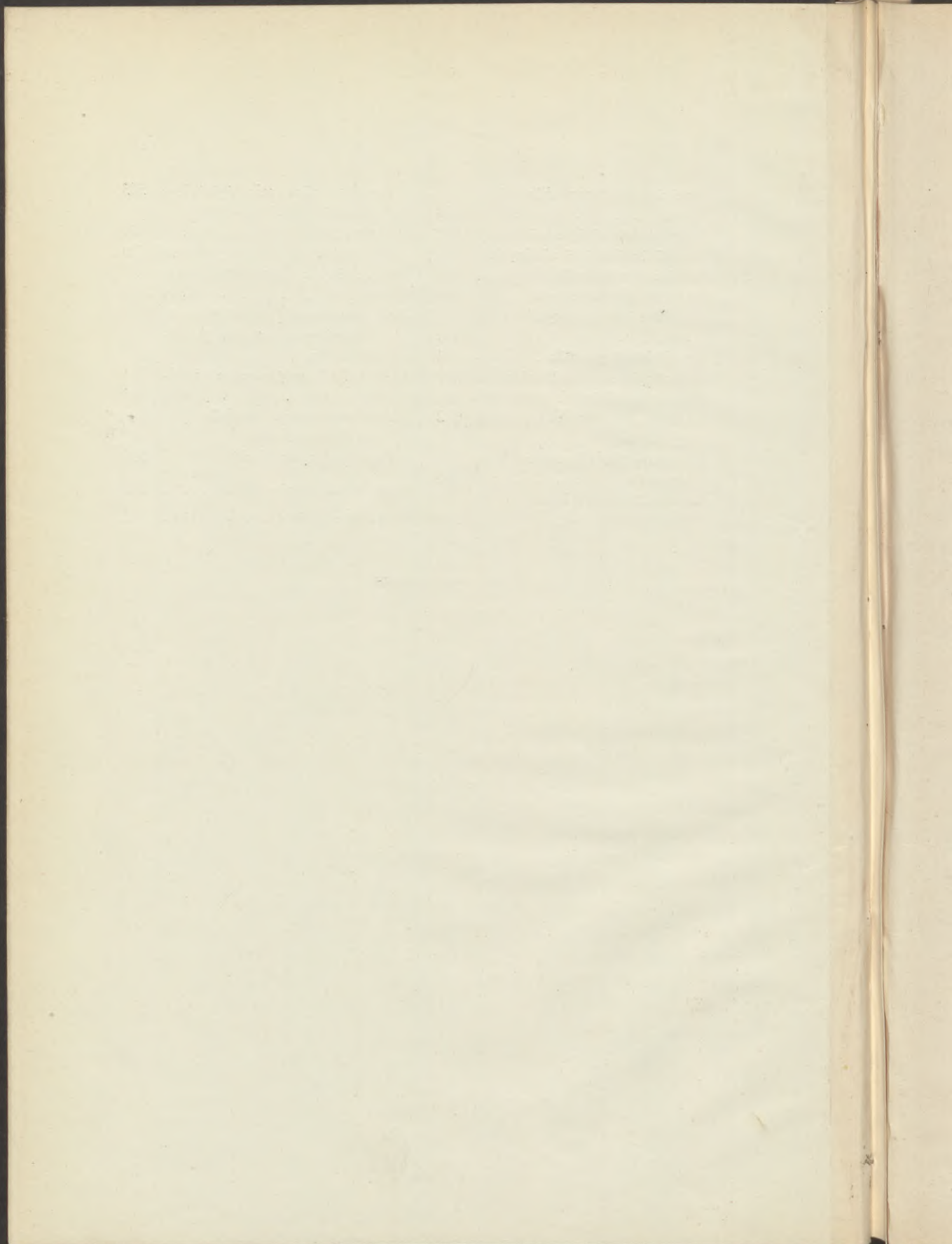


## VI

A növények által elpárologtatott víz mennyisége . . . . .	246	Az asszimiláták szerepe . . . . .	386
A párolgás törvényszerűségei . . . . .	253	A tartalék táplálóanyagok . . . . .	390
A víznek cseppekben való kiválása a növényekből . . . . .	259	Az enzimek . . . . .	395
A párolgás haszna . . . . .	260	Az organikus anyag vándorlása . . . . .	397
A víz szállítása . . . . .	261	A csírázás, a rügyfakadás és a sarjadzás . . . . .	402
A gyökérnyomás . . . . .	266	A szállításra alkalmas anyagok és a szállítás célja . . . . .	413
A cseppfolyós víz kiválasztása . . . . .	271	A vándorlás okai és útjai . . . . .	415
A levelek vízszívása . . . . .	276	A vándorló- és építőanyagok . . . . .	418
A vízkultúrák . . . . .	285	A tartalék táplálóanyagok megalakulása . . . . .	419
A tápláló sók elemeinek viszonylagos mennyisége . . . . .	296	Az anyagcsere melléktermékei . . . . .	420
Az erdő évi ásványi táplálóanyag szükséglete és annak fedezete . . . . .	301	Az anyagcsere időszakossága . . . . .	424
A szén asszimilálása . . . . .	305	A gázok vándorlása . . . . .	425
A növények széntartalma és a szén forrása . . . . .	306	A szerves anyagoknak a növény testében oxydációs úton való elbontása . . . . .	427
A széndioxyd felvétele . . . . .	311	Az erjedések . . . . .	427
Az asszimiláció lefolyása . . . . .	312	Az alkoholos erjedés . . . . .	428
Az asszimilálás látható terméke . . . . .	325	A tejsavas erjedés . . . . .	433
A fény szerepe az asszimilációnál . . . . .	328	A vajsavas erjedés . . . . .	433
A hőmérséklet szerepe az asszimilációnál . . . . .	335	Az erjedést befolyásoló külső tényezők . . . . .	435
Egyéb, az asszimiláció menetét befolyásoló tényezők . . . . .	338	Az erjedés gyakorlati jelentősége és hasznosítása . . . . .	436
Az erdő CO <sub>2</sub> -táplálkozása . . . . .	339	Egyéb erjedési folyamatok . . . . .	438
A nitrogén asszimilálása . . . . .	349	A lélekzés . . . . .	443
A nitrogén forrása és felvételének módja . . . . .	351	A lélekzés anyaga . . . . .	444
A levegő N-jét megkötő talajbaktériumok . . . . .	356	A lélekzés bizonyítása . . . . .	456
A nitrogént lekötő gyökérbeli baktériumok . . . . .	360	Hogyan jut az oxygén a növény testébe . . . . .	458
A fehérjék szintézise a növényben . . . . .	373	A lélekzést módosító külső körülmények . . . . .	463
A mykorrhiza élettani jelentősége . . . . .	381	A lélekzés és a hőfejlődés . . . . .	467
A hamúalkotórészek asszimilálása . . . . .	384	Az intramolekuláris lélekzés . . . . .	470
Az asszimilált anyagok szállítása és felhasználása . . . . .		A H, H <sub>2</sub> S, a CH <sub>4</sub> és a NH <sub>3</sub> oxydációja autotrof baktériumok által . . . . .	472
		A heterotrof növények táplálkozása . . . . .	
		A szaprofiták . . . . .	473
		A rendes táplálkozású növények . . . . .	473
		Az autotrof növények . . . . .	474
		A heterotrof növények . . . . .	475

A virágtalan szaprofita növények . . . . .	478	Az oltott növények együttélése	523
A szaprofita virágos növények	482	A térbeli élősködés mint együttélés . . . . .	524
A húsevő és élősködő növények		Az állat és növény együttélése	526
A húsevő növények . . . . .	484	A növények diszjunktus szimbiózisa . . . . .	539
Az élősködő növények . . . . .	491	Az anyagcsere jelentősége és eredménye. Az energia átalakulása.	
Az élősködő növények sajátosságai . . . . .	494	A táplálék megszerzése és feldolgozása . . . . .	542
Az élősködő gombák . . . . .	494	Az anyagcsere szabályozása és alkalmazkodása . . . . .	545
A gazdanövény elváltozásai . . . . .	499	Az energia átalakulása . . . . .	546
A virágos növények élősködése	501	Felhasznált forrásmunkák . . . . .	555
Az élősködő növények tápláléka	512	Betűrendes név- és tárgymutató . . . . .	562
Az együttélés			
A növény táplálkozására ható tényezők . . . . .	514		
Az együttélés értelmezése . . . . .	516		
A lichenizmus . . . . .	519		





## II. RÉSZ.

# ÉLETTAN (Fiziológia).

### Bevezetés.

#### Az élet fogalma.

A földet benépesítő élőlények általában olyan határozott sajátságokkal és tulajdonságokkal bírnak, amelyek ezeket az őket körülvevő élettelen anyagoktól élesen és határozottan megkülönböztetik. Ezek az általános tulajdonságok a következők: 1. A táplálkozás, illetőleg azoknak a kémiai és fizikai folyamatoknak az összessége, amelyek az élőlények anyagcseréjét lehetővé teszik; 2. az élőlények alakjának változása, illetőleg azoknak a növekedése; 3. a mozgás és 4. a szaporodás.

Általában véve az állatok és a növények életfolyamatai azonos kémiai és fizikai törvényszerűségeken alapszanak. Azonban ezeknek a viszonylagos külső megnyilvánulása az élőlények fenti két nagy csoportja között határozott különbséget mutat, amely különbözőségek különösen a fejlődés magasabb fokán álló állati és növényi egyedeket határozottan elválasztják egymástól.

Az állatok és a növények életfolyamataiban különösen a táplálkozás terén találunk olyan határozott és éles különbségeket, amelyek általános vonatkozásaikban az állatokat és növényeket határozottan elválasztják egymástól. Amíg ugyanis a növény szénasszimilációjának nevezett élettani folyamata alatt a levegő szén savából, a talajvízből és az ebben oldott szervetlen sókból a sejtjeiben jelenlévő zöld chloroplaszták segítségével a nap fény- és hőenergiájának hatására szerves anyagokat képes készíteni, addig az állati szervezet szervetlen anyagból szerves



vegyületet önállóan alakítani nem tud, táplálkozás szempontjából tehát a növényekre van utalva, miután az előbb említett asszimilációs folyamatok alatt a növények készítik el azokat a magasabbrendű és komplikált összetétellel bíró szerves anyagokat, amelyeket az állat táplálkozási életfolyamatakor felhasznál.

A fentiek alapján tehát határozottan kimondhatjuk, hogy a növényevő állatok közvetlenül, a húsevő állatok pedig közvetve — az előbbieket testében felhalmozott és a növényektől átvett szerves vegyületek felhasználása útján — a növényekre vannak utalva.

Az élők világának e két nagy csoportja között tehát egy szerves együttélés van kifejlődve, amelyet még határozottabbá tesz az a körülmény, hogy az állatok a növényeknél élenkebb lélekzési folyamataik elvégzéséhez szükséges oxigént szintén túlnyomó részben a növényi asszimiláció kapcsán felszabaduló O-ból nyerik, míg ezzel ellentétben a növények az állati szervezet életműködése közben termelt CO<sub>2</sub>-t a maguk asszimilatórikus tevékenységük céljaira hasznosítják.

Amíg az állat- és növényország közös életfolyamatait összefoglalóan és egymással összehasonlítva az ú. n. élettan tárgyalja, addig az életfolyamatoknak csupán a növényekre vonatkozó részével a növényélettan, az állatok különleges életfolyamataival pedig az állati élettan foglalkozik.

A növényélettan tárgyalási menetére és az anyag felosztására vonatkozólag nem egységesek a vélemények. Így a növényélettan egyik legkiválóbb úttörője Pfeffer külön tárgyalja az anyag- és külön az energiaváltozást. Újabban Kostytschew pedig kémiai és fizikai fiziológia szerint csoportosítja az élettan anyagát. Ezzel ellentétben Jost megkülönbözteti az anyagcserére, a mozgásokra, illetőleg a helyváltoztatásra és az alakváltoztatásra vonatkozó életjelenségeket. Mi teljes egészében egyik rendszert sem fogadjuk el, hanem céljainknak megfelelően az élettan anyagát a táplálkozásra, a növekedésre és a szaporodásra, azután a mozgási jelenségekre, végül pedig az ökológiára osztjuk fel.

---



## I. FEJEZET.

### A TÁPLÁLKOZÁS.

#### Bevezetés.

A növények táplálkozása már a legrégebbi időben is lekötötte a tudósok és bölcselek figyelmét. A növényélettannak ez a része volt az, amelyik az emberiség szempontjából a legnagyobb fontossággal bírt, miután a gazdasági növények és ezek után a gyógyszerül használt ú. n. orvosi növények tenyésztésekor már korán mutatkozott annak a szükségessége, hogy az ezekkel való okszerű gazdálkodás céljából az emberiség azokkal a táplálóanyagokkal ismerkedjék meg, amelyek ezeknek a növényeknek a táplálkozási menetét befolyásolják.

Már *Aristoteles* is foglalkozott a növények táplálkozásával, azonban természetesen sohasem szabad elfelejtenünk, hogy a növények táplálkozására vonatkozó ismeretek fejlődése a kémiai és fizikai tudományok fejlődésével tartott szorosan lépést és így nagyon természetes, hogy az első kezdetleges megfigyelések, még a megfigyelők kiváló szellemi képességei mellett sem szolgáltathatták ezeknek az életjelenségeknek a kellő megismerését. *Aristoteles* azt hitte, hogy a növény testének összes anyagát a földből nyeri és nagyon természetes, hogy ő az akkori megfigyelési eszközök kezdetleges volta mellett nem jöhetett még rá az asszimilációra.

Egészen a XVI. századig a növény táplálkozására vonatkozó ismeretek alig fejlődtek valamit. Az első volt *Cesalpini Andrea*, aki a növény testében végbemenő nedváramlással és általában a növények táplálék felvételével foglalkozott és vele együtt *Jung Joachim* szintén a növényi anyagcserét tette vizsgálatá tárgyává. Ebben az időben természetesen az asszimiláció maga még mindig nem volt ismeretes, de a talajon kívül



mindinkább előtérbe nyomult az asszimiláció egyik fontos tényezőjének, a víznek szükségszerű megismerése, miután a víznek a növény életében való szükségességét az ember mindennapi élettapasztalatai is megmagyarázták.

A növényélettan egyik legkiválóbb úttörője *Helmont Jan*, aki elsőnek jött rá kísérleti úton arra, hogy a növény testét alkotó összes anyagok semmiesetre sem származhatnak a talajból. Igaz, hogy ő a súlytöbbletet a vízzel magyarázza meg, állítását azonban már *Woodward* 1691-ben is hamisnak találta.

Az asszimiláció megismerése szempontjából nem hagyhatjuk megemlítés nélkül a növényanatómia nagy mesterének, *Malpighi Marcello* nevének a megemlítését sem, aki elsőnek mutatott rá a növény leveleire, mint arra a műhelyre, ahol a növény a testét felépítő anyagoknak túlnyomó részét képezi. *Mariotte E.* pedig *Aristoteles* felfogását végleg megdöntötte annak a tételének felállításával, hogy a növény a testét felépítő anyagok túlnyomó részét a talajból felvett, aránylag kevés anyagból, áthasonítás útján készíti. *Hales Stephen* volt az első, aki annak a nézetének adott kifejezést, hogy a növények anyagcseréjüknel a levegő gáznemű anyagait is felhasználják. *Black I.* pedig kimutatta, hogy az égésnél, lélekzésnél és erjedésnél keletkezett gáznemű anyagok azonosak. *Priestley I.* fedezte fel a növények oxigénkiválasztását, amelyet azonban tőle függetlenül *Scheele C. W.* is megtalált; viszont *Lavoisier A. L.* mutatta ki először 1780-ban, hogy a lélekzés lassú égésnek tekinthető és végül 1786-ban felfedezte, hogy a levegő nem elem, hanem két gáznemű elemnek — az oxigénnek és nitrogénnek — elegye.

*Ingen-Houss Jan* 1779-ben mutatott rá először arra a körülményre, hogy a növényrészekből, különösen a vizinövényekből a napsugarak hatására kiváló gázbuborékokat nem a nap melege, hanem a nap fénye váltja ki. Ő volt az első, aki 1796-ban végleg kimondja a növényi asszimiláció első és legfontosabb alaptörvényét, amely szerint a növények szén-savat vesznek fel és oxigént lélekzenek ki, viszont az emberek és állatok az ilyen módon keletkezett oxigént hasznosítják, azzal



testükben lassú elégést idéznek elő és ezen elégés alkalmával szénsavat lehelnek ki, amelyet a növények ismét hasznosítani tudnak. 1782-ben a svájci Senebier Jean erősítette meg teljesen függetlenül és önálló vizsgálatok alapján Ingen-Houssnak az eredményeit.

Ennek a két kutatónak a vizsgálatai azonban csak kvalitatív természetűek voltak. Egyik sem foglalkozott azzal a kérdéssel, hogy a levegő szénsavából lekötött szén csakugyan gyarápítja-e a növény testét. Ezt végleg 1804-ben Saussure Theodore bizonyította be.

Ezek után rendkívül érdekes ennek az ismeretkörnek a fejlődése szempontjából az, hogy dacára ezen nagy felfedezéseknek, mégis Thaer A. egy új elméletet, az ú. n. húmuszelméletet állította fel, amely egészen Liebig fellépéséig erősen tartotta magát. Thaer és követői ugyanis azt állították, hogy a növények táplálkozása szempontjából a legnagyobb fontossággal a talaj televénye, a húmusz bír és el is nevezték elméletüket húmuszelméletnek.

Liebignek 1840-ben megjelent alapvető munkája „Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie” döntötte meg ezt az elméletet és bizonyította be most már véglegesen és megdönthetetlenül azt a valót, hogy a levegő szénsava a legfontosabb növényi táplálék és főleg azt a nagyjelentőségű folyamatot, hogy a növény szerves vegyületeinek alakításához szükséges szert nem a talajból, hanem a levegőből veszi fel.

Azonban egészen Sachs Julius-nak a fellépéséig hiányoztak a közelebbi adatok és ismeretek arra vonatkozólag, hogy hogyan alakítja a növény tovább az ilyen módon nyert szénét. Sachs alapvető felfedezését 1862-ben tette közzé, amelyben most már világosan és minden kétséget kizáróan bebizonyította, hogy a növény leveleiben felhalmozott zöld festőanyagban a a chlorophyllban képződik az asszimiláció útján felvett szénből az első szerves anyag, a keményítő, amelyet azután a növény további szerves anyagainak alakítása céljából használ fel.

Ezzel kapcsolatosan a növényfiziológia egy másik kiváló úttörője Pfeffer W. 1876-ban hozta nyilvánosságra klasszikus



könyvében: „Osmotische Untersuchungen“ az ozmotikus nyomásra vonatkozó felfedezését, amelyeknek a törvényszerűségeit exakt alapokon később Van 't Hoff építette ki és amely törvényszerűségek azután a növény testében lefolyó anyagvándorlást teljességgel megmagyarázzák és új világításba helyezik.

Amint látjuk tehát a növények életfolyamataira vonatkozó fontosabb felfedezések még a XIX. század közepéig is elnyúltak és csak a XIX. század második felében kezdhetette azután meg a növényélettani tudomány ezen alapvető felfedezések birtokában a növény életére vonatkozó törvényszerűségek részletes kutatását és megismerését.

Rendkívül messze vezetne, ha itt ezen a helyen az idevonatkozó kutatókat, akiknek egy jórésze még ma is él, névszerint említeni óhajtanánk. Csak tájékozásul álljanak itt a következő ismertebb nevek: Jost, Benecke, Haberlandt, Schwendener, Kostytschew, Lepeschkin, Bonnier, Bachmann, Bose, Frank, Hartig, Hofmeister, Pringsheim, Vöchting, Tubeuf, Dutrochet, Fitting, Darwin, Czapek, Sierp, Stahl, Wiesner, Molisch, Kniep; hazánkban: Dorner M., Szabó Z., Pál A., stb.

### A növényi test kémiai összetétele.

A növényi test kémiai összetételének ismerete rendkívül fontos, mivel a növények táplálkozásának a vizsgálatakor természetesen elsősorban azoknak az anyagoknak a megismerése jön tekintetbe, amelyeket a növényi test alkotó anyagai között megtalálunk. A növényi testet alkotó kémiai vegyületeket általában két nagy csoportra oszthatjuk; nevezetesen az első csoportba soroljuk a növényi test szerves alkotórészeit, a második csoportba pedig a növényi testnek szervetlen sókból álló részeit. A növényi test alkotórészeit, különösen a növényi testnek azokat a szerves és szervetlen vegyületeit, amelyeket az élő sejtekben, továbbá az élettelen sejtek falában megtalálunk, már az I. kötetben, a sejt kémiájának az ismertetésekor részletesen



tárgyaltuk. Ezen a helyen most már csak egy átnézetét fogjuk adni ezeknek a fontosabb anyagoknak.

#### A) A növényi test szerves alkotórészei.

A növényi test szerves alkotórészeit megint két nagy csoportra oszthatjuk fel, nevezetesen: a nitrogén nélküli és a nitrogéntartalmú vegyületek két nagy csoportjára.

A *nitrogén nélküli vegyületek* csoportjába most már, az I. részben tárgyalt elemi ismeretek alapján, a következő főbb vegyületcsoportokat soroljuk:

1. *Szénhidrátok*. Idetartoznak a *monosaccharidák*, vagy a monosaccharidok, amelyek közül a növényekben leggyakrabban a következőket találjuk: a *pentózokat* ( $C_5H_{10}O_5$ ); ilyenek: az *arabinóz*, *xylóz*, *ramnóz*, *fukóz*\*); azután a *hatvegyértékű cukrokat*, a *hexózokat* ( $C_6H_{12}O_6$ ), ezek között a legközönségesebb a *szőlőcukor* (*d-glukóz*\*\*) és a *gyümölcs-cukor* (*fruktóz*), azután a *galaktóz*, *mannóz*; továbbá az *összetett cukrokat*, amelyek két, vagy több molekula cukornak az egyesüléséből keletkeznek. Ezek leggyakoribb képviselője a növényekben az *ú. n. disaccharidák*, amelyek közül többször előfordulók a *maltóz*, amely két molekula *d-glukózból*, továbbá a *saccharóz*, amely viszont *d-glukózból* és *d-fruktózból* áll.

Hasonlóképen rendkívül fontosak a növényi testben előforduló *ú. n. polysaccharidák*, amelyek szintén egyszerű cukrokból, több cukormolekula kondenzációs úton való egyesülése folytán keletkeznek. Ezek között viszont a leggyakoribbak az *inulin*  $x(C_6H_{10}O_5) + H_2O$ , a *glykogén*  $x(C_6H_{10}O_5)$ , a *keményítő*  $x(C_6H_{10}O_5)$ , azután a *hatvegyértékű cukrok kondenzációjából* alakult *cellulóz*  $x(C_6H_{10}O_5)$ , továbbá a *hemicellulózok*, amelyek viszont *hatvegyértékű és ötvegyértékű cukormolekulák kondenzációjából* keletkeznek. Idetartozik a *pektin* is, amely a növények sejtfalának fontos alkotórésze.

2. *Organikus savak*, amelyek a növényvilágban szín-

\*) Ezek *methylopentózok*.

\*\*) Régebbi nevén *dextróz*.



tén rendkívül gyakoriak. Ezek közül a legközönségesebbek az oxálsav ( $\text{CO}_2\text{H}.\text{CO}_2\text{H}$ ), az almasav ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$ ), a borkősav ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ ) és a borostyánkősav ( $\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$ )<sub>2</sub>. Aránylag ritkábban szerepelnek az egybázisú zsírsavak, mint a hangyasav ( $\text{H}.\text{CO}_2\text{H}$ ), az ecetsav ( $\text{CH}_3.\text{COOH}$ ), a propionsav ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ ) és a vajsav ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ).

3. Zsírok, zsíros olajok, viasz, suberin, kutin. A zsírok és zsíros olajok a glicerinnel palmitinsavas ( $\text{C}_{15}\text{H}_{31}.\text{CO}_2\text{H}$ ), stearinsavas ( $\text{C}_{17}\text{H}_{35}.\text{CO}_2\text{H}$ ) és olajsavas ( $\text{C}_{17}\text{H}_{33}.\text{CO}_2\text{H}$ ) eszterei, azonban egyes zsírokban más zsírsavak is előfordulhatnak. Amint már említettük, a zsírok a növényekben a tartalék táplálóanyagok szerepét játsszák és egyes növényekben, így pl. a puhafákban a keményítőt, mint tartalék táplálóanyagot teljesen háttérbe szorítják. Idetartozik még a parasejtek anyaga, a suberin, azután a kutin, továbbá idesoroljuk még a zsírokkal rokon vegyületeket, a phytosterineket és az élő sejtek fontos anyagát, a lecithineket.

4. Aetherikus (illanó) olajok és gyanták. Az első rendszerint a terpeneknek és ezek származékainak, továbbá a gyantasavnak, növényi alkoholnak és más szerves vegyületnek a keverékei; ilyenek a menthol ( $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$ ), a terpinen ( $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ ), a kámfor ( $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$ ) stb.; a gyanták viszont gyantasavaknak és phenoloknak, továbbá reszineknek és terpeneknek a keverékei. Idetartozik a szénhidrogén pinen ( $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ ), amely a tűlevelűek aetherikus olajának, a terpentinolajnak főalkotórésze. A terpenekhez hasonló összetételű a sok növénynek tejnedvéből nyert kaucsuk, amely Harries szerint legnagyobbbrészt  $\text{x}(\text{C}_5\text{H}_8)$  összetételű szénhidrogénekből áll.

5. Glykozidák, amelyek nem egyebek, mint a cukroknak különböző aromatikusan anyagokkal képzett eszterei; egy részük N-t is tartalmaz. Ilyenek pl. a salicin  $\text{C}_{13}\text{H}_{18}\text{O}_7$ , a populin  $\text{C}_{20}\text{H}_{22}\text{O}_8$ , a syringin  $\text{C}_{17}\text{H}_{24}\text{O}_9$ , az aesculin  $\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{O}_9$  stb.

6. Cserzőanyagok, amelyeknek pontos kémiai összetételét még egyelőre nem ismerjük. Fischer szerint a cukrokkal rokon vegyületek: glukodepsidek.



7. Növényi alkoholok, ilyenek: a methylalkohol  $\text{CH}_3\text{OH}$ , az aethylalkohol  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ , citral  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$ , mannit  $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_4\text{CH}_2\text{OH}$ , sorbit, dulcit stb.

8. Aldehydekek és ketonok, pl. a formaldehyd  $\text{H.CO.H}$ , laurinaldehyd  $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}$  stb.

9. Aromatikus szénhydrogének és phenolok, pl. a phloroglucin  $\text{C}_6\text{H}_3\text{OH.OH.OH}$ , orcin  $\text{C}_6\text{H}_3\text{OH.OH.CH}_3$  stb.

10. Chinonok, pl. az alizarin  $\text{C}_{14}\text{H}_8\text{O}_4$  stb.

11. Aromatikus alkoholok, pl. a salicylalkohol  $\text{OH.C}_6\text{H}_4\text{CH}_2\text{OH}$ , a coniferylalkohol  $\text{C}_6\text{H}_3\text{CH.CH.CH}_2\text{OH.OCH}_3\text{OH}$  stb.

12. Aromatikus aldehydekek, benzaldehyd  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$ , vanillin  $\text{C}_6\text{H}_3\text{COH.OCH}_3\text{OH}$  stb.

13. Aromatikus karbonsavak, pl. a cumarin  $\text{C}_6\text{H}_4\text{O—CO}$  salicylsav  $\text{HO.C}_6\text{H}_4\text{CO}_2\text{H}$ , daphnetin stb.

14. Sterinek, ilyen a cholesterin  $\text{C}_{27}\text{H}_{45}\text{OH}$ , sitosterin  $\text{C}_{27}\text{H}_{45}\text{OH}$  stb.

15. Indolderivátok, pl. az indol  $\text{C}_8\text{H}_7\text{N}$ , skatol  $\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$ , stb.

16. Aliphaticus aminok, pl. a methylamin  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ , ephedrin  $\text{C}_{10}\text{H}_{15}\text{NO}$  stb.

A cholincsoport vegyületei, mint a cholin  $\text{C}_5\text{H}_{15}\text{NO}_2$ , betain  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O}_2\text{N}$  stb.

17. Kéntartalmú vegyületek, ilyenek az allylmustárolaj  $\text{C}_3\text{H}_5\text{NCS}$ , sinigrin, stb.

18. A pyrrolcsoport vegyületei, idetartozik a chlorophyll, karotin  $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$  és xanthophyll  $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_2$  stb.

*Nitrogéntartalmú vegyületek.* 1. Idesoroljuk a növény életében kiválóan fontos szerepet játszó fehérjéket. A fehérjéket két nagy csoportra osztjuk, mégpedig a proteinek és a proteidek csoportjára. A proteinek a tulajdonképeni, valódi fehér-



jék, a proteidek pedig az előbbieknél más vegyületekkel való egyesüléséből keletkeznek.

A valódi fehérjék, vagy proteinek külső jellegeik, főleg pedig oldhatósági viszonyaik szerint feloszthatók: 1. albumin-okra, 2. globulin-okra, 3. izomproteinek-re, 4. prolamin-okra, 5. glutenin-ekre, 6. skleroprotein-ekre, 7. histon-okra és protamin-okra. Az utóbbi két alakban csak az állati test tartalmazza őket.

A proteinek közül a növény élete szempontjából a következők fontosak:

**Albuminok**, tiszta vízben és közömbös sók híg oldatában oldhatók. Ilyen pl. a leukosin a búza embriójában, a legumelin a babban.

**Globulinok**, tiszta vízben oldhatatlanok, ellenben közömbös sók híg oldatában jól oldódnak. Ilyenek pl. az olajbogyóban található globulinok, legumin a borsóban, amandin a keserű mandulában, edestin a tök és a napraforgó magjában stb.

A **prolaminok** a gabonanövények magjában lévő fehérjék jelentékeny részét teszik ki. Sajátságuk, hogy alkoholban oldódnak. Ilyenek pl. a gliadin a búzában, hordenin az árpában, zein a kukoricában, stb.

A **gluteninek** szintén a növények magvaiban fordulnak elő: glutenin a búzában, eryzenin a rizsben. A gluteninek vízben oldhatatlanok, alkáliákban oldódnak.

A **histonok** és **protaminok** Euler vizsgálatai szerint valószínűleg a növényi spermatozoidákban és a virágpor sejtjeiben fordulnak elő.

Az összetett fehérjék, vagy proteidek feloszthatók: 1. phosphorproteid-ekre (nukleoalbuminok), 2. glykoproteid-ekre, 3. nukleoproteid-ekre, 4. haemoglobin-ra.

A **phosphorproteidok** csak híg alkáliákban oldhatók. Mindig P-t tartalmaznak.

A **nukleoproteidok** szintén rendkívül gyakran fordulnak elő. Rendszerint albumin, histon, vagy protamin vegyületekből állanak, amelyek azután phosphortartalmú purin és pyrimidin testekből, szénhidrátok közbenjöttével felépített, ú. n. nuklein savakkal kapcsolódnak. A sejtmag anyagát túlnyomórészt ezek alkotják.



A glykoproteidek szénhidrátokhoz kapcsolt fehérjék, amelyekhez néha még P.-tartalom is járul.

A haemoglobin pedig az ember vörös vértestecskéinek fontos képzőanyaga.

2. A fehérjék mellett szintén rendkívül fontos szerepet játszanak az aminosavak és ezek amidjai. Ilyenek pl. az asparagin, a tyrosin, a betain, a leucin, az arginin, stb.

Az asparagin:  $\text{CO}_2\text{HCH}(\text{NH})_2\text{CH}_2\text{CONH}_2$ , a növényekben meglehetősen el van terjedve; így pl. a Leguminosék csiranövényeiben, az *Asparagus officinalis* gyökerében, stb.

A tyrosin:  $\text{C}_9\text{H}_{11}\text{O}_3\text{N}$ , szintén a fiatal csiranövényekben fordul elő.

A betain:  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O}_2\text{N}$ , a *Betula vulgaris* gyökerében.

A leucin:  $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{O}_2\text{N}$ , a hüvelyesek — bab, borsó, stb. — csiranövényeiben.

Az arginin különösen gazdagon fordul elő a Coniferák, pl. az *Abies alba*, a *Picea excelsa* és a különböző Pinus-fajok csiranövényeiben.

Ezekén kívül még sok hasonló összetételű vegyület fordul elő a növényekben.

Ezekről a vegyületekről, különösen ezeknek a növény életében való élettani szerepéről, még a következő fejezetekben részletesen fogunk szólni.

3. Az alkaloidák a növényországban nagyon gyakoriak. A gyakorlati életben különösen a gyógyszerek készítésénél, továbbá az egyes növényeknek emberi és állati táplálékul való felhasználásánál igen nagy fontossággal bírnak. Ezek közül a fontosabbakat az I. részben részletesen tárgyaltuk, itt csak tájékoztatásul említjük meg a következőket: nikotin  $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2$ , morphin  $\text{C}_{17}\text{H}_{19}\text{O}_3\text{N}$ , berberin  $\text{C}_{20}\text{H}_{18}\text{NO}_4\text{OH} + 3\text{H}_2\text{O}$ , chinin  $\text{C}_{20}\text{H}_{24}\text{N}_2\text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ , koffein vagy thein  $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_4$ .

4. Az enzimek, vagy fermentumok általában összetételüket illetőleg még kevésbé ismert vegyületek. Ezek az élettani reakciók lefolyásában nagyon fontos szerepet játszanak és általában az élettani folyamatok lefolyását gyorsítják, tehát katalytikus hatást fejtenek ki és ezért hatásukat illetőleg ezeket



biológiai katalyzátoroknak is szokták nevezni. Tekintettel rendkívül fontos élettani jelentőségükre, bővebben fogunk róluk szólni.

Általában az élő szervezetből nagyon sok enzimet vízzel, vagy glicerinnel is ki lehet vonni. Csak olyan enzymekkal nem sikerül ez a művelet, amelyek a sejtek falán nagy molekuláik folytán nem tudnak áthatolni. Nagyon sok esetben az enzymek nincsenek a sejtben szabad állapotban, hanem a protoplazma részecskéi által adszorbeálva lettek. Ilyen esetekben először az adszorbcíót kell megszüntetni megfelelő kémiai eszközökkel. Amint Buchnernek klasszikus kísérletei mutatják, az enzymeket ugyan az élő szervezet termeli, azonban hatékonyságukat az élő szervezet elpusztítása után is megtartják. Így pl. az erjedést okozó enzymeket, a zymázokat az erjesztő sejtek összezúzása után is hatékony állapotban lehet megtartani. Újabban különösen Willstätternek és munkatársainak sikerült rendkívül tiszta enzym preparátumokat előállítani és így megvan a remény arra, hogy talán a jövőben sikerülni fog ezeknek kémiai sajátságait is közelebbről kideríteni. Az enzyme működésének egyik legjellemzőbb folyamata az ú. n. autolysis. Autolysis alatt azt a biokémiai folyamatot értjük, amikor a feldarabolt növényrészeket 30—40° C hőmérséklet mellett vízbe teszik és egyúttal gondoskodnak arról, hogy antiszeptikus szerek, mint pl. chloroform, vagy toluol segítségével a baktérium-működést lehetetlenné tegyék. Ilyenkor azután az elhalt növényi részekben a fermentumok nemcsak életben maradnak, hanem nagyon gyakran még működésük intenzitását illetőleg felül is múlják az élő protoplazma enzymjeinek a hatását.

A fermentumoknak leggyakoribb előállítási módja az, amikor az élő növény anyagát homok és kavics között szétmorzsolják és azután 200—300 atm. mellett átsajtoltják. A nyert folyadék ilyenkor rendszerint gazdag fermentumokban. Általában az enzymkészítményeknek a tisztaságát, mint-hogy kémiai összetételük még nem ismeretes, az általuk előidézett reakció lefolyásának a gyorsaságával mérik. Az így nyert számokat azután a készítmények időértékének mondják.

Willstätter szerint minden enzym egy kolloidális részből, az ú. n. tartóból áll, amelyhez szorosan csatlakozik azután az ú. n. kémiailag hatékony vegyületcsoport. Viszont Euler



megkülönbözteti az enzymeeknek kémiai hatásuk szempontjából hatékony ú. n. magját és az ezekhez kapcsolt kémiailag hatástalan kísérővegyületeket. Általában a kémiai anyagok egy része az enzym hatását gyorsítja, más része viszont az enzym hatását lassítja. A gyorsító anyagokat aktivátoroknak nevezik; így pl. az asparagin és egyes alumíniumsók a diasztáz enzym hatékonyságát lényegesen elősegítik, viszont más anyagok mérgező hatást gyakorolnak és az enzyme által előidézett vegyi folyamatok lefolyását lassítják, sőt nagyobb adagokban az enzymeket hatástalanokká teszik. Ilyen pl. szintén a diasztáz működésénél a formaldehyd.

Hasonlóképen gyorsító hatást gyakorolnak az enzyme hatásműködését illetőleg az ú. n. k o e n z y m e k, vagy k o f e r m e n t u m o k. Így pl. a gyakorlati életben nagyon fontos szerepet játszó z y m á z működésének szintén egyik fontos alapfeltétele egy koenzymnek a jelenléte, amelyet tőle különböző mesterséges beavatkozások útján is el lehet választani; így pl. a koenzym sokkal ellenállóbb magasabb hőmérséklettel szemben, mint a zymáz és így tőle egész jól el lehet választani. De viszont vannak fermentumok, amelyek az enzimátikus folyamatokat paralyzálják, illetőleg hatástalanná teszik, ezek az ú. n. antifermentumok, amelyeknek a természete és kémiai viselkedése azonban még nincsen olyan tisztán felderítve, mint a kofermentumoké.

Az enzymeket általában az általuk előidézett kémiai reakciók szerint két nagy csoportra osztjuk, nevezetesen a hydrolázok és oxydázok csoportjára. A hydrolázok közé tartozik a legtöbb enzym, ezeknek a működésére jellemző, hogy hatásukra a vegyületek vizet vesznek fel és a felvett víznek a hatására hydrolytikus változáson mennek át. Az enzymeeknek a második csoportját alkotják az oxydoredukázok (oxydázok, vagy erjesztő enzyme). Ezeket, dacára annak, hogy külső hatásukra különbözőeknek látszanak, N e u b e r g és munkatársainak vizsgálatai alapján közös csoportba kell sorolnunk, miután az általuk előidézett folyamatokban egyidőben oxydáció és redukció játszódik le. Hogy a kettő közül most már melyik lép jobban előtérbe, az teljesen a megfigyelőtől és a kísérleti anyagtól függ.



Ezekon kívül azonban vannak még ebben a csoportban, különösen a növényekben, fermentumok, amelyek tényleg és kizárólag csak oxydálnak.

A *hydrolázokhoz* a következő csoportok tartoznak:

1. Az *eszterázok*, vagy *lypázok*, ezek általában a növényekben a zsírokat zsírsavakká és alkohollá (rendszerint glicerinné) bontják. A növényekben a leggyakrabban a magvakban jelentkeznek és a legjobban megvizsgált lypázok egyike a *Ricinus* magjában szereplő zsírbontó enzim.

2. *Carbohydrázok*. a) *Disaccharázok*. Az idetartozó enzymeek közül a legközönségesebb a *maltáz*, amely a maltózcukrot két molekula cukorrá (glukóz) bontja, továbbá a maltázzal rokon enzim a *saccharáz*, (vagy *invertáz*), amely viszont a saccharózt, a nádcukrot bontja glukózra és fruktózra, azután a *laktáz*, amelyet a különböző erjesztősejtek tartalmaznak és amely a laktózt, a tejcukrot glukózra és galaktózra bontja.

b) *Glykozidázok* (glukozidázok), amelyek a különböző glykozidákat bontják. A legközönségesebbek egyike az *emulzin* a keserű mondulában, amely az amygdalint bontja (lásd I. kötet, 187. old.). Ezek közül a fermentumok közül a legfontosabbak a következők: az *arbutáz*, az *aesculáz*, a *populáz*, a *salicáz*, amelyek viszont a megfelelő glykozidákat: az *arbutint*, az *aesculint*, a *populint* és a *salicint* bontják. Azután a már tárgyalt *emulzin* és a *myrozináz*, amely a S-tartalmú *sinigrint* bontja.

c) *Polysaccharázok*. Ezek közül a legfontosabb a *diasztáz*, vagy *amiláz*, amelyet az asszimiláló növények mindegyikében megtalálunk, de azonkívül az állati test sejtjeiben is előfordul. A *diasztáz* a keményítőt vízben oldható cukorrá, maltózzá változtatja át hydrolytikus úton, amit azután a *maltáz* változtat át két molekula glukózzá. Az újabb nézetek szerint a *diasztáz* nem egyöntetű test, hanem két fermentumból van összetéve. Az egyik komponense az *amiláz*, amely a keményítőt dextrinekké alakítja, a másik komponense pedig a *dextrináz*, amely viszont a dextrineket tovább formálja maltózzá. A keményítő molekulájához hasonló összetételű poly-



saccharidokat más és más fermentumok bontják; ilyenek az inulináz, amely az inulint alakítja át cukorrá, a celluláz, amely a cellulózt bontja és a hemicelluláz, amely a hemicellulózokat alakítja át, stb.

3. *A proteázok.* A proteázok közé soroljuk a fehérjebontó enzymeket. Ezek a növény testében lévő fehérjebontó enzymekek még nincsenek olyan részletességgel feldolgozva és ismeretük még nem olyan biztos, mint az állati testben működő enzymeké, bár kétségkívül hozzájuk hasonló enzymekeknek kell a növény testében is működniök akkor, amikor a növény életfolyamatai alatt a fehérjék hydrolytikus bomláson mennek át. Az idetartozó enzymeket a következő csoportokba osztjuk be:

a) *Pepsinázok.* Ezek az enzymekek általában csak a valódi fehérjéket bontják és különös sajátságuk az, hogy a polypeptideket nem támadják meg. Az idetartozó enzymekek kétségkívül a növényekben is megvannak. Legjellemzőbb képviselőjük az állati testben található: pepsin.

b) *A trypsin,* amely a fehérjéket egészen az aminosavakig képes felbontani. Ez tehát a pepsinnel ellentétben a polypeptideket, az albumózokat és a peptonokat is képes felbontani. Az újabb vizsgálatok szerint ez az enzim sem egységes test, hanem három komponensből van összetéve; mégpedig az egyik komponense lenne egy tulajdonképeni proteáz enzim, amely az eredeti fehérjét támadja meg és azután egy peptidáz, amely azután a polypeptideket hydrolyzálja, úgyhogy újabban a tulajdonképeni proteáz enzimet tryptáz névvel is jelölik.

A trypsin a maga eredeti mivoltában tulajdonképen a növényekben biztosan kimutatva nincsen, azonban *mindenkor kimutatható vegyülete a pancreas mirigy váladékának az állati testben.* A neki megfelelő enzim a növényekben a papayotin, amelyet a Carica Papaya fának a gyümölcsében találtak először meg. A csirázó magvak különösen gazdagon tartalmazzák a fehérjebontó enzymeket, anélkül azonban, hogy ezeknek a természete és viselkedése olyan mértékben ismert lenne, mint az állati test proteázaié.

c) *Amidázok és peptidázok* ugyanazok az enzymekek, amelyek a fehérjék bomlásakor keletkező polypeptideket aminosavakká bontják fel. Ezeknek a legismertebb képviselőjét az állatok testében a legrészletesebben kikutatták és ez az erepsin, de kétségkívül, ha még nem is ismere-



tesek teljes részletességgel, a növények élő sejtjeiben és szöve-teiben is meg kell lenniök a megfelelő, az amidázok és peptidázok funkcióját végző enzymeeknek.

Az oxydoredukázokat a következő csoportokra osztjuk fel:

1. Az *alkoholoxydázok*, amelyek az alkoholnak ecetsavvá való oxydálását végzik.

2. A *phenolázok* a növényekben nagyon gyakoriak, ahol színváltozásokat okoznak. Egyike a legjobban ismerteknek a lakkáz, amely az eredetileg sárga folyadékot, amelyet a Rhus verniciferának a nedvéből nyernek, szép fekete színűre változtatja.

3. A *tyrosinázok*, amelyek a tyrosinból növényi és állati nedvek hatására barna színű festéket alkotnak.

4. Az *aldehydázok* az aldehideket egyidőben oxydálják és redukálják.

5. Az *erjedést okozó enzyme*ek legtipikusabb képviselője a zymáz, amely a később részletesen tárgyalandó erjedéshez hasonlóan a glukózt végeredményben tejsavvá, alkohollá és szén-savvá bontja.

Újabb vizsgálatok szerint a zymáz is több enzyme-nek a keveréke úgy-hogy a tulajdonképeni zymáz valószínűleg a cukrokat először csak köz-benső termékekre, nevezetesen methylglyoxálra  $\text{CH}_3\text{CO}\cdot\text{CHO}$  és brenzbor-kósavra  $\text{CH}_3\text{CO}\cdot\text{COOH}$  bontja. A methylglyoxálból azután egy másik en-zym a glyoxaláz, vagy más néven ketonaldehydmutáz tejsavat képez  $\text{CH}_3\text{CHOH}\cdot\text{COOH}$  és végül a tejsavból azután a szénsavat valószí-nűleg a Neuberger által felfedezett enzyme, a carboxyláz alakítja.

Amint már említettük, a zymázok különösen az erjesztő-sejtekben és egyes baktériumokban, illetőleg ezeknek a termé-keiben mutathatók jól ki, úgyhogy Buchner 1897-ben szét-morzsolts és elölt erjesztősejtek tömegéből is teljesen hatékony zymázt tudott előállítani. A zymáznak az antifermentuma az endotryptáz, amely szétbontja. A kísérletek szerint úgy látszik, hogy működéséhez egy eddig még tisztán elő nem állí-tott koenzyme-nek a működése is szükséges. Kétségkívül teljes bizonyossággal be van bizonyítva, hogy a növényi sejtek függet-lenül az erjesztősejtektől szintén tartalmazznak zymázokat, kü-lönösen nagy mennyiségben a csirázó magvak.



6. *A katalázok*, amelyek az élő organizmusokban mindenütt el vannak terjedve és működésükre jellemző, hogy hidrogén-superoxydból ( $H_2O_2$ ) molekuláris O-t szabadítanak fel.\*)

B) *A növényi test szervetlen alkotórészei (hamualkotórészek).*

Amint az előző fejezetben láttuk, a szerves vegyületekből sohasem hiányoznak a következő elemek: C, H, O, amelyekhez azután a fehérjékben esetenként N, P és S járulhatnak. Ezen elemek közül a carbon, az oxygén, a hidrogén és a nitrogén a növény elégetésekor mint gázalakú testek eltávoznak, mégpedig az első három elem  $CO_2$  és víz alakjában távozik, a nitrogén pedig mint ammónia, vagy ammoniumnitrát hagyja el a növényt. Ezeknek az elemeknek eltávoztával a növényi test szerves vegyületei mind átalakultak és megmaradnak a növény testét alkotó és gázalakban el nem távozó ú. n. szervetlen vegyületek, amelyeket, minthogy a hamuban maradnak vissza, röviden hamualkotórészeknek is mondunk.

Általában a növény 100 súlyrésznyi anyagában van K n o p p szerint: szén 45%, oxygén 42%, hidrogén 6.5%, nitrogén 1.5%, hamu 5.0%.

Viszont E b e r m e y e r szerint 100 súlyrész száraz anyagban van:

A növényrész	szén	oxygén	hydrogén	nitrogén	hamu
Búzaszem . . . .	46.1	43.4	5.8	2.3	2.4
Rozsszem . . . .	46.2	44.2	5.6	1.7	2.3
Búzaszalma . . . .	48.4	38.9	5.3	0.4	7.0
Rozsszalma . . . .	49.9	40.6	5.6	0.3	3.6
Burgonya . . . .	44.0	44.7	5.8	1.5	4.0
Burgonyaszár és levél . . . . .	44.8	30.5	5.1	2.3	17.8
Karórépa gyökere	49.8	43.4	5.8	1.7	6.3
Karórépa levele .	38.1	30.8	5.1	4.5	21.5
A fában átlag**).	49.5	43.5	6.0	—	1.0

\*) A növényekben ezeken kívül még festőanyagok is vannak, amelyek az I. kötet 33. oldalán részletesen lettek tárgyalva.

\*\*) A levegőn száradt fára vonatkozó adatokból számítva.



Újabb vizsgálatok szerint a növény általános kémiai összetétele B e n e c k e adatai szerint %-ban kifejezve a következő:

	Víz	N tartalmú anyagok	Zsirok	N-nélküli anyagok				Skleren- chyma rost	Hamu
				Cukor	Dextrin	Kemé- nyítő	Összesen		
Búza . .	13·65	12·35	1·75	1·44	2·38	64·09	67·91	2·53	1·81
Lupinus .	12·88	36·52	4·92	—	—	—	27·60	14·04	4·04
Kókuszdió	5·81	8·88	67·00	—	—	—	12·44	4·06	1·81
Burgonya	75·48	1·95	0·15	—	—	—	20·69	0·75	0·98
Répa . .	87·71	1·09	0·11	0·53	—	2·73	9·26	0·98	0·95
Hagymalevél	90·82	2·10	0·44	0·81	—	3·74	4·55	1·27	0·82

	A f á k b a n	
	tiszta cellulóz	fásodott cellulóz
	alkotórészei %-ban	
C	44·4	48—50
H	6·2	6
O	49·4	43—45

Legújabbban 1928-ban különösen G ä u m a n n foglalkozott a fatest kémiai összetételével. Vizsgálatainak eredményeit a 19. oldalon lévő táblázat tünteti fel.

A hamuban tehát az előbb említett elemeken kívül megtaláljuk valamennyi elemet, amely az élő növény testében megvan. Ezek az elemek a növény testében természetesen nem alkotnak olyan vegyületeket, aminőket a hamuban találunk, hanem ezek többnyire az előbb említett négy elemmel kapcsolatban alkotnak vegyületeket, azonban az égés folyamán ez az állapot megváltozik.

A hamualkotórészeknek az ismerete — amint a későbbiek folyamán látni fogjuk — rendkívül fontos a növény táplálék-anyagszükségletének megismerése szempontjából. Ezeknek az ismeretével sikerült kimutatni, hogy a növények hamujában ál-



Frissen döntött lúccs és jegenyefenyő kémiai összetétele. \*)

	Víz %	Hamú %	Pro- tein %	Hexo- zan %	Xylan %	Pen- tozan %	Lignin %	Cellu- lóz %	Zsírok stb. %	Gyanta és oldódó viasz anyag. %	Humin III. %	Humin IV. %	Összes kivonh. anyag. %	Reak- ció pH
Lúccsfenyő gesztje . . . . .	33·88	0·23	0·052	9·89	12·61	1·39	30·28	37·94	1·20	1·49	5·94	89·99	10·60	4·83
Lúccsfenyő szíjácsa . . . . .	178·85	0·23	0·062	13·08	12·54	1·30	29·26	35·62	1·23	1·24	6·23	89·20	10·80	5·96
Jegenyefenyő gesztje . . . . .	42·48	0·38	0·073	8·36	10·80	1·81	29·60	40·63	0·69	1·49	4·99	91·26	8·74	5·45
Jegenyefenyő szíjácsa . . . . .	185·50	0·24	0·086	13·19	11·21	1·87	28·13	40·80	0·32	0·77	6·56	89·91	10·10	5·16

\*) Az értékek 1926. szept. 13-tól 1927. aug. 15-ig végzett havi mérések átlagértékei.

Humin III. és humin IV. alatt értjük az aetherrel, alkohollal és vízzel extrahálható zsírokat, gyantákat, viaszokat tartalmazó nyersanyagot. Humin III. a 2% szódaoldatban oldható és humin IV. az oldhatatlan rész.



talában a következő elemek foglaltatnak: aluminium (Al), antimon (Sb), arzén (As), bárium (Ba), bór (B), bróm (Br), calcium (Ca), chlór (Cl), chróm (Cr), cobalt (Co), ezüst (Ag), fluór (F), higany (Hg), jód (J), kálium (K), kén (S), lithium (Li), magnézium (Mg), mangán (Mn), nátrium (Na), nikkel (Ni), ólom (Pb), ón (Sn), réz (Cu), rubidium (Rb), selén (Se), silícium (Si), stroncium (Sr), tellur (Te), tallium (Tl), titán (Ti), vas (Fe), cink (Zn).

Ezek közül az elemek közül nem mindegyik olyan, amely a növény életfolyamatainak fenntartásához okvetlenül szükséges. A legtöbb közülük csak esetlegesen van jelen, azonban vannak közöttük olyanok is, amelyek — amint későbbben látni fogjuk — a növény életfolyamataihoz feltétlenül szükségesek és ha közülük bármelyik is hiányozna, a növény életfolyamatai fennakadást szenvednének. Ennélfogva ezeket az elemeket három nagy csoportba oszthatjuk fel. Az első csoportba tartoznak azok, amelyek egy növény hamujából sem hiányoznak. Ezek a következők: *K, Ca, Mg, Fe, S, P*. Ezenkívül előfordulhatnak: *Cl, Si, Na, Mn*, ezek alkotják a második csoportot. A harmadik csoportba tartoznak azok, amelyek ritkábban fordulnak elő, ezek: *Al, Sb, As, Ba, B, Br, Cr, Co, Ag, F, Hg, J, Li, Ni, Pb, Sn, Cu, Rb, Se, Sr, Te, Tl, Ti* és *Zn*.

Ezeknek a hamualkotórészeknek a mennyiségére rendkívül sok anyag áll rendelkezésünkre. Tájékoztatásul álljon itt néhány elemzés:

A növény része	A száraz anyag 100 részének hamuja	A növény hamujának 100 részében van									
		K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cl
Rozsszem	2'09	32'10	1'47	2'94	11'22	1'24	—	47'74	1'28	1'37	0'48
Rozsszalma	4'46	22'56	1'74	8'20	3'10	1'91	—	6'53	4'25	49'27	2'18
Borsómag	2'73	43'10	0'98	4'81	7'99	0'83	—	35'90	3'42	0'91	1'59
Borsó szára és levele	5'13	22'90	4'07	36'82	8'04	1'72	—	8'05	6'26	6'83	5'64
Burgonyagumó	3'79	60'06	2'96	2'64	4'93	1'10	—	16'86	6'52	2'04	3'46
Szőlőbogyó	5'19	56'20	1'42	10'77	4'21	0'37	—	15'58	5'62	2'75	1'52
Tealevél	5'20	34'30	10'21	14'82	5'01	5'48	—	14'97	7'05	5'04	1'84
Kávébab	3'19	62'47	1'64	6'29	9'69	0'65	—	13'29	3'80	0'54	0'91
Dohánylevél	17'16	29'09	3'21	36'02	7'36	1'95	—	14'66	6'07	5'77	6'71
Gyapotszál	1'14	36'96	13'16	17'52	5'36	0'60	—	10'68	5'94	2'40	7'60
Lúcfenyő fája	0'21	19'66	1'37	33'97	11'27	1'42	23'96	2'42	2'64	2'73	0'07



A legújabb adatok közül tájékozásul ismét G ä u m a n n a k az adatait közöljük:

Frissen döntött lúcs- és jegenyefenyő ásványi anyagtartalma a fa száraz állapotának %-ában.\*)

	CaO	Mgo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cl	SO <sub>3</sub>
Lúcsfenyő gesztje . . . . .	0·1406	0·0494	nyomok-ban	0·0392	0·0018	0·0257
Lúcsfenyő szíjácsa . . . . .	0·1243	0·0383	0·0075	0·0368	0·0013	0·0495
Jegenyefenyő gesztje . . . . .	0·1098	0·0415	0·0606	0·1128	0·0064	nyomok-ban
Jegenyefenyő szíjácsa . . . . .	0·1134	0·0284	0·0249	0·0464	0·0061	nyomok-ban

E b e r m e y e r adatai 1882-ből fajok szerint mutatják a hamutartalmat:

Fafaj	Elemzések száma	Tiszta hamu	A növény hamujának 100 részében van									
			K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cl
Bükk . . . . .	9	0·46	30·86	2·01	28·85	11·83	1·07	5·26	14·72	2·87	2·42	0·09
Tölgy . . . . .	13	0·48	34·78	2·36	22·44	16·54	0·62	2·69	16·98	2·75	0·71	0·32
Nyír . . . . .	6	0·33	23·60	2·27	29·03	16·48	0·90	8·66	14·71	1·69	1·99	0·66
Erdeifenyő . . . . .	7	0·30	14·31	0·99	53·64	10·69	0·11	3·34	6·05	3·51	2·61	—
Vörösfenyő . . . . .	6	0·17	33·57	1·70	45·14	13·20	3·04	—	7·68	2·05	3·23	—
Lúcsfenyő . . . . .	9	0·21	19·66	1·37	33·97	11·27	1·42	23·96	2·42	2·64	2·73	0·07
Jegenyefenyő . . . . .	2	0·24	39·87	0·90	11·14	9·55	0·73	28·56	6·13	1·80	1·33	—

Ami most már a hamualkotórészeknek a növény testében való eloszlását illeti, arra vonatkozólag álljon itt a következő:

Nagy átlagban a kiszáritott anyag a hamut a következő százalékok szerint tartalmazza: zöld lombfalevél 4·5\*\*), zöld tűlevél 2·5, elhalt őszi levelek (alom) 5·2, elhalt tűlevelek 3·5, a lomb-

\*) Az értékek 1926. szept. 13-tól 1927. aug. 15-ig végzett havi mérések átlagértékei.

\*\*) Ezek és minden következő szám „tisztá”, azaz homoktól s más kívülről a növényrészekre tapadó ásványi anyagoktól mentes hamura vonatkoznak.



fák kérge 4'0, a fenyvek kérge 1'8, erdei magvak 2'5, vastagabb lombfaágak 1'0, vékonyabb lombfaágak 1'8, vastagabb fenyőágak 0'8, vékonyabb fenyőágak 1'6, lombfatörzs dereka héj nélkül 0'4, fenyőtörzs dereka héj nélkül 0'24.

Legkevésbé ingadozik a hamutartalom a fában, nagyobb mértékben a héjban és a levelekben.

A levelekre nézve, amelyek az élőfa minden része közt leggazdagabbak ásványi anyagokban, igen jellemző, hogy azok hamutartalma a rügyből való kifejléstől lehullásukig folytonosan emelkedik. Riesmüller szerint egy bükkfa levelének hamutartalma májustól novemberig a száraz anyag 4'67%-ról 11'42%-ra, egy más fiatal (mintegy 25 éves) bükkfáé 3'95-ről 6'93-ra, egy nyírfáé májustól októberig 3'84-ről 4'68-ra emelkedett; egy feketefenyő fiatal tűiben volt júniusban 1'63, októberben 2'25% hamu, ugyanazon fa egy éves tűiben májusban 1'81, októberben 2'30%, a két éves tűikben májusban 2'72, októberben 2'59%, a három évesekben májusban 3'12, októberben 3'28%. Egy erdei fenyő egy, két, három és négy éves tűiben találtak 2'08, 1'56, 1'85 és 2'08% tiszta hamut.

A tűk hamualkotórészeinek emelkedését főképp a kovasav és a mész (tehát a kevésbé értékes ásványi anyagok) mennyiségének szaporodása okozza.

Figyelemre méltó, hogy a tengerfeletti emelkedéssel a hamutartalom ugyanazon fafaj leveleiben apad.

Weber R. a Bayrischer Wald bükkeinek leveleiben talált: 500 méter tengerfeletti magasságban 4'99%, 1043 méter tengerfeletti magasságban 2'84%, 1334 méter tengerfeletti magasságban 3'94%; a vörösfenyő tűiben: 117 méter tengerfeletti magasságban 6'02%, 476 méter tengerfeletti magasságban 3'57%, 880 méter tengerfeletti magasságban 2'77%, 1068 méter tengerfeletti magasságban 2'49% tiszta hamut.

Még a lehullott levelekben is kevesebb a magasabb helyeken a hamutartalom, mint az alatt fekvő termőhelyen.

Ebermeyer szerint a bükklevélalom tartalmazott: 1040 méter tengerfeletti magasságban 4'03%, 810 méter tenger-



feletti magasságban 4'81%, 520 méter tengerfeletti magasságban 5'88%, 250 méter tengerfeletti magasságban 7'25%, 130 méter tengerfeletti magasságban 9'91%; a lúcfenyő levélalom: 1110 méter tengerfeletti magasságban 2'58%, 706 méter tengerfeletti magasságban 5'05%, 130 méter tengerfeletti magasságban 10'19% tiszta hamut.

Hasonló befolyást gyakorol a tengerfeletti magasság a fű hamutartalmára is.

Az ásványi anyagoknak nemcsak mennyisége, de egymáshoz való aránya is folytonos változásnak van alávetve a levelek öregedésével. Különösen tanulságos, hogy az egészen fiatal levelek hamujában sokkal több az ásványi anyagok közt a legértékesebb káli és phosphorsav, mint azok lehullása alkalmával, mégpedig nemcsak az összes hamuhoz való arányát, hanem abszolút mennyiségét tekintve is. A levelek lehullása előtt ugyanis a káli és phosphorsav nagyobb része (az áthasonított anyagok nagyobb részével együtt) átköltözik a törzsbe, hogy a jövő évben az új szervek képzésére és a fa vastagítására újból felhasználtassék. Ellenben a mésznek és kovasavnak szaporodását észlelhetjük, amely anyagokban a lehulló lomb tehát gazdagabb, mint az élő.

Figyelmet érdemel, hogy a lombfák levelében több a hamu, mint a fenyőkében; az elsőknél a száraz anyagnak 4—10 és több, utóbbiaknál csak 2—3'5%-át teszi. Legtöbbet tartalmaz a juharfa levele, azután a szil-, fűz-, hárs-, nyár-, köris-, éger-, gertyán-, bükk- és tölgylevél, legkevesebb a hamu a nyír levelében, mely csak 4—5%-ot tartalmaz, és így a fenyőkhöz közeledik.

Lombfák (tölgy és bükk) lehullott és teljesen száraz levelei átlagosan 5%-nál több, a lúcfenyő, jegenye- és vörösfenyő lehullott tűi 4—4½ (moha közel 3) az erdei fenyő 1½% hamut tartalmaz. Ebből kitűnik, hogy az évenként lehulló levél a talajból felvett ásványi anyagok egy részét a talajnak visszaadja. Ez a mennyiség, a talajban rendelkezésre álló oldható ásványi táplálóanyagokhoz képest oly jelentékeny, hogy az erdei alomnak gyakori eltávolítása tetemes növedékvesztéssel jár. Az alomszedés által a hamualkatrészekben okozott veszteség még a termelt fa hamualkatrészeiben is megnyilvánul. Schröder szerint a 80 éves erdő egy tömör méter bükk hasábfája tartalmazott grammok szerint:



	tiszta hamut	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
az alomszedéstől megkímélt erdőben	2478	861	897	198	215
12 évig alomszedésnek kitett erdőben	1818	441	787	163	84

A levél után a h é j b a n van a legtöbb ásványi alkotórész és mindig több, mint az általa fedett fában. Mennél vénebb a fa, annál nagyobb a különbség a héj és a fatest hamutartalma között.

A lombfák héja rendszeren több hamut ad, mint a fenyőké. Előbbiek hamutartalma 3—8, utóbbiaké 1·5—3%.

A nyírfa e tekintetben kivételt képez, mert a fa derekának kérge ásványi alkotórészekben igen szegény; egy 50 éves nyírfának a hasábfáról lehántott héja csak 0·76, a dorongfáról lehántotté 0·84 és a vastagabb ágaké 1·11% hamut tartalmazott, tehát még a lúcfenyő héjánál is kevesebbet.

A faderék héjának hamutartalma többnyire jóval csekélyebb, mint az ágak héjáé. A fatörzs héjában a hamutartalom a fa tövétől felfelé, valamint kívülről befelé növekedik.

A héj hamualkotórészeinek egymáshoz való arányára nézve még külön is megjegyezhetjük, hogy a legtöbb héj hamujában jóval kevesebb a káli-, magnézium- és phosphorsavsavszázalék, ellenben nagyobb a mész- és kovasavsavszázalék, mint a levél- és fahamuban. Ez a szabály sokkal határozottabban lép elő a héj növekedő korával a lombfákon, mint a tűlevelűeken. A bükkfahéj hamujában a mésztartalom néha majd 70, a kőrisfa héjában pedig 90%-on felül emelkedik, míg a magnézium százaléka nagyon leszáll, ami a fenyőknél sokkal kevésbé feltűnő. A héj belső rétegeiben káli és phosphorsav mindig sokkal több van, mint a külső cserepes részekben. A kovasavtartalom az egyes fafajok héjában jelentékenyen különbözik; legtöbb van a bükkfahéjban, ellenben a tölgy-, jegenye- és fenyőfahéjban a legkevesebb.

A f a t e s t n e k az élőfa minden része között legkevesebb hamuja van. Annak száraz anyagában csak 0·2—0·5% tiszta hamu van. A lombfák fájában valamivel több van, mint a velük egyenlő korú fenyőkében. A lombfák faderékfájában (héj nélkül) 0·33 (nyír) és 0·46 (bükk) között ingadozik, a fenyőfák derékfájában pedig 0·17—0·30% között. A fa öregedésével a hamutartalom



kissé apad. A héjától megfosztott bükkfa tartalmazott, pl. Ebermeyer szerint:

10	20	50	90	220 éves korában
0'56	0'46	0'36	0'45	0'37% tiszta hamut

Ennélfogva a hasábfá hamuban mindig szegényebb, mint a dorongfa és ez szegényebb, mint a rőzsefa. Elsőnek hamutartalma átlag 0'4, másodiké 0'1, harmadiké 1'5—2%.

A hamutartalom az öregebb évi fapalástoktól kifelé emelkedik; tehát a geszt mindig szegényebb, mint a szíjács és a fatest alsó része szegényebb, mint annak csúcsa. A tölgyfa kiszárított gesztje pl. 0'22, szíjácsa 0'50, a vörösfenyő gesztje 0'098, szíjácsa pedig 0'23% hamut tartalmaz. A kambiumban (és a legbelső háncsrétégben) pedig az ásványi anyagok mennyisége olyannyira emelkedik, hogy a kiszárított anyag 4—6%-át eléri, tehát akkora vagy majd akkora, mint a levelekben.

Fiatál fák hamutartalmának még évszakok szerinti változását is ki lehet mutatni. Így pl. azt találták, hogy a fiatal bükk fájában a hamutartalom januártól június végéig 0'503-tól 0'383 százalékra szállott alá és azután az év végéig megint emelkedett.

Végre a fa hamutartalmára a talaj jóságának is befolyása van. Ásványilag erőteljes, kímélt talajon a fa hamutartalma valamivel nagyobb, mint az ásványi anyagokban szegényen. Ebből következik, hogy alomszedés által elgyengített talajon a fa hamutartalma is csekélyebb lesz, amint ezt Schröder a bükkfára nézve vegyelemzések által bebizonyította.

A fahamunak részint túlnyomó, részint legbecsesebb alkotórészei a káli, mész, magnézium és phosphorsav.

A fahamuban a kálitartalom nagyobb, mint a lomb, héj és gallyak hamujában. A lombfák fahamujában általában több van, mint a fenyőkében. A bükk- és tölgyfa hamujának mintegy 30%-a káliból áll, a fenyők hamuja ellenben csak 15—20%-ot tartalmaz. De a jegenyefenyő kivételt képez; ennek fahamuja néha még a bükkfáét is felülhaladja  $K_2O$ -ban, míg a nyírfa a fenyőket e tekintetben alig múlja felül.

Ambár a fahamu és zartalom a jóval csekélyebb a héjhamuénál, mégis túlhaladja a fahamunak is többi alkotórészeit; a lombfáknál 24—70%, a fenyőknél 12—50% között ingadozik.



A mésztartalom általában annál nagyobb, mennél csekélyebb a kálitartalom és viszont. A jegenyefenyő fahamujának mésztartalma feltűnően csekély, úgyhogy jóval csekélyebb, mint a kálitartalom.

A phosphorsav százaléka a fahamuban nagyobb, mint a héjban; a lombfákban nagyobb, mint a fenyőkben. Előbbiekben 4 és 17%, utóbbiakban 3 és 10% között változik. A gesztben csekélyebb mennyiségben van jelen, mint a szíjácsban.

Jellemző a fahamura nézve, hogy az *kovasavban* rendszeren nagyon szegény és rendkívül kevés chlorvegyületet tartalmaz.

Az ágak hamutartalma nagyobb, mint a faderéké. Még pedig mennél vékonyabbak azok, annál nagyobb a hamutartalom. Ez könnyen megmagyarázható, mert az ágakban a hamuban gazdag fiatal részek, különösen a még élő legfiatalabb farétegek a cambium, a háncs és a héjnak általában élő belső rétegei az elhalt és öregebb rétegekhez képest kedvezőbb arányban vannak. Legtöbb hamut hagynak hátra a vékony ágacskák és hajtások. Érdekes tudni, hogy az ágak hamutartalma a fa korával kissé apad. Weber pl.

a bükkfa	10	20	50	90	220 éves korában
vastagabb ágakban	1'24	0'94	0'76	0'88	0'86
vékonyabb ágakban	1'64	2'10	1'90	1'62	—

százalék tiszta hamut talált.

A rőzsfa eltávolítása által tehát aránylag sokkal több ásványi táplálóanyagtól fosztjuk meg az erdőt, mint a dorongfa és ezáltal többitől, mint a hasábfa használása által.

A lombfák ágai (éppúgy, mint általában fája, héja és levele) több hamut tartalmaznak, mint a fenyőkéi. A nyírfa e tekintetben is a fenyőkhöz közeledik, a jegenyefenyő pedig a fenyők között első helyen áll.

Az ágak hamujának összetétele a törzs hamujához sokban hasonlít és mint amaz, a becses ásványi alkotórészekben, ú. m. káliban, phosphorsavban, mészben és magnéziumban bővelkedik.

Igen érdekes, hogy a nagyon beárnyalt és ezért halni készülő ágakból, éppúgy, mint a levelekből, a káli- és phosphorsavtartalom nagyobb része beköltözik a törzsbe, míg az értéktele-







## 2. 90 éves tharandti jegenyefenyőben.

Különféle farészek	Tiszta hamu	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Törzsfa . . .	17'0	32'1	—	14'7	20'9	3'7	13'1	10'3	6'6	3'8
Törzshéj . . .	17'9	15'5	—	22'6	16'0	16'6	22'2	14'5	10'2	9'1
A törzs csúcsának fája . . .	3'8	5'7	—	3'9	4'5	0'6	3'6	3'3	1'5	0'8
A törzs csúcsának héja . . .	5'3	4'6	—	5'9	4'1	5'6	6'5	5'8	3'3	3'4
Ágak héjjal . . .	19'8	19'9	—	17'6	16'0	27'7	15'9	24'3	12'0	45'3
Tűk . . . . .	36'2	22'2	—	35'3	38'5	45'8	38'7	41'8	66'4	37'6
	100'0	100'0	—	100'0	100'0	100'0	100'0	100'0	100'0	100'0

## 3. A bajor erdőnek 145 éves lúcfenyőjében.

A gesztben . .	27'1	29'8	37'5	23'7	30'2	20'0	50'0	25'8	42'9	25'1
A szíjácsban .	8'6	13'8	25'0	5'1	8'2	20'0	—	9'7	14'3	11'4
A héjban . . .	36'3	24'5	12'5	51'7	32'9	26'7	21'4	22'6	21'4	4'5
A rőzsefában .	12'7	13'8	—	13'3	15'0	13'3	21'4	12'9	7'1	4'5
A tűkben . . .	15'3	18'1	25'0	6'2	13'7	20'0	7'2	29'0	14'3	54'5
	100'0	100'0	100'0	100'0	100'0	100'0	100'0	100'0	100'0	100'0

Ezekből következik, hogy a hamumennyiségnek és egyes alkotórészeinek elosztása vén és fiatal fában különböző. Ezt az ágak és lombzat arányának a faderék nagyságához mért változása eléggé magyarázza. A fatörzs, héjával együtt legalább féltannyi hamut tartalmaz, mint az egész fa összesen; a többi hamutartalom nagyobb része a levelekben, kisebb része az ágakban van.

A jegenye- és lúcfenyőben és bizonyosan más fákban is a káli legnagyobb része a fatestben található, a mész legnagyobb része ellenben a héjban. A phosphorsav pedig inkább a héjban és levelekben halmozódik fel, a kovasav a vékonyabb ágakban és tűkben. A héjnak és leveleknek fel nem használása által tehát a legbecselesebb phosphorsav nagyobb részét a talajnak visszaadjuk.

Amint G ä u m a n n vizsgálatai mutatják, a növény testének kémiai összetétele nem állandó, miután az nemcsak a növény kora, hanem az évszakok szerint is változó. Tájékoztatásul közöljük G ä u m a n n után a lúcfenyő kémiai összetételének változásait hónapok szerint:



## Frissen döntött lucfenyő gesztjének kémiai összetétele.

Döntési idő 1926—1927	Víz o/o	Hamú o/o	Pro- tein o/o	Hexo- zan o/o	Xylan o/o	Pen- tozan o/o	Lignin o/o	Cellu- lóz o/o	Zsírok stb. o/o	Gyanta és viasz o/o	Vizben oldódó anyag. o/o	Humín III. o/o	Humín IV. o/o	Összes kivonh. anyag. o/o	Reak- ció pH
Szeptember 13.	33.9	0.24	0.049	11.30	11.66	1.42	30.8	36.5	1.06	0.75	1.22	6.51	90.46	9.54	4.90
Október 18.	33.7	0.24	0.042	11.08	8.54	1.06	30.2	36.9	0.98	0.86	1.18	6.00	90.98	9.02	5.05
November 15.	34.7	0.26	0.053	10.72	14.82	1.94	29.6	37.6	0.85	1.06	1.32	6.61	90.16	9.84	5.14
December 13.	34.1	0.29	0.059	10.25	11.04	1.82	29.3	38.9	1.06	1.78	1.30	4.65	91.21	8.79	4.83
Január 17.	33.8	0.30	0.063	9.23	11.40	1.52	30.2	40.3	1.25	2.18	1.61	5.80	89.16	10.84	4.77
Február 14.	33.8	0.21	0.056	8.53	12.18	1.22	30.9	37.1	1.44	2.44	1.33	5.81	87.98	12.02	4.83
Március 14.	34.3	0.19	0.056	8.47	13.74	1.62	31.1	38.2	1.53	2.36	1.42	6.07	88.62	11.38	4.51
Április 18.	33.8	0.24	0.049	8.63	14.52	1.34	30.6	36.8	1.49	2.04	1.06	5.92	89.49	10.51	4.32
Május 16.	33.4	0.18	0.039	9.76	12.76	1.10	29.4	37.9	1.23	1.56	1.27	6.09	89.85	10.15	4.77
Június 17.	31.9	0.19	0.063	9.84	12.38	1.22	29.7	38.2	1.28	1.06	1.13	5.97	90.56	9.44	4.86
Július 18.	34.2	0.23	0.053	10.27	14.40	1.68	31.4	39.4	1.17	0.84	1.26	5.46	91.27	8.73	4.93
Augusztus 15.	34.9	0.24	0.044	10.62	13.82	0.78	30.2	37.5	1.09	0.92	1.39	6.36	90.24	9.76	5.02

## Frissen döntött lucfenyő szijácsának kémiai összetétele.

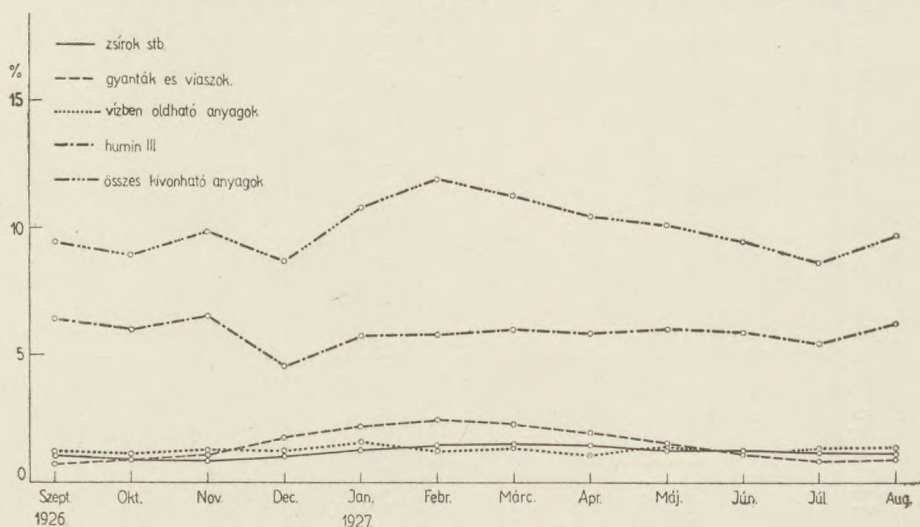
Döntési idő 1926—1927	Víz o/o	Hamú o/o	Pro- tein o/o	Hexo- zan o/o	Xylan o/o	Pen- tozan o/o	Lignin o/o	Cellu- lóz o/o	Zsírok stb. o/o	Gyanta és viasz o/o	Vizben oldódó anyag. o/o	Humín III. o/o	Humín IV. o/o	Összes kivonh. anyag. o/o	Reak- ció pH
Szeptember 13.	190.6	0.24	0.046	13.47	12.70	1.12	30.5	33.1	0.92	0.74	1.20	6.06	91.08	8.92	5.19
Október 18.	186.3	0.25	0.053	15.91	10.58	1.18	29.2	32.4	0.96	0.96	1.08	5.99	91.01	8.99	5.43
November 15.	174.1	0.27	0.070	14.04	14.90	1.78	29.4	34.6	0.98	0.79	1.22	6.29	90.72	9.28	5.27
December 13.	151.3	0.29	0.056	12.31	12.62	1.48	29.3	38.2	1.21	1.24	1.40	5.73	90.42	9.58	4.98
Január 17.	169.9	0.24	0.063	9.21	13.48	1.34	30.3	39.1	0.53	0.63	1.86	5.76	91.22	8.78	5.05
Február 14.	141.2	0.20	0.077	6.98	12.48	1.22	31.1	39.6	1.60	1.28	1.64	6.08	89.40	10.60	4.83
Március 14.	175.5	0.21	0.074	16.94	13.86	1.74	29.1	36.1	1.72	2.04	3.51	6.72	86.01	13.99	4.94
Április 18.	215.3	0.22	0.049	17.26	10.54	1.06	28.2	34.2	1.76	2.13	4.65	6.56	84.90	15.10	4.51
Május 16.	160.9	0.21	0.059	14.31	12.82	0.94	29.3	37.6	1.45	1.67	4.01	6.34	86.53	13.47	5.05
Június 17.	194.5	0.22	0.074	12.19	11.82	1.44	27.6	35.7	1.39	1.49	2.05	5.95	89.12	10.88	5.36
Július 18.	192.3	0.20	0.063	11.84	12.68	1.20	27.9	32.7	1.16	0.93	1.27	6.76	89.88	10.12	5.24
Augusztus 15.	194.3	0.25	0.064	12.35	12.02	1.14	29.2	34.1	1.04	0.99	1.32	6.52	90.13	9.87	5.30



(Lásd 1. és 2. számú kép.)

A hamualkotórészek élettani szerepére vonatkozólag álljon itt röviden a következő:

*S* (kén) és *P* (phosphor). Ennek a két elemnek a szerepe a növény életfolyamatainál nagyon könnyen megérthető, ha meg-gondoljuk, hogy ezek általában a növényi fehérjéknek nagyon sok esetben az alkotórészeit képezik. Általában a növény szem-pontjából fontos tudnunk azt, hogy ezt a két elemet csak maga-



1. kép.

A lucfenyő érett fájában található anyagtartalom évi változásai.  
Gäumann után.

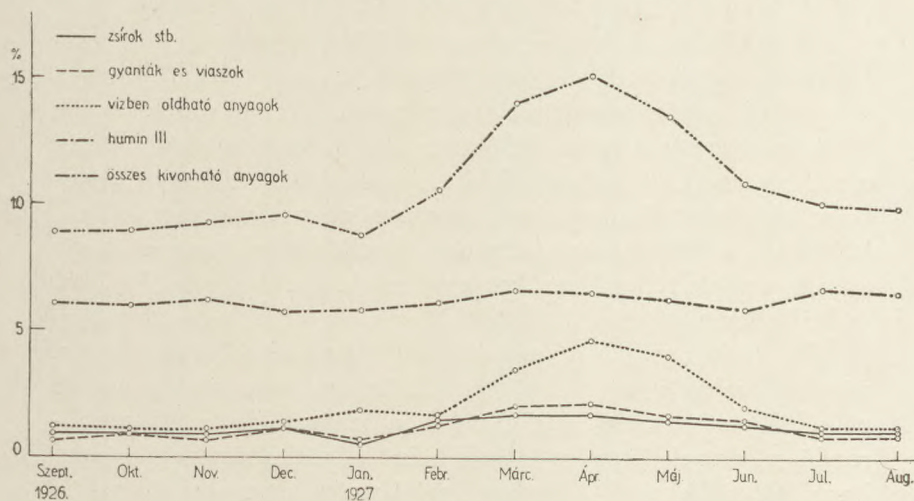
sabb oxydált vegyületeik, mint szulfátok és foszfátok alakjában vehetik fel a növények, mint elemek, tiszta állapotban értéktelenek a növény számára.

*Fe* (vas). A vas szerepe a növény szempontjából szintén már régebb idő óta ismert és világos. A vas ugyanis a chlorophyll képzésénél teljesen nélkülözhetetlen; azonban rendkívül érdekes, hogy a chlorophyll vegyi összetételében nem találjuk meg a vasat, amint azonban később látni fogjuk, úgy a természetes, mint a mesterséges táplálótalajban feltétlenül jelen kell lennie, mert különben a növény nem fejlődik és a chlorozis jelensége lép fel.



**Mg** (magnézium). Ez az elem szintén nélkülözhetetlen a növény életfolyamatai szempontjából, semilyen más vele rokon elemmel helyettesíteni nem lehet. A chlorophyll anyagában is megtaláljuk és az újabb feltevések szerint valószínű, hogy részt vesz a fehérjéknek a növény belsejében lefolyó szintézisének is.

**Ca** (calcium). Dacára annak, hogy a calciumnak a növény életében elfoglalt szerepe még teljes biztonsággal nem ismeretes, mégis már régóta ismert dolog, hogy a növényi élet szempontjából



2. kép.

A lúccfenyő szíjácsfájában található anyagtartalom évi változásai.  
Gäumann után.

ból feltétlenül szükséges elem. Kimutatták ugyanis az elfásodott sejtfalakban, azután egyes növények (kovamoszatok, zsurlók) sejtfalában, ahol tömegesen van meg, de élettani szerepét a növény táplálkozásában még tökéletesen nem ismerjük. Az újabb felfogások szerint nem lehetetlen, hogy a mész a növényi anyagcsere melléktermékeként fejlődő organikus savak megkötésében játszik fontos szerepet. Általában a növények a mésszel szemben nem viselkednek egyformán; mindegyik növény megkívánja táplálóanyagai között a méssznek jelenlétét, mégis megkülönböztetünk olyan növényeket, amelyek kifejezett előszeretettel bírnak a talajnak mésszben való gazdagsága iránt és olyano-



kat, amelyek a túlságos mésztartalmú talajt kerülik. Így pl. a mészkerülő növények közül ismertebbek: a *Vaccinium myrtillus*, egyes *Sphagnum*-fajok, a *Digitalis purpurea*, a *Rumex acetosella*, a *Castanea vesca*; viszont határozottan mészkedvelő növények: a *Teucrium*-fajok, az *Aster amellus*, a *Prunus mahaleb*, a *Fagus silvatica*, a *Fraxinus ornus*, a *Quercus lanuginosa*, a *Pinus nigra*, stb. Azok a kísérletek, amelyek arra irányulnak, hogy a calciumot nem lehetne-e az elemek természetes sorában hozzá közel álló strontiummal helyettesíteni, negatív eredménnyel zárultak.

**K (kálium).** A kálium a szárazföldi növények életfolyamatai szempontjából teljesen nélkülözhetetlen és hiánya végre is a növény teljes tönkremenését eredményezi. A nátrium bizonyos fókig helyettesíteni tudja, különösen akkor, ha kevés kálium van a növényekben. A káliumnak a szerepe ezidőszerint nem ismeretes, nem lehetetlen azonban, hogy a növény életfolyamataiban, különösen a fehérjék szintézisében játszik fontos szerepet.

A nem feltétlenül szükséges elemek közül a következőket említjük meg:

**Na (nátrium).** Amint az exakt vizsgálatok mutatják, a nátrium csakis egyes sós vízben élő tengeri moszatok számára nélkülözhetetlen elem, míg ellenben a szárazföldi és magasabbrendű növények tenyésztésénél, mint a vízkultúrák világosan igazolják, jóllehet a hamuban legtöbbször kimutatható, mégis nem feltétlenül szükséges.

**Cl (chlor).** A chlort legnagyobb mennyiségben a tengeri, egyes homoki és sivatagi növényekben találjuk, de a sejt nedvében is elő szokott fordulni chloridok alakjában. Megtaláljuk a borsóban és a zabban is, azonban mindezek dacára nem tartozik a feltétlenül szükséges elemek közé.

**Si (silícium).** Ennek a legismertebb előfordulási formája a  $\text{SiO}_2$ , a kovasav és amint már ismételtén említettük, különösen a kovamoszatok és zsúrlók sejtfalában fordul elő nagyobb mennyiségben. Igen érdekes, hogy különösen a kukoricakultúrák szempontjából a vízkultúráknál, ha nem is tartozik az abszolút nélkülözhetetlen elemek közé, jelenléte a kukorica növekedésére határozottan kedvezően hat.

**Al (aluminium).** Az aluminium egyes növényfajokban na-



gyon gazdagon jelentkeznek, így különösen egyes *Lycopodium*-fajokban, amelyeknek a hamuja sok Al-t tartalmaz. *Stoklasa* szerint egyes növények szempontjából a nélkülözhetetlen elemek közé tartozik; így pl. egyes füvekre és *Juncus*-fajokra vonatkozólag kimutatta, hogy az alumínium a feltétlenül szükséges elemek közé tartozik. Ezek a vizsgálatok azonban még megerősítésre szorulnak.

Igen érdekes a *Rb* (rubídium) és a *Cs* (caesium) szerepe a növények életében. Ezekről az elemekről kimutatták, hogy egyes baktériumok (*Benecke*, 1907) kálium nélkül is növekedhetnek, ha nekik rubídium- és caesiumsókat adnak. Egyes gombák szintén hasonlóan viselkednek.

A *Mn* (mangán), *Zn* (cink) és a *Cu* (réz) a növények életében különösebb jelentőséggel nem bírnak, néha azonban mint ingeranyagokat használják fel őket.

### C) A víz.

Amint az I. kötetben a protoplazma tárgyalásakor ismertettük, a növény élete szempontjából a víztartalom kiválóan fontos szerepet játszik. Különösen a növények élő részei tartalmaznak igen nagymennyiségű vizet, így a növekedésben lévő fiatal szervek, amelyek túlnyomórészt élősejtekből állanak, 80—90% víztartalommal is bírnak. A levelekben 70—80% a víz, a gyökerek és a termés pedig 70—90%-ban tartalmaznak vizet. A csiraképes magvakban még légenszáradt állapotban is ki lehet mutatni 10% vizet.

Az élőfának minden részében jelentékeny mennyiségű víz van. Általános szabály, hogy a legfiatalabb részekben van legtöbb. A növekvésben lévő növényrészek mindig vízzel vannak telítve. Legtöbb víz van tehát a fiatal gyökerekben, a levelekben és a legfiatalabb hajtásokban; a fatörzs dereka vízben legszegényebb s innen mind felfelé, mind lefelé, vagyis a fiatalabb részek felé emelkedik az átlagos víztartalom. A törzs átmetszetét tekintve, a kambiumpalást s az ezzel határos legfiatalabb fa- és héjréteg vízben leggazdagabb s a víztartalom e rétegből mind be-, mind kifelé apad. Vízben legszegényebb tehát a héjnak régen elhalt legkülsőbb rétege és rendszeren a legidősebb évgyű-



rűk, tehát gesztes fákon rendszeren a geszt. E szabály alól azonban kivételek is vannak, mert pl. a nyírfán a fatest belső része vízben gazdagabb, mint a külső rétegek. Ez beáll pl. akkor, ha a megelőző vízbőségre szárazság következik be; midőn először a külső, erélyesebben vezető farétegek vesztik el vízük nagy részét, a levelek párologtatása folytán, míg a tartalékul szolgáló víz a fa belsejéből csak lassan megy át a külső rétegekbe.

A növény földfeletti részén legtöbb vizet tartalmaznak a levelek. Az egészen fiatal bükk, tölgy és hárs, valamint a lú-, erdei- és vörösfenyő leveleiben 75—80% víz van, amely a tenyészeti évad alatt 54 és 70% között ingadozik. Legkevesebb a víz a levélben a lehulláskor, de akkor is 45 és 55% között szokott lenni. Az erdeifenyő két és több éves tűinek víztartalma rendszeren az 50%-ot nem sokkal haladja meg.

A különböző fafajok fájának víztartalma nyers állapotban gyakorlati szempontból igen fontos lévén, E b e r m e y e r után közöljük azoknak a vizsgálatoknak eredményeit, amelyeket B a u r és előbbi végeztek.

Ezek szerint tartalmaztak súlyszázalékokban:

Nyers állapotban	Hasábfa		Dorongfa	Rőzsefa
	külső évgűrűk	belső idősebb rétegek		
Kemény lombfák	44	40	46	46
Lágy lombfák .	55	49	54	58
Fenyők . . . .	57	40	58	60

H a r t i g R. a müncheni erdészeti növénytani intézetben beható vizsgálatokat tett annak kipuhatolására, hogy miképen oszlik el a víz a fa különböző részeiben, amelyekből néhány kiszakított adatot közlünk itt mutatványképen:



A következő fák 100 rész nyers anyagában talált víz:

Fafaj és kora	A levágás ideje	Magasság a föld felett	Héj		Szójács		Geszt vagy érett fa vagy belső rétegek		A fatest egészben	
			100 cm <sup>3</sup>	100 g	100 cm <sup>3</sup>	100 g	100 cm <sup>3</sup>	100 g	100 cm <sup>3</sup>	100 g
Egy 30 éves nyír . . . . .	X/8	1/3	44.5	42.5	34.8	39.8	38.0	42.4	36.0	40.8
" 85 " " " " " " " " " "	II/16	4.7	40.4	39.0	41.8	44.9	42.6	48.0	42.1	45.9
" 80 " bükk . . . . .	XI/28	3.7	50.0	48.6	51.6	46.0	32.2	36.4	45.3	43.8
" 95 " " " " " " " " " "	II/16	3.7	41.5	39.9	45.2	43.6	28.3	33.1	39.9	41.2
" 50 " tölgy . . . . .	V 7	3.5	50.2	54.5	42.5	43.9	44.4	41.4	43.7	42.5
" 70 " erdeifenyő . . . . .	VII/9	4.6	53.2	67.6	58.6	58.8	12.3	23.3	34.6	45.7
" 80 " lucfenyő . . . . .	I/2	4.6	55.1	67.6	63.8	64.3	10.6	25.6	36.3	52.4

J e g y z e t. Az utolsóelőtti főhasáb a gesztnélküli fáknál a legbelső évgűrűkre vonatkozik.

Látjuk a fentebbi számokból, hogy a víztartalom hol a héjban, hol a szójácsban a legnagyobb; továbbá, hogy a külső évgűrűkben rendszeren nagyobb, mint a belsőbbekben, vagyis idősebbekben, s hogy a legidősebb évgűrűk víztartalma igen különböző; míg a fenyőké nagyon alacsony, addig a tölgyé a szójácséhoz közel áll, azt el is érheti, sőt a nyíré túl is haladhatja.

H a r t i g R., hogy a sejtek üregeiben foglalt cseppfolyó víz mennyiségét, az összes víztartalom kipuhatólása után, számítás útján meghatározhassa, közvetett utat választott a sejtfalakban (ezenkívül keményítőszemcskében, stb.) imbibált víz meghatározására. Ő ugyanis abból a szempontból kiindulva, hogy az élő fában a sejtfalaknak vízzel telítve kell lenniök, kipuhította, hogy a kísérlet alá vetett fafajok finom gyaluforgácsa, miután abból 100° C mellett minden cseppfolyó víz kihajtatott, mennyi vizet képes vízpárával telt légmentes újból magába venni.

Mindeme kísérletek végeredménye a 36. oldalon lévő táblázatban található.

Az előbbieken töredékesen ismertetett, valamint még más számos kísérletből vonható kétségtelen következtetéseket a következő pontokba foglalhatjuk röviden össze:

1. Hazai fafajaink közül élő állapotban legtöbb vizet tartalmaznak a tűlevelűek, azután a könnyebb, vagyis az ú. n. lágy



Fafaj	Szervi anyag 100 cm <sup>3</sup> nyers fában			Légtér cm <sup>3</sup> -ben	Víztartalom			A nyers fa fajsúlya	Átlagos beívási tényező
	g	szára- zon	be- ítatva		100 cm <sup>3</sup> -ben		100 g-ban		
					egész- ben	csöpp- folyó- san			
		cm <sup>3</sup>					g		
		a	b						
Tölgy . . . 50 éves .	58.7	37.6	67.7	18.9	43.5	13.4	42.6	102.2	80
Bükk . . . 80—135 " .	55.4	36.6	61.6	20.8	42.6	17.6	42.8	99.5	68
Nyír . . . 30—85 " .	51.0	32.6	54.2	23.1	44.3	22.7	46.5	95.3	66
Lúcfenyő . 65—80 " .	37.4	23.9	38.3	35.6	40.5	26.1	52.0	77.9	60
" . 25—35 " .	36.0	23.1	36.9	20.1	56.8	43.0	61.2	92.8	60
Erdeifenyő 70—75 " .	42.6	27.3	41.0	34.4	38.3	24.6	47.4	80.9	50
" . 20—35 " .	38.0	24.4	37.8	15.1	60.5	47.1	61.4	98.5	55
Vörösfenyő 55 " .	45.8	29.4	—	43.1	27.5	—	37.5	73.2	—

lombfák s végre a nehezebb és keményebb lombfák. Nagy átlag-  
ban élő állapotban

a fenyők mintegy . . . . .	52—65%
a lágy lombfák . . . . .	45—55%
a kemény lombfák . . . . .	38—45%

vízet tartalmaznak.

Legtöbb vizet tartalmaz a fiatal síma fenyő, amelynél az 77%-ra emelkedhetik. Legkevesebbet tartalmaz a fenyők között a vörösfenyő, t. i. 45—53%-ot.

A vastag törzsben kevesebb a víz, mint a vékonyban. Legszegényebb vízben rendszeren a geszt s általában a legöregebb évgyűrűk, leggazdagabbak a legfiatalabbak, amelyek a szíjácson képezik.

A törzsnek alsóbb részei, mégpedig mind a fa, mind a héj, rendszeren néhány százalékkal szegényebbek vízben, mint a felsők. De e tekintetben számos a kivétel: Hartig R. pl. a téli hónapokban ellenkezőt tapasztalt a nyírfán és a tölgyön, valamint a bükkfa és a vörösfenyő szíjácsán júliusban.

2. A nedvtartalom minimuma a legtöbb lombfán nyárra vagy őszre esik; a nedvesség maximuma pedig télre, vagy a könnyezés szakára. A szíjács legtöbb vizet tartalmaz rendszeren télen és tavasszal, különösen mikor a fákban a tenyészet megindul s a rügyek fakadni kezdenek; azután apad a víztartalom a nyár és



az őszi folyamán a levélhullásig s ettől fogva megint növekedik a föld megfagyásáig. Amíg a föld fagy tart, megint kissé apadni kezd, de tavasz elején újból emelkedik a fák kizöldüléséig.

Hogy azonban e szabályok nem általánosak, bizonyítja a tölgy és a kőris, amelyeknek maximuma általában nyárra, minimuma pedig tél végére esik. Némely fán, pl. a bükkön egy téli és egy nyári maximum észlelhető. Ugyanezt tapasztaljuk az erdei- és lúcfenyőn is.

Hartig R. azt mondja, hogy nyáron mind a fában, mind a héjban több a víz.

Hogy e szabályok ily jelentékeny eltéréseket mutatnak, az valószínűleg onnan ered, hogy a vízmennyiséget két, az évszakokkal változó tényező összhatása határozza meg, egy tevőleges és egy nemleges: a vízfelvétel a gyökerek által és az elpárolgás a levelek és a héj által.

3. A héj majd egész éven át nedvesebb, mint a fa; kivételt képeznek a fenyők, amelyeknek a szíjácsában majd egész éven át több víz van, mint a héjban. A héjnak épp úgy, mint a fának, legfiatalabb s így a kambiumhoz legközelebb eső rétegei legnedvesebbek.

4. A szíjácsban és a héjban, kiváltképen pedig a vékony ágakban a víztartalom a nappali párolgás folytán folytonos és észrevehető változásnak van alávetve. Ennélfogva azok a reggeli órákban legduzzadtabbak, az esteliekben legszárazabbak. A fának koronája, azaz sudara és ágazata legtöbb vizet tartalmaz.

Ha valamely erdőnek összes fatömegét és levélmennyiségét ismerjük, abból a fák összes víztartalmát kiszámíthatjuk. Ebermeyer szerint az állomány nedvvel telt szervi anyagának, ideszámítva a gyökérfát és lombot is, legalább 56—60%-a vízből áll s így száraz anyagra mintegy 40—44% esik.

A fa víztartalmának változására vonatkozólag igen érdekes Gäumann-nak a vizsgálata, amelyek szerint a fa víztartalmának évi változásait a 3. számú kép mutatja.

A növény élő szervezetében a víz túlnyomó része mint folyékony víz van jelen, részben a protoplazma kolloidjaihoz kötve, részben a sejtek fala által mint imbibíciós víz felszívva. A víz-



nek egy része azonban kémiaiilag van kötve a növényt alkotó különböző vegyületekben.

A víznek az elvonása bizonyos határon túl rendszerint a növény tönkretételét, illetőleg elhalását eredményezi. Ez első sorban azért áll be, miután a víz a növény anyagcsereforgalmának lebonyolítása szempontjából elengedhetetlenül szükséges, másrészt azonban a túlságos vízvesztesség következtében a plaz-



3. kép.

Frissen döntött lucfenyő víztartalmának évi változásai.  
Gäumann után.

ma, de különösen a sejt nedvében helyet foglaló oldatok töménysége olyan erőssé válik, hogy ez a növény élete szempontjából hátrányossá lesz és végül is a növény elhalását vonja maga után. Csak egyes alacsonyabbrendű növények (spórák, egyes mohok, de különösen a zuzmók) olyanok, amelyek vízhiány esetében anélkül, hogy tönkremennének, képesek életműködésüket teljesen beszüntetni és azután kellő vízfelvétel esetében azt újra felvenni. Így egyes gombák is nagyon sokáig élnek és csiraképességüket csak vízfelvétel esetében nyerik újra vissza.



### A növények életfolyamatainak kolloidális rendszere.

A növények életfolyamatainak lefolyásában kétségkívül rendkívül fontos szerepet játszanak a víz, a benne oldott sók és a kolloidok. *A kolloidok a növény életfolyamataiban olyan rendkívül fontos szerepet játszó, a protoplazmának elmaradhatatlan és rendkívül fontos alkotórészei és ezért az újabb vizsgálatok megvilágításában az élőanyag kolloidális állapota mind fontosabb és fontosabb szerephez jut és éppen ezen vizsgálatok folyamán ma már megállapíthatjuk, hogy az életfolyamatok zavartalan lefolyása és az életjelenségek önmagukban is az alapjukul szolgáló anyag kolloidális állapotához vannak kötve.*

A kolloid kémiai megállapítása Graham (1862) nevéhez fűződik, aki először osztotta be a természetet az anyag két nagy csoportjára. Az egyik csoport volt az élettelen anyag csoportja: a kristalloidok, a másik pedig az élő anyag csoportja: a kolloidok. Ez a megjelölés azonban nem tartotta magát sokáig, miután a későbbi vizsgálatok folyamata alatt mind bizonyosabbá vált, hogy a kolloid elnevezés nem az anyagra, mint olyanra vonatkozik, hanem csak az anyag állapotát jelöli. Vannak ugyanis anyagok, amelyen pl. az albumin is, amely jól kristályosodik és dacára annak nagy molekulájánál fogva kolloidális sajátsággal bír, míg viszont sikerült anorganikus kristályos sókból kolloidális oldatokat előállítani (pl. kolloidális arany).

Kolloidok alatt az anyagnak bizonyos halmazállapotát értjük. *Minden olyan anyagot, amely valamely oldószerben oldott állapotban van, elsősorban az oldatban lévő anyagrészecskék nagysága jellemez.* Általában kolloid oldatoknak nevezzük valamely oldott anyag halmazállapotát akkor, amikor az oldatban lévő legkisebb részecskék nagysága 1 és 100  $\mu\mu$  között mozog (1  $\mu\mu$  = 0'000.001 mm-rel). A kolloidális halmazállapot tehát közép helyet foglal el az ú. n. durva diszperz és molekuláris diszperz\*) rendszerek között. A kolloidális halmazállapot megítélése szempontjából teljesen mellékes, hogy az így feloldott anyag kristályos, vagy amorf állapotban van-e jelen. Így pl. amorf állapotban van a lignin, a gelatina és a kaucsuk, míg úgy látszik, hogy a chloroplaszták kristályos részekből vannak összetéve és Meyer A., Scherer és Zsigmondy vizsgálatai szerint a keményítő kolloid részei szintén kristályokból állanak.

\*) A diszperz fogalmának magyarázatát lásd a 44. oldalon.



A kolloidális rendszer karakterisztikuma legjobban megvilágítható a H a n d o v s k y által felállított összeállítás segítségével, amely a következő:

A rendszer megnevezése	A részecskék nagysága	
	Ostwald szerint	Zsigmondy szerint
1. Durva diszperziós rendszerek . . {	$> 100 \mu\mu$ ( $0.1 \mu$ )	$1000 \mu\mu$ ( $1 \mu$ )
2. Kolloiddiszperziós rendsz. (kolloid.)	$100 \text{ } 1 \mu\mu$	$1000 \cdot 20 \mu\mu$
3. Molekuláris és iondiszperziós rendsz.	$< 1 \mu\mu$	$< 5 \mu\mu$

A részecskék nagyságára és sajátosságaira vonatkozólag Zsigmondy következő összeállítását közöljük:

1 μμ	200 μμ	1 μ	10 μ	100 μ	1 mm
Az ultramikroszkóp birodalma		A mikroszkóp birodalma			
Brown-féle mozgást végző részecskék			Brown-féle mozgást nem végző részecskék		
Részecskék, melyek a közönséges papirosszűrőn átszűrődnek			Részecskék, melyek a papirosszűrőn visszamaradnak		
Részecskék fokozott oldhatósággal			Részecskék közönséges oldhatósággal		
Valódi oldat	Kolloid oldat	Emulziók és szuszpenziók			
1 μμ	200 μμ	1 μ	10 μ	100 μ	1 mm

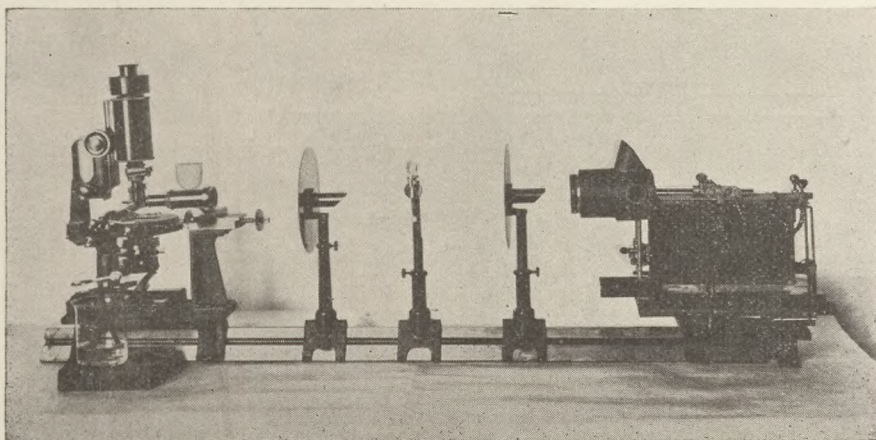
Az itt közölt méreteknak az összehasonlítása céljából tájékozásul álljanak még itt B o a s következő adatai:

Egy széndioxyd molekula sugara	$0.3 \mu\mu$	(Nernst)
Egy oxigén	"	$0.8 \mu\mu$ ( $0.8$ milliomod mm)
Egy hydrogén	"	$0.2 \mu\mu$ ( $0.2$ " " )



Egy haemoglobin molekula sugara .	2.5 $\mu$ .	(2.5 milliommó)
Egy fehérje . . . . .	ca 3 $\mu$ .	
Kolloidális aranyrészecskék . . . .	1-10 $\mu$ .	
Chloroplaszták . . . . .	5000 $\mu$ .	(Möbius után)
Erjesztősejtek . . . . .	7500 $\mu$ .	(7.5 $\mu$ )
A közönséges szűrők pórusai . . . .	1500-4800 $\mu$ .	(1.5-4.8 $\mu$ )

Az anyag kolloidális állapotának egyik általános jellemző sajátossága, hogy ezeket az ultramikroszkóp segítségével még meg lehet figyelni. Az ultramikroszkóp ugyanis azért, hogy a mi-



4. kép.

Zsigmondy-féle hasadékos ultramikroszkóp. — Balról jobbra: mikroszkóp, állvány a folyadék hozzáfolyásának a szabályozásával, gyűjtőlencse, szabályozható hasadék, gyűjtőlencse, elektromos izzólámpa.

kroszkóp látómezéjébe megfelelő berendezés segítségével nem engedi bejutni a közvetlenül áthaladó sugarakat, hanem csak az oldalról megfelelően elhajlított sugarak bejutását teszi lehetővé, ezeket a rendkívül apró részecskéket a mikroszkóp sötét látómezéjében világítókká teszi.

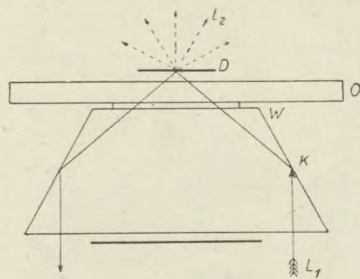
A mikroszkópi látás határa ugyanis összefüggésben van az emberi szem által még érzékelhető legkisebb fényhullám hosszúságával. Ez a nagyság kb. 0.2  $\mu$ , amely adat az ú. n. Helmholtz—Abbe-féle egyenlettel van összefüggésben, amely a következő:

$$d \geq \frac{\lambda}{n \cdot \sin \alpha}$$



ahol  $\lambda$  a fénycsillag hullámhosszát,  $n \cdot \sin \alpha$  a vizsgálatnál használt mikroszkóp tárgylencse numerikus aperturáját jelenti, viszont  $h$  azt a legkisebb távolságot adja, amely két pont között még az adott tárgylencsével feloldható, illetőleg a szem számára érzékelhetővé tehető. Ha a nátriumfényt vesszük irányadóul, amely az emberi szem számára az érzékelhetőség legalsóbb határán van és ha a modern mikroszkóptechnika teljesítőképességének legnagyobb határán álló  $\frac{n}{\sin \alpha} = 1.30$  vesszük, úgy  $d = 0.23 \mu$ .

*Ez az egyenlet és az itt vázolt adatok egyúttal a mai mikroszkóptechnika teljesítőképességének a határát is adják.)\** Ezentúl lehet ugyan tárgyakat nagyítani, azonban anélkül, hogy



5. kép.

A paraboloidkondenzor fényhatásának vázlata. A tükröből felfelé hatoló közvetlen fénysugarak a kondenzor közepén alkalmazott elcsúsztatott berendezés következtében nem hatolhatnak közvetlenül a mikroszkóp lencséjébe, ezért csak az oldalról ható fénysugarak (pl.  $L_1$ , a képen) jutnak be a kondenzorba, azonban itt többszörösen meg lesznek törve, olyannyira, hogy a fedőlemez ( $D$ ) és a levegő határán teljes elhajlítást szenvednek, úgyhogy a szembe csak az elhajlított indirekt sugarak ( $L_2$ ) jutnak, míg a közvetlen sugár teljes reflexiót szenved és a kondenzor ellenkező oldalán távozik. Handovszky után.

mikroszkópi képet lefényképezzük. Az ultraibolyasugarak hullámhossza  $\lambda = 275 \mu$ . Az ultramikroszkóp viszont képes olyan kis részeket láthatóvá tenni, amelyeknek a nagysága maximális értékben  $4 \mu$ -vel, vagyis  $0.000.004$  mm-rel egyenlő. Természetesen ennél a határnál már nem lehet az illető láthatóvá tett tárgyak közelebbi alaki sajátosságait kivenni. A lényeg abban áll, hogy ezek a rendkívül apró tárgyak fekete mezőben mint élesen

a tárgyak szerkezetében újabb részletek kivehetővé váljanak. Minden kísérlet, amely ezen teljesítőképesség nagyítására vonatkozott, gyakorlati szempontból eredménytelen maradt. A határt csak a Köhler-féle ultraibolyamikroszkóp (Uvio-mikroszkóp) és Siedentopf és Zsigmondy által konstruált ultramikroszkóp (l. 4. sz. kép) segítségével lehet kitolni. Az ultraibolya sugarakat az emberi szem már nem érzékeli, de a fényképezőlemez még megrögzíti őket. Ennek a segítségével tehát még további részleteket lehet felismerhetővé tenni, ha a

\*) Az elméletileg lehetséges nagyítási határ kb. 3000-szeres. Ezt a mai tökéletes lencserendszerű mikroszkópok el is érik.

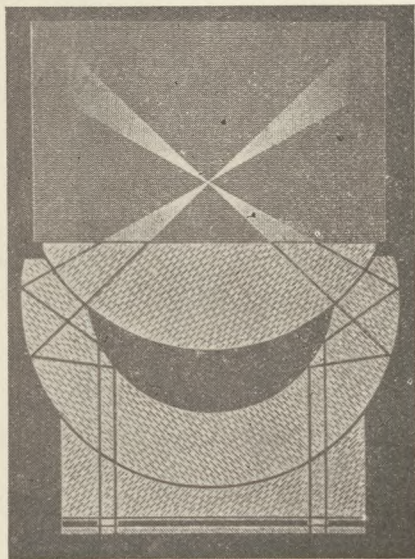


világító pontocskák jelennek meg. Az ultramikroszkóp a kolloid-kémián kívül még a bakteriológiában is nagy szerepet játszik.

Ugyancsak ilyen mikroszkópi berendezést szolgáltatnak az ú. n. ultramikroszkópi k o n d e n z o r o k, amelyek a kondenzor közepe táján elhelyezett sötét mező segítségével csak az ú. n. elhajlított sugarakat engedik a szembe bejutni. Régebben a kondenzorok használata helyett a S i e d e n t o p f—Z s i g m o n d y-féle ultramikroszkóp volt elterjedve, ma azonban ezt a p a r a b o l o i d - és k a r d i o i d k o n d e n z o r o k helyettesítik. A k o l l o i d o k megfigyelésére különösen a kardiodikondenzor kiválóan alkalmas (l. 5., 6. és 7. sz. képek).

Általában — amint az eddigiekből is világosan kitűnik — a kolloidok tehát vagy több molekula egyesüléséből keletkeznek, vagy maguk a molekulák lesznek olyan hatalmasokká, hogy a kolloidoknak sajátosságait veszik fel. Amíg pl. a kolloidális arany az első csoportba tartozik, addig a fehérjék túlnyomóan a második csoportba tartoznak, viszont a cellulóz és a keményítő szintén az első csoportba sorolhatók. Így az újabb

vizsgálatok szerint 400 molekula arany alkot egy kolloidális arany részecskét. A kolloidális részecskék közt is két formát kell egymástól elkülönítenünk és pedig azokat a kolloid részecskéket, amelyek bizonyos határozott molekulaszám egyesüléséből keletkeznek, e l s ő d l e g e s (primaer) r é s z e c s k é k - n e k nevezzük. Ezek a részecskék a bennük rejlő kondenzációs hajlandóság következtében, ha egymással találkoznak, nagyobb komple-



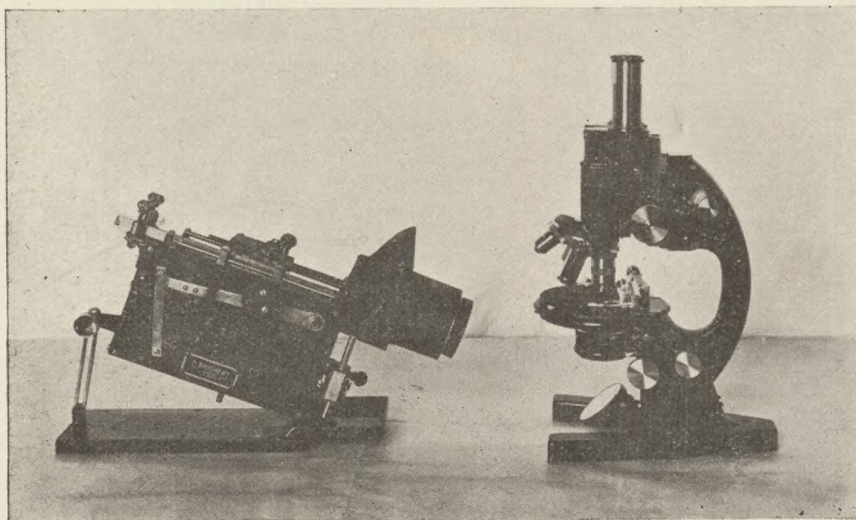
6. kép.

A kardiodikondenzorba jutó fénysugarak útja egy ráfektetett uránüveglemezen keresztül. (Egy Zeiss-kép után.)



xumckká egyesülnek, amelyeket azután másodlagos (secundaer) részecskék - nek nevezünk. Amint látjuk, tehát a kolloid részecskék nem képeznek egy annyira szorosan vett és szabatosan körülírt kémiai egységet, mint az atomok és molekulák.

Általában az anyagoknak oldatba való jutásakor megkülönböztetjük a diszperziós anyagot, amely nem egyéb, mint az oldószer és azután a diszperziós fázist, amely egyértelmű az oldószerben finoman szétoszlott anyaggal s ezt az egész rendszert



7. kép.

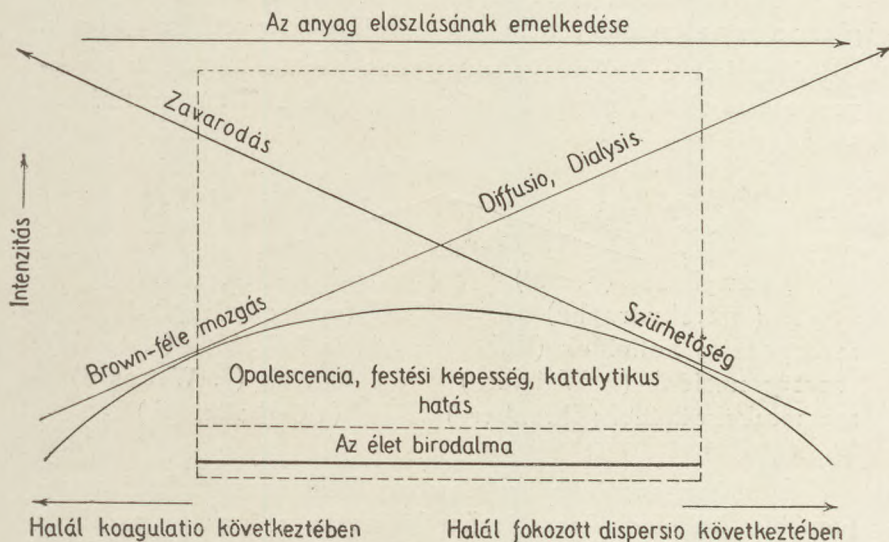
A kardioidkondenzor használati módja Zeiss-féle nagy binokuláris mikroszkóppal és Reichert féle automatikusan szabályozható ívlámpával. *Æ.*

nevezzük azután diszperziós szisztémának, míg emellett még egy anyagnak a másikon való finom szétosztását, vagy más szóval oldatbajutását diszperzióknak is nevezzük. Amint már fentebb említettük, megkülönböztetjük tehát a durva diszperziós, azután a kolloid diszperziós és végül a molekuláris és iondiszperziós szisztémákat.

A másik fogalom és elnevezés, amely a kolloidkémia keretén belül szintén rendkívül gyakran használatos, a *sol* és a *gel* fogalma. *Sol* alatt értjük a kolloidális állapotnak azt a megnyilvánulását, amikor bizonyos szilárd és cseppfolyós anyagok a



diszperziós anyagban finoman el vannak oszolva. Ha azután ezek a finoman elosztott kolloidok belső sajátságaik vagy külső behatás következtében mindinkább növekvő egységekké nőnek, sőt ki is csapódnak, úgy a kolloidális szisztémát *gel*-nek nevezzük. Ha a gelt megint sollá lehet átalakítani, akkor azt mondjuk, hogy a gel *rezolubilis*, az egész reakció pedig *reverzibilis*. Ennek alapfeltétele természetesen az, hogy a kolloid részecskék a gel képződésénél alapjukban meg nem változnak. Ha megváltoztak és a képződött gelt sol diszperziós szisztémává



8. kép.

többé átváltoztatni nem lehet, akkor *irrezolubilis* diszperzióról beszélünk és az egész reakcióról azt mondjuk, hogy az *irreverzibilis*.

*Maguk az életjelenségek általában legtöbbször ily irreverzibilis reakcióknak a láncolatából állanak és az élő szervezetek egyéni életműködése sem más, mint ilyen irreverzibilis reakció, amely a születésnél kezdődik és a halálnál végződik.*

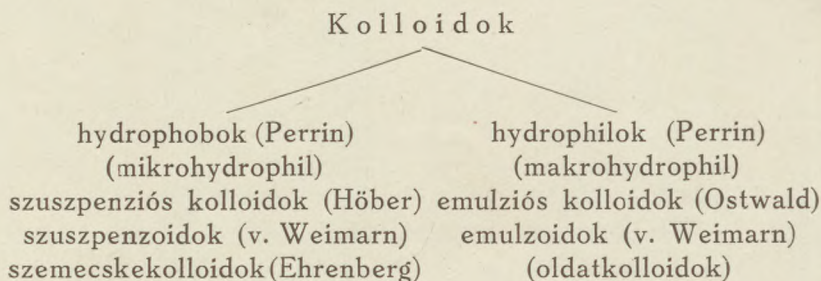
Ezekén kívül ismerjük még az ú. n. *gallerteket* (kocsonyás állapot), amelyek gelatinaszerűek és jellemző sajátságaik, hogy formájuk és strukturájuk állandó. Ezek a gallertek még



azzal az érdekes sajátsággal bírnak, hogy a folyékony és szilárd testek sajátságait egyesítik magukban, mégpedig a szilárd testek állandó formáját és elaszticitását, illetőleg rugalmasságát mutatják, viszont a folyékony testek sajátságaival szintén rendelkeznek.

Azokat a kolloidokat, amelyeknél az előbb említett másodlagos részecskék kémiaiilag különböző elsődleges részecskék kondenzációjából keletkeznek, *kevert kolloidok*-nak nevezzük. A kevert kolloidok fogalma élettani szempontból már azért is rendkívül fontos, mert az újabb felfogások szerint a protoplazma is valószínűleg a kevert kolloidok csoportjába tartozik.

Magukat a kolloidális anyagokat azután megint két csoportra osztjuk fel, mégpedig a következő összeállítás szerint:




Általában az újabb irodalomban, különösen élettani szempontból a kolloidok felosztásakor leginkább a *hydrophil* és *hydrophob* elnevezést használják. Ezenkívül használatos még a *hydrophil-lyophil* és a *hydrophob-lyophob* elnevezés. A *hydrophob* kolloidok alatt általában olyan diszperziós szisztémákat értenek, amelyeknél a diszperziós fázis, tehát az oldott anyag többé-kevésbbé szilárd természetű, pl. a kolloidális arany. Ezeket más néven szuszpenziós kolloidoknak is mondjuk. Élettani szempontból azonban sokkal fontosabb a kolloidok másik csoportja: a *hydrophil* kolloidok csoportja, ahová az ú. n. emulziós kolloidok tartoznak. Erre jellemző az, hogy az előbbiekkal ellentétben diszperziós fázisuk többé-kevésbbé cseppfolyós, vagyis itt egy cseppfolyós anyag van finoman elosztva a folyékony oldószerben. Ilyen kolloidok azok, amelyek az élettani folyamatokban a legfonto-



sabb szerepet játsszák, nevezetesen: a fehérjék, a lipoidok, a keményítő, a cellulóz, stb.

Általában rá kell mutatni arra a valóságra, hogy a durva diszperziós, kolloiddiszperziós és a molekuláris diszperziós rendszerek között nincsen éles átmenet, hanem az élet alapjául szolgáló anyag halmazállapota a különböző tényezők hatására ezen három alak között változik. Nagyon szépen mutatja ezt az összefüggést B o s n a k az alant részletesen közölt táblázata és grafikonja (l. 8. sz. kép).

Durva diszperz	Kolloid diszperz	Mol. diszperz
		Az anyag eloszlásának következményei
	 <p>Az életjelenségek optimuma</p> <p>←</p> <p>Az adszorpció növekedése</p> <p>A sejt összteljesítményének növekedése</p>	Fokozódó hidratáció*)
Halál koaguláció következtében	←	→
		Halál fokozódó eloszlás következtében

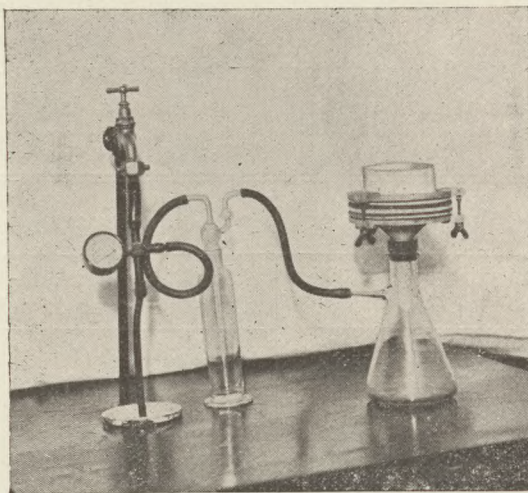
A protoplazmára vonatkozólag már az előbb említettük, hogy az kétségkívül a kevert kolloidok közé tartozik, mégpedig az idevonatkozó vizsgálatok mai állása szerint a protoplazma valószínűleg egy hydrophil kolloid szisztéma és ennek abba a csoportjába tartozik, amely megfelelő beavatkozásokkal kocsonyássá tehető és folyósítható. Így a protoplazmát ezen saját-

\*) A hidratáció fogalmának magyarázatát lásd az 53. oldalon.



ságánál fogva a gelatináló kevert hydrophil kolloidok közé soroljuk.

A kolloidoknak optikai úton való kimutatásáról már szözlottunk. Erre vonatkozólag csak annyit óhajtunk még megjegyezni, hogy a kolloidok op-



9. kép.

Zsigmondy-féle kolloidszűrő víz-légszivattyúra kapcsolva. *E.*

vízhez hasonló fénytöréssel bírnak és ezért még ultramikroszkóp segítségével sem mutathatók ki.

A kolloidoknak másik kimutatása mechanikai úton lehetséges. Ezeknek egyik leggyakrabban használt módja a különböző finomabb és durvább szisztémájú kolloidok kolloidális festőanyagának a gelatinán áthatoló gyorsasága. A gyorsabb diszperzitású kolloidális festőanyagok (mint pl. methylikék, methylviolet) órák alatt áthatolnak, míg az alacsonyabb diszperzitású festőanyagok (pl. a kongópiros) napok, sőt hetek alatt tudnak csak áthatolni. Újabban kolloidális hártványon szűrik át az oldatokat, amelyeknek a pórusnagysága kb.  $1\ \mu\mu$ . Ilyen membránok a pergamentpapír, halhólyag, kollodiumhüvely stb. A közönséges anyagszűrők (Berkefeld-filter) pórusnagysága kb.  $100\ \mu\mu$  körül mozog, míg a papirosszűrők pórusnagysága kb.  $1000\ \mu\mu$ . Újabban nyomás alatt szűrik át a kolloidokat az ú. n. ultrafilteren (pl. Zsigmondy-féle ultrafilter, l. 9. sz. kép).

tikai úton való kimutatása gyakran nemcsak nagyságuktól, hanem fénytörő képességüktől is függ. Így a Zsigmondy által kimutatott kolloidális aranyrészecskék nagysága alig haladja meg az  $5\ \mu\mu$ -t és mégis pl. a kardiod kondenzor segítségével kitűnően kimutatható. Ezzel ellentétben a sokkal nagyobb  $30\text{--}40\ \mu\mu$  átmérőjű u. n. biokolloidok (pl. fehérjék, polysaccharidák stb.) azon sajátságuk következtében, hogy sok vizet vonnak magukhoz, a



## A kolloidoknak egyes jellemző sajátságai.

### a) Diffúzió és ozmózis.

Amint az előzőekben mondtuk és részletes adatokkal is megvilágítottuk, bizonyos szűrők pórusai a kolloidok méreteinél kisebbek lévén, ezeket visszatartják. Egy másik jellemző sajátsága a kolloidoknak, hogy különböző mesterséges és természetes hártyákon, éppen részecskéiknek aránylagos nagysága miatt, rendkívül lassan tudnak áthatolni. A hydrophil kolloidok még mutatnak bizonyos lassúbb ozmózist, azonban a hydrophob kolloidok részecskéi olyan nagyok, hogy a hártyák pórusain már nem tudnak áthatolni. A kolloidoknak egyik jellemző sajátsága tehát, hogy ozmózisnál vagy nagyon lassan, vagy pedig egyáltalában nem képesek a diffúzió törvénye szerint a hártyákon átdiffundálni. Újabban Einstein és Smoluchowski az ú. n. Brown-féle molekuláris mozgásnak egy teljesen új kinetikai elméletét állították fel, amelynek folyamán feltételezik, hogy a Brown-féle mozgás a molekulának a mozgásával identikus. Minthogy azonban Einstein szerint ennek a molekula mozgásnak a gyorsasága a részecskék rádiuszának nagyobbodásával arányosan kisebbedik, úgy világos, hogy a nagyobb átmérővel bíró kolloid részecskék sokkal lassabban végzik diffúziós mozgásaikat, mint a vízben jól oldható sók és cukrok.

Einstein képlete egyébként a következő:

$$A = \sqrt{t} \cdot \sqrt{\frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{3\pi\eta r}}$$

amely képletben  $A$  a részecskék által átlagosan megtett út nagyságát jelenti,  $t$  ezen út megtételéhez szükséges időt,  $\eta$  a folyadék viszkozitását,  $r$  pedig a részecskék rádiuszát, míg  $T$  az abszolút hőmérsékletet,  $R$  a gázállandót és  $N$  a molekulák számát jelenti 1 mol. =  $\frac{\text{mol súly g}}{1000 \text{ cm}^3}$  oldatban.

A kolloidális részecskéknél mozgása megmagyarázza ezek ozmotikus nyomását is. Általában a fentiek alapján a kolloidális oldatok ozmotikus nyomása ugyanazon %-os koncentráció mellett annál kisebb lesz, minél nagyobb a kolloid részecskék nagysága. Ezzel magyarázható, hogy a hydrophob oldatok ozmotikus nyomása úgyszólván 0-val egyenlő és csak a hydrophil kolloidális oldatok mutatnak ozmotikus jelenségeket.



A kolloidális oldatok ozmotikus nyomása azonban nem arányos a töménységükkel. Így pl. 3%-os nátriumoleát ozmotikus nyomása csak háromszor olyan nagy, mint egy 0'5%-os oldaté és viszont a kolloidális  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oldat ozmotikus nyomása 80-szorosra növekszik, ha a töménység nagysága 15—18%-os növekedésen megy át. Ezt az utóbbi esetet a kolloidális részecskék kölcsönös egymástól való ellökésével magyarázzák meg, míg az első eset magyarázatául feltételezik, hogy a kolloidális oldatok diszperzitása a töménységgel megkisebbedik.

### b) Vizkozitás és felületi feszültség.

Vizkozitás alatt a folyadékoknak belső súrlódását értjük, amelynek az értékei meglehetősen változók. Meghatározása különböző ú. n. vizkoziméterekkel történik, amelyeknek lényege az, hogy a vizsgálandó folyadék áramlási sebességét hajszálcsöveken keresztül mérik és összehasonlítják egy alapul vett folyadékkal, pl. a vízzel.

A belső súrlódás értékét  $\eta$  val fejezzük ki, amely a következő:

$$\eta_x = \eta_0 \cdot \frac{s_x}{s_0} \cdot \frac{t_x}{t_0}$$

ahol  $s_x$  a kérdéses,  $s_0$  az alapul vett folyadék fajsúlyát,  $t_0$  a keresett és  $t_x$  az ismert alapul vett folyadék időegység szerint vett áramlási sebességét és  $\eta_0$  az utóbbi ismert belső súrlódását fejezi ki.

Tájékozásul közlünk néhány adatot W i n k e l m a n n után:

Aethylaether	20° C	"	= 0'0023 cm <sup>-1</sup> g sec <sup>1</sup>
Víz	38° C	"	= 0'0068
Víz	20° C	"	= 0'0100
Aethylalkohol	20° C	"	= 0'0120
Higany	20° C	"	= 0'0160
Vérsavó	38° C	"	= 0'0120
Vér	38° C	"	= 0'0350
Glycerin	20° C	"	= 11'0
Ricinusolaj	20° C	"	= 40'0

Gyakorlatilag a kisebb vizkozitással bíró folyadékokat könnyebben folyóknak, a nagyobb vizkozitással bírót nehezebben folyóknak mondjuk.

Az oldatok vizkozitása szoros összefüggésben van a molekuláknak kölcsönös súrlódásával, mégpedig nemcsak az oldószer molekuláinak egymásközötti súrlódása játszik itt szerepet, hanem az oldott anyag és az oldóanyag molekulái is kölcsönösen súrlódnak egymáshoz. Einstein szerint a vizkozitás az oldott anyag részecskéinek összetérfogatótól függ. Ez utóbbinak a növekedésével a vizkozitás kisebbedik.





Einstein-nek ezen fenti elmélete alapján a kolloidális oldatok vizkozitása az oldott anyag koncentrációjának növekedésével együtt növekedik. Ez a tétel azonban csak a hydrophil kolloidális oldatokra áll, mert a hydrophob kolloidális oldatok részecskéi már 2—3%-os koncentráció mellett rendszerint összeragadnak és kicsapódnak.

A vizkozitást ezenfelül még a hőmérséklet is befolyásolja. Általában 20—30° C-ig a hőmérséklet emelkedése a vizkozitásnak egy-kétszeres kisebbedését eredményezi. Olajoknál ez a kisebbedés 4—5-szörös is lehet. Pl. a szarvasmarha szérum vizkozitása 12° C hőmérséklet mellett 0'02378 és 32° C hőmérséklet mellett 0'01424.

Amint a következőkben látni fogjuk, a kolloidális részecskék elektromos töltéssel is bírnak, amely töltés a kolloidális részecskék felületén vizet adszorbeál, ennek következménye az lesz, hogy a részecskék térfogata és természetesen a sűrűlódás is megnövekedik és éppen ez a körülmény okozza, hogy a hydrophob kolloidális oldatok mindig nagyobb vizkozitást mutatnak, mint a hydrophil oldatok.

A felületi feszültség az oldatoknak egy különös sajátsága, amelyre vonatkozólag fontosabb ismereteinket az újabb fizikai-kémiai kutatásoknak köszönhetjük. Általában felületi feszültség mindenütt jelentkezik, ahol szabad felületek vannak. *Ha már most valamilyen oldat vagy folyékony anyag levegővel érintkezik, úgy a felületi feszültség a levegő-oldat határfelületén jelenik meg. A felületen levő molekulák egy része ugyanis igyekszik a folyadékot elhagyni, ami pl. a víznél a párolgásnak felel meg. Azt a molekula erőt, amely a folyadék molekuláját a folyadék felületén visszatartja, nevezzük a folyadék felületi feszültségének.* A felületi feszültség egy energiának felel meg és másképen felületi energiának is mondjuk. Ha most azt az erőt, amely a molekulákat a folyadékban visszatartja, tehát a felületi feszültséget  $O_t$ -el, magát a felületet pedig, amely jelen esetben pl. a levegővel érintkezik  $O_t$ -vel jelöljük, akkor a felületi energia  $O_e = O_t \cdot O_f$ .

Ennek az energiának ugyanazon sajátságai vannak, mint a többi energiának, tehát igyekszik megkisebbedni. A kolloidális oldatokban a felületi feszültségnek a megkisebbedése úgy jön létre, hogy a Brown-féle molekula mozgás alkalmával ezek a kolloidális részecskék egymással közelebbi érintkezésbe kerülnek, végül is összeolvadnak. Ennek az ered-



ménye viszont az lesz, hogy bár egy nagyobb részecske keletkezik, ennek a felülete azonban aránylag kisebb lesz, mint a két kisebb részecskének a felülete együttvéve. Erre nézve álljon itt tájékoztatás a következő példa: Hogyha egy kockát, amelynek az oldalhossza 1 cm, 8 kis kockára szétbontunk, amely kis kockák mindegyikének oldalhossza  $\frac{1}{2}$  cm, úgy könnyen kiszámítható, hogy a kis kockáknak a felülete összesen éppen kétszerese a nagy kockák felületének. Ha most azután az eredeti kockát  $\frac{1}{3}$  cm oldalhosszúságú kis kockákra képzeljük szétbontva, úgy 27 kis kockát nyerünk, amelyeknek a felülete most már háromszor akkora lesz, mint az eredeti nagy kockáé. Ha pedig tovább haladva ezt a kockát elméletileg 1,000.000 számú parányi kockákra bontjuk, amely kockák mindegyike  $10\mu$  oldalhosszúsággal bír, úgy arra a rendkívül érdekes eredményre jutunk, hogy ezeknek a kis kockáknak a felülete egymilliószor nagyobb lesz, mint az eredeti kocka felülete volt, vagyis ezek már  $600\text{ m}^2$  felületet adnak.

Ami most már a kolloid oldatok felületi feszültségét illeti, úgy a hydrophob kolloid oldatok felületi feszültsége kb. a vízével egyenlő, míg a hydrophil oldatok kisebb felületi feszültséggel bírnak. Ez a szabály áll pl. a fiziológiailag fontosabb oldatok közül a fehérjeoldatokra és a szaponinokra; csak ritka esetben nagyobb a kolloidális oldatok felületi feszültsége a víznél, ez az eset áll fenn pl. a gummi arabikumnál.

A felületi feszültség megkisebbedésével függ össze most már az a jelenség, hogy a kolloidális oldatok a víznek a felületi feszültségét is megkisebbítik és Gibbs tétele szerint a víz felületén kondenzálódnak, ami néha olyan nagymérvű lehet, hogy a víz felületén kondenzálódott különböző hydrophil kolloidok, így pl. a már említett fehérjék, vékony hárttyákat alkotnak. Hasonló esetet tapasztalunk organikus folyadékok határfelületén is, ami ebben az esetben a különböző konzisztenciájú és fajsúlyú organikus oldószerek keveredésével magyarázható. Így pl. aether, chloroform és benzol határfelületén, miután ezek alacsony felületi feszültséggel bírnak, akkor, ha ezek az oldatok hydrophil kolloidális oldatokkal keverednek, a kolloidok hárttya alakjában válnak ki.

A fehérje anyagok közül az albuminoknak egyik különös sajátossága, hogy az oldószer felületén bekövetkező hárttyaképződésnél vízben való oldhatóságukat elveszítik, amit denaturálásnak neveznek.

A fenti tulajdonságokkal függ össze most még a hydrophil



kolloidoknak az a sajátása, hogy nagyon erősen kötik magukhoz a vizet. Ezt a sajátaságukat hidratáció-nak nevezzük. Ez a sajátás azonban nemcsak a kolloidanyagokra jellemző, hanem az ionok, molekulák egyaránt képesek hidratálni, amikor pl. molekuláris vegyületeknél a kristályvíz keletkezik.

Az ion és molekula hidratok állandó göznyomás mellett állandó nagyságúak, a kolloidoknál azonban a hidratáció mértéke változik. A hidratáció a legjobban megfigyelhető a kocsonyaszerű kolloidoknál, amelyeknél a hidratáció útján felvett vízmennyiséget mérés útján közvetlenül is meghatározhatjuk, sőt a kocsonyás kolloidok egyrésze úgyszólván korlátlan hidratációval bír, amely a kolloidális oldatba is átmegy.

c) *A kolloid oldatok elektromos sajátásai és adszorpciós jelenségei.*

A kolloidális oldatok egyik legjellemzőbb sajátása, hogy ezek rendszerint elektromos töltéssel bírnak. A durva diszperziós szisztémákban, így pl. egyes kolloid szuszpenzióban egészen jól kimutathatóan jelentkezik a kolloidális részecskéknek ez az elektromos töltése, amennyiben, ha ilyen kolloidális oldaton keresztül elektromos áramot vezetünk, úgy a kolloidális részecskék a sarkokra vándorolnak. Ennélfogva tehát világos, hogy a részecskék és az oldószer részecskéi között potenciál különbség van. Ezeknek a részecskéknek a vándorlását az elektromos mezőkben katóforezis-nek (kataphorese) nevezik. Ha a kolloidális részecskék negatív töltésűek, akkor a pozitív elektróda: az anóda felé vándorolnak, ha pedig pozitív töltésűek, akkor a negatív elektróda: a katóda felé veszik útjukat.

Általában az arany, ezüst, platina, réz és arzén kolloidális oldatainak a részecskéi negatív töltésűek, azonban a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , azután az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  és a bázikus festőanyagok kolloidális részecskéi pozitív töltésűek. A hydrophob kolloidális oldatokban a részecskék általános pontenciálja rendkívül fontos, mert ez akadályozza meg, hogy ezek a kolloidális részecskék összeragadjanak és nagyobb konglomerátumokat képezzenek.

Ami most már az elektromos részecskék töltésének belső okát illeti, ez egyrészt a részecskék saját elektromosságával, másrészt pedig az ionok elektromos sajátásaival függ össze.



Általában — amint még később is rá fogunk mutatni — a kolloidális részecskék elektromos töltését elektrolytekkel módosítani lehet és ezáltal természetesen a kolloidális oldatok tartósságát mesterségesen befolyásolhatjuk.

C o e h n (1909) vizsgálatai szerint, ha egy finoman elaprózott anyag valamely folyadékban úszik és ennek dielektromos állandója\*) kisebb, mint a folyadéké, úgy a részecskék negatív töltésűek lesznek, maga a folyadék pedig pozitív töltést vesz fel. Minthogy pedig a víz magas dielektromos állandóval bír, úgy a vízben úszó részecskék rendszerint negatív töltésűek lesznek. Ez azonban megváltozik, ha a vízben elektrolytek és kolloid részecskék vannak szuszpendálva.

Hogy most már az elektrolytek hogyan befolyásolják a kolloid részecskék töltését, úgy arra vonatkozólag álljon itt egészen röviden a következő: A fizikai-kémiának egy ismert szabálya az, hogy az oldott testek, illetőleg ezeknek részecskéi az oldat felületén kondenzálódnak. Ennek a jelenségnek a neve: a d s z o r b c i ó. Amint már előbb említettük, minden oldott anyag, amely a víznek felületi feszültségét megkisebbíti, a víz felületére törekszik és ott kondenzálódik. Ezzel ellentétben minden olyan oldott anyag, amely a víz felületi feszültségét megnagyobbítja, a felülettől eltávozik.

Ha pl. vizet és chloroformot összerázunk és azután finoman elosztott szén tesztünk ehhez a keverékhez, úgy kevés idő múlva a chloroform és a víz határán egy határfelület képződik, amely határfelületen a szénrészecskék összegyülekeznek, kondenzálódnak, miután a szénrészecskék a víznek a felületi feszültségét megkisebbítik.

Az adszorbciónak a jelenségei meglehetősen komplikáltak. Általában az adszorbeált anyagnak a mennyisége bizonyos határozott viszonyban van az illető anyagnak az oldatban való koncentrációjával, továbbá az adszorbeálódó anyag részecskéinek a felületi nagyságával. Ezt a következő egyenlet fejezi ki:

\*) Dielektromos állandó. Az erő, amellyel szigetelő közegben elhelyezett elektromos töltésű testek egymásra hatnak, egyéb tényezőkön kívül a szigetelő közeg természetétől is függ; legnagyobb értékű ezen erő léghíjas térben és kisebb más szigetelő közegben. Ha a léghíjas térre vonatkozó erőt  $f_0$ -val jelöljük, akkor más közegre nézve az erő ( $f$ ) értéke:

$$f = \frac{1}{D} f_0$$

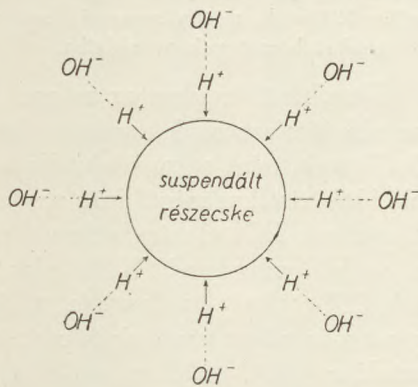
ahol  $D$  az illető közegre jellemző, az egységnél nagyobb számállandó, amelyet az illető közeg dielektromos állandó-jának nevezünk.



$$x = \alpha \cdot c^{1/n}$$

ahol  $x$  jelenti az adszorbeált anyag mennyiségét,  $c$  az oldott anyag koncentrációját az oldatban,  $\alpha$  és  $n$  pedig állandók, amelyek az adszorbeáló és az oldó anyagnak a természetétől függenek.

Ha most már elképzeljük azt, hogy az oldó anyagnak (pl. a víz) nemcsak a molekulái, hanem az ionjai is adszorbeálhatók a kolloidális részecskék felülete által, úgy elképzelhetjük, hogy a kolloidális részecskék által az oldó anyag molekulájának egyik ionja jobban lesz adszorbeálva, mint a másik, dacára annak, hogy a molekulának ellenkező töltésű ionjai nem igen tudnak egymástól elszakadni. Ez az erőbben adszorbeált ion most már behatol abba a folyadékrétegbe, amely közvetlenül a részecske felülete felett fekszik, a másik ion pedig az azzal határos rétegben marad meg. Ezek az ionok most töltésüket a két rétegnek átadják. Maga a részecske, amelyet a belső folyadékréteg teljesen körülvesz, úgy viselkedik, mintha maga is elektromos töltésű lenne és átveszi az őt körülvevő ionok töltését, amelyek viszont az ellenkező töltésű ionokat lekötik. (l. 10. sz. kép).



10. kép.

A szuszpendált részecske felületére  $H^+$  ionokat adszorbeált, amelyek viszont  $OH^-$  ionokat tartanak lekötve elektrosztatikus úton. Handovszky után.

Ha már most a kérdéses folyadék víz és mi a kolloidális oldatba elektródokat bocsátunk, úgy világos, hogy a kolloidális részecskék az átvett töltés következtében az egyik, a víz pedig a másik elektróda felé fog vándorolni. Ilyen elektrolytek vizes oldatban nagyon gyakoriak; így pl. az arzénszulfid kolloidális oldatát úgy állítják elő, hogy az arzéntrioxyd vízzel készített szuszpenziójába egy elektrolytet: kénhydrogént vezetnek be, viszont az így keletkezett arzénszulfidot a víz megint szétbontja, miközben  $H_2S$  és más kéntartalmú savak keletkeznek.



Látjuk tehát, hogy ilyen módon az elektrolitek a kolloidális oldatokat közvetlenül befolyásolják. A kolloidális részecskékre leggyorsabban hatnak az OH és a H-ionok, mégpedig azért, mert ezeknek legnagyobb a vándorlási sebessége. A H-ionok a kolloidális részecskéket pozitív, az OH-ionok pedig negatív töltéssel látják el.

A kolloidális részecskéknél ionok által való befolyásolása más módon is létrejöhet. Így előfordulhat, hogy az oldott kolloid maga láthatja el az oldószert elektromos töltéssel. Ha pl. egy kolloid savanyú tulajdonsággal bír, úgy az általa képzett H-ionok áthatolhatnak a részecskét határoló vírrétegből a következő vírrétegbe és ezáltal a vizet pozitív töltéssel látják el, míg a visszamaradt kolloid részecskék a visszamaradt ionok következtében negatív töltésűek maradnak. A bázikus kolloidnál ennek a fordítottja áll elő. Így pl. fémoxydok és bázikus festőanyagok részecskéi rendszerint pozitív töltésűek, míg a savanyú festőanyagok negatív töltéssel bírnak és  $H^+$  ionokat bocsátanak az oldatba.

Rendkívül érdekes az az eset, amikor a kolloidális oldatokban oldott részecskék amphoter természetűek, vagyis éppen úgy alkalikusak, mint savanyúak. Ez a jelenség különösen a fehérje kolloidok viselkedésénél lesz nagyon szembevető. Amíg ugyanis pl. a sósav HCl elektrolitikus disszociációjánál csak  $H^+$  ionokat, a káliumhydroxid KOH oldat bázikus természeténél fogva csak  $OH^-$  ionokat választ le, addig vannak elektrolitek, amelyeket más néven ampholyteknek is neveznek, amelyek bizonyos esetekben  $H^+$ , máskor pedig  $OH^-$  ionokat választanak le. Ilyenek pl. a fehérjék építőköveit képező aminosavak, pl. a glykokoll, amely  $CH_3NH_3OH.COO^- + H^+$  és  $CH_3COOH.NH_3^+ + OH^-$  ionokra lesz egyidőben disszociálva.

Ezek közé az amphoter, vagy más néven amphoter elektrolitek közé tartoznak a fehérjék is, amelyek közül a legtöbb molekulájának rendkívüli nagysága következtében vesz fel kolloidális sajátságokat. A fehérjék elektrolitikus bomlásánál tehát úgy az anionok, mint a kationok külön-külön egy savanyú és egy bázikus disszociációval bírnak. Ha a savanyú disszociáció állandóját  $k_a$ -val, a bázikus disszociáció állandóját pedig  $k_b$ -vel jelöljük, úgy a legtöbb fehérjénél  $k_a > k_b$ , vagyis minden fehérje-oldatnál több kation, mint anion van, konc.  $H^+ >$  konc.  $OH^-$  és viszont ennek megfelelően, ha  $k_b > k_a$ , akkor a — töltésű fe-



hérje anionok száma is nagyobb lesz, mint a + töltésűeké; tehát fehérje — ion konc. > fehérje + ion konc. A fehérje oldatok eszerint tehát a szabad  $H^+$  ionoknak megfelelően savanyú reakciót és — töltésű fehérje ionokat tartalmaznak. Ez utóbbiak koagulálnak azután a később tárgyalandó alkali- és földfémsók hatására.

$$k_a = \frac{H^+ \cdot \overline{(NH_3 \cdot OH - R - COO^-)}}{NH_3 \cdot OH - R - COOH}$$

$$k_b = \frac{\overline{OH} \cdot \overline{(NH_3^+ - R - COOH)}}{NH_3 \cdot OH - R - COOH}$$

Ennélfogva tehát a legtöbb fehérje oldat hasonlóan a biokolloidok általános természetéhez + töltést vesz fel és gyenge savanyú sajátságokat mutat. Erős savak hatására ezeket a gyengén disszociált savanyú természetű fehérje biokolloidok kationjait mennyiségileg annyira vissza lehet szorítani az oldatból, hogy ezáltal az anionok és a kationok száma egyenlő lesz, ezt a pontot izoelektrikus pont névvel jelöljük. Az izoelektrikus pont helyét a  $H^+$  ionok mennyiségével  $pH$ -val szokták kifejezni.

Az izoelektrikus pontnak különösen jellemző sajátsága, hogy az ionok száma ennél az állapotnál a lehető legkisebbre van redukálva. Tájékozásul még megjegyezzük, hogy a kolloidális részecskének a katóforézisnél tanúsított gyorsasága mutatja, hogy ez a mozgási gyorsaság nagyobb, mint az ionoké és ezért közelfekvő az a gondolat, hogy ezek a kolloidális részecskék több iontól vették át töltésüket.

Az elektromos áram vezetése általában többféle módon mehet végbe. Ezek közül egyike a legközönségesebbeknek az elektromos áramnak fémből készült vezetőkön való vezetése. A másik mód pedig, amely különösen fiziológiai szempontból a legnagyobb szerepet játssza, az elektromos áramnak ú. n. elektrolytikus úton való vezetése, amikor az elektromos áramot savakon, vagy lúgokon, vagy a kettő egyesüléséből keletkezett sókon vezetjük át. A vezetés ilyenkor úgy megy végbe, hogy a kérdéses elem molekulái töltésüknek megfelelően a sarkokhoz vándorolnak; az ilyen elektromos töltésű és vándorló molekulákat ionoknak nevezzük. Az ionok közül a pozitív töltésű ionokat kationoknak mondjuk, amelyek mindig a negatív sarkokhoz, a katódákhoz vándorolnak, míg az anionok, a negatív töltésű ionok a pozitív sarkokhoz, az anódához kon-

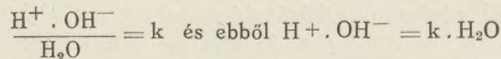


denzálódnak. Az ionok tehát azzal a különös sajátsággal bírnak, hogy azok mindig határozott pozitív, vagy negatív elektromosságot hordoznak, amely sajátságuk állandó marad és azt rendszerint nem változtatják meg. Így pl. a H, Na, tipikus kationok, míg az OH, SO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub> viszont állandóan anionok, tehát negatív töltésű ionok maradnak. Az ionok azonban nemcsak akkor jelentkeznek, ha valamilyen sónak, savnak, vagy lúgnak a vizes oldatán keresztül áramot vezetünk, hanem a legtöbb sav, lúg és ezekből alkotott sók vizes oldata rendszerint anélkül, hogy elektromos áramot vezetnénk rajta keresztül, már ionokra van bontva. A molekuláknak ionokra való szétbontását nevezzük az illető anyag disszociációjának, amelynek alaptörvényét a  $k = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_3}$  egyenlet fejezi ki.

Ebben a képletben  $k$  arányossági tényezőt jelöl,  $c_1$  és  $c_2$  jelöli a disszociált molekulák mennyiségét,  $c_3$  pedig a szétbontatlanul maradt molekulákat fejezi ki. Az arányossági tényezőt az elektrolytikus disszociáció állandójának is nevezik és az egész törvényt, amelyet a fenti egyenlet fejez ki, a kémiai tömeghatás egyenletének mondjuk.

A mai felfogás szerint az elektrolytek oldataikban úgyszólván teljesen ionjaikra vannak bontva, amelyek közül azonban nem mindegyik egyenlően aktív. Minél aktívabbak az ionok, annál erősebbeknek nevezzük az elektrolyteket. A legerősebb elektrolytek közé tartozik a sósav (HCl), a salétromsav (HNO<sub>3</sub>), a nátronlúg (NaOH), a kálilúg (KOH), ezek molekuláinak 70—100%-ig terjedő része disszociálva van; a középérős, 10—70%-os disszociációval rendelkező elektrolytek a kénsav (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), a phosphorsav (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>); gyenge elektrolyt az ecetsav (CH<sub>3</sub>COOH), melynek molekulái 1—10%-ig vannak disszociálva és végül a leggyöngébb elektrolytek közé tartozik a kénhidrogén (H<sub>2</sub>S), amelynek molekuláinak disszociációja 0,1—1% között mozog, illetőleg az újabb felfogás szerint úgy viselkednek, mintha 70—100%, 10—70% stb. mértékben volnának az ionjaik disszociálva.

Többszörös mérések eredményeképpen megállapították, hogy a desztillált víz 22° C-nál rendkívül gyengén van ionjaira disszociálva. Ha az előbbi képlet alapján a víz disszociációjának fokát ki akarjuk fejezni, akkor a következő egyenletet kell felállítanunk:



Az összmolekulák számához viszonyítva a disszociált molekulák száma oly kevés, hogy a nem disszociált víznek a koncentrációját a víz teljes koncentrációjával egyenlőnek vehetjük, miután a nem disszociált vízmolekulák koncentrációja a minimális disszociáció következtében alig szenved mérhető változást. Ezért tehát a víznél a  $k \cdot H_2O$  kifejezést  $k_w$  jelzéssel helyettesítjük, úgyhogy a fenti képlet most már a következő formát veszi fel  $H^+ \cdot OH^- = k_w$  ahol  $k_w$ -nek az értéke 22° C-nál  $10^{-14}$ . Minthogy pedig ez a szám egyenlően van elosztva a H és az OH ionokra, úgy a H ionok kon-

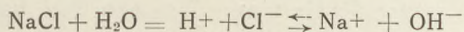


centrációját a  $10^{-7.07}$  egyenlettel fejezzük ki. Ez az exponens azt jelenti, hogy 1000 g vízben a  $H^+$  ionok mennyisége kerekén  $\frac{1}{10.000.000}$  g.

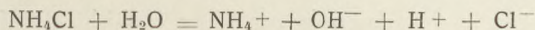
A  $H^+$  ionoknak negatív hatvánnyal való kifejezését újabban mind szélesebb körökben elfogadták és a negatív hatványt újabban röviden  $ph$ -val jelzik, a víznél tehát  $ph = 7$ . Az erős savak  $HCl$ ,  $H_2SO_4$  stb. normál oldatai (grammatomsúly  $H$  aequivalense per 1000  $cm^3$  víz) rendszerint 1000  $cm^3$ -ben 1 g  $H$  iont tartalmaznak,  $1/10$ ,  $1/100$ ,  $1/1000$  n. oldataik pedig  $1/10$ ,  $1/100$ ,  $1/1000$  stb. g ionnal fognak bírni. Ezeknél tehát a  $ph = 1, 2, 3$  stb. lesz. Minthogy pedig a vízben a  $H^+$  és  $OH^-$  ionok koncentrációja egymással egyenlő, úgy az  $OH^-$  ionok mennyiségét szintén ez az exponens fejezi ki. Tekintettel pedig a  $H^+$  és  $OH^-$  ionok egyenlő mennyiségére, a desztillált víz reakciója rendszerint teljesen közömbös. A savaknál a  $H^+$  ionok mennyisége lesz túlnyomó és ezért a savaknak a vizes oldatában, hogy az egyensúly megmaradhasson, az  $OH^-$  ionok mennyiségének meg kell kevesbbednie és ezért a túlnyomóan megmaradó  $H^+$  ionok okozzák azután a savak savanyú reakcióját. A lúgoknál ez fordítva van.

Biológiai szempontból az elektrolytikus disszociációnál rendkívül fontos, hogy a savak és lúgok által alkotott sók vizes oldatukban rendszerint erős elektrolytikus tulajdonságokat mutatnak. Az ilyen sóknak vizes oldatban ionokra való szétbomlását nevezik a sók hidrolitikus disszociációjának.

Az egyenlő erősségű savak és lúgok sói rendszerint semleges reakciót mutatnak. Így pl. a natriumchlorid ( $NaCl$ ) vizes oldatában felbomlik a következő részekre:

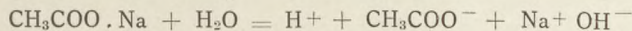


ahol a  $H^+$  és  $OH^-$  ionok egyenlő mennyiségben vannak. Ha ellenben egy gyenge lúgnak erős savval való reakciója kapcsán képződik egy só, úgy ennek reakciója már nem lesz semleges. Ha pl. ammóniumchloridot ( $NH_4Cl$ ) vízben oldunk, úgy ez is hidrolitikus disszociáción megy keresztül és belőle a következő részek keletkeznek:



Minthogy jelen esetben a sósav ( $HCl$ ) sokkal erősebb sav és sokkal aktívabb, mint a gyenge lúgos sajátosságú  $NH_4OH$ , úgy sokkal több  $H^+$  ion marad az oldatban, mint  $OH^-$  és ezért az oldatnak savanyú sajátossága lesz.

Ha erős lúg képez sókat gyenge savakkal, akkor az eset természetesen fordított lesz és az oldat lúgos reakciót mutat. Így pl. a natrium-acetat vizes oldata a következőképpen bomlik:



Ebben az esetben viszont az  $OH^-$  ionok, minthogy a nátronlúg erősebb lúg, mint a gyenge sajátosságú ecetsav, lesznek többségben és okozzák az oldat lúgos reakcióját.



Biológiai szempontból az elektrolytikus disszociációnak egyik rendkívül fontos esete akkor áll elő, amikor egy oldatban két olyan anyag van feloldva, amelyek bár egyenlőtlenül vannak disszociálva, mégis egy közös ionnal bírnak. Ez az eset áll elő akkor, ha pl. nátriumacetát ecetsavval együtt van oldva. Ha ugyanis az ecetsav egyedül volna oldva, akkor az ionkoncentrációt a kémiai tömeghatás szerint a következő egyenlet fejezné ki:

$$1. \frac{(H^+) \cdot (CH_3 \cdot COO^-)}{(CH_3 \cdot COOH)} = k_1$$

Ha pedig az ecetsavas nátrium volna egyedül oldva, akkor az alanti egyenlet fejezné ki az ionkoncentrációnak a fokát:

$$2. \frac{(Na^+) \cdot (CH_3COO^-)}{(NaCH_3 \cdot COO)} = k_2$$

Ha ellenben a kettőt közös oldatban oldjuk fel, ebben az esetben sokkal több acetát iont fog az ecetsavas nátrium képezni, mint amennyi az 1. számú képlet szerint előfordulhatna. Ilyen esetekre érvényes az elektrolytikus disszociációnak egyik nagyon fontos szabálya, amely azt mondja, hogy ilyenkor a gyengébb elektrolytnak a disszociációja vissza lesz szorítva, vagyis az ecetsav a nátriumacetát hozzákeverése után még gyengébb savvá fog válni. Az ecetsavnak ezt az erősségét a nátriumacetát megfelelő megválasztásával tetszés szerint lehet alakítani és szabályozni. Egy ilyen keveréknek azután mindig egy bizonyos fokú ph fog megfelelni.

Ha most már egy ilyen keverékhez további  $H^+$  ionokat vezetünk, akkor az ecetsavnak a disszociációja további korlátozásokat szenved, úgyhogy a ph bizonyos határok között állandó marad. Ugyanez az eset áll elő akkor is, ha gyenge lúgokat sóikkal oldunk közös oldatban. Ezeket az oldatokat azután, minthogy a reakcióhatást letompítják, másképpen pufferoldatoknak is nevezik. Ilyen pufferkeverékek előfordulnak a talajban, de előfordulnak pl. a vérben is, ahol pl. a szabad szénsavnak a vérben szereplő szénsavhoz való viszonya 1 : 10 egyenlettel fejezhető ki és ez a viszony rendszerint tartamosan állandó marad, aminek következtében a vérnek a ph-



reakciója az ott lefolyó biokémiai processzusok folyamán mindig közel állandó marad.

A szuszpenziók elektrokinetikai áramvezetése szintén ilyen tömeg-részecskék mozgásán nyugszik, de különbözik az ionokétól. A főkülönbség abban áll, hogy ezeknek az elektromos sajátságai, így nevezetesen az elektromos töltés minemősége, nagysága és ennek megfelelően a vándorlási sebességük környezetüknek elektrokémiai sajátságaitól függ. Így pl. vízben ezek a tömegrészecskék negatívak lesznek, viszont alkálikus oldatokban pozitív töltésűekké válnak, töltésüket tehát meg lehet változtatni. Kellő kísérleti berendezéssel most már természetesen a  $pH$ -nak egy oly fokát lehet elérni, amelynél ezek a részecskék sem pozitív, sem negatív töltéssel nem bírnak, elektrokémiai szempontból közömböseké válnak és ezt a pontot nevezzük izoelektrikus pontnak.

Tájékozásul most még néhány szót óhajtunk szólni a kolloidális rendszerekben lefolyó általánosabb jellegű biokémiai reakciókról. A fehérjék viselkedésében egyike a legfontosabb reakcióknak a koaguláció és a diszperzítás mérvének a megnövekedése, amelyet más névvel peptizáció-nak mondunk. Koaguláció alatt azt a jelenséget értjük, amikor a kolloidális részecskék fokozatosan megnagyobbodnak. A koaguláció létrejöttében a legfontosabb szerepet az elektrolytek játsszák. Amint már az előzőkben részletesen kifejtettük, az elektrolyteknek kationjai és anionjai a kolloidális oldatok kolloidjainál töltésüknek megfelelően ellenkező értelemben hatnak. A pozitív töltésű kolloidokat az anionok kisütik, a kationok pedig még erősebb töltésűvé teszik.

Azonban egy másik jelenség is fellelhető, amelynek kapcsán az ellenkező töltésű ionok a kolloidokat nemcsak kisütik, hanem a kisütés után eredeti töltésükkel ellenkező értelemben vett töltéssel látják el őket. Így pl. a fehérjék kolloidális oldataiban lévő negatív töltésű kolloidok a savak hidrogén ionjai által először ki lesznek sűtve, de később pozitív töltést vesznek fel.

Az ionhatás által kiváltott reakciók röviden abban foglalhatók össze, hogy a kolloidális részecskék elektromos töltésének a kisütése fokozatosan a koagulációhoz, a töltésfok növekedése pedig a peptizációhoz vezet.

Hogy most már a diszperziós anyag mely ionjai, a  $H^+$ , vagy



az  $\text{OH}^-$  ionok hatása lesz-e erőteljesebb, az elsősorban a kolloidrészecskék elektromos töltés fokától és minőségétől függ, azonban a  $\text{H}^+$  és  $\text{OH}^-$  ionok egymáshoz viszonyított relatív mennyisége szintén döntő szerepet játszik. A legerősebb hatást tehát a savak túlnyomó  $\text{H}^+$  ionjaik és a lúgok túlnyomó  $\text{OH}^-$  ionjaik által fogják kifejteni.

Általában, ha a  $\text{H}^+$  és  $\text{OH}^-$  ionoktól eltekintünk és a többi ion hatását vesszük megfigyelés alá, ebben az esetben azt fogjuk találni, hogy a hydrophob kolloidok sokkal érzékenyebbek ezekkel szemben, mint a kevésbé elektrolýtérzékeny hydrophil kolloidok. Különösen szembeütő ez a nehéz fém sók elektrolýtikus hatásánál. Ezen fém sóknak a hatása főleg abban áll, hogy a pozitív kolloidok töltését növelik, a negatív kolloidok töltését pedig kiegyenlítik, illetőleg megszüntetik. Az alkálisók nevezetesen a Na, K, Li, Rb, Cs és  $\text{NH}_4$  sói a hydrophob kolloidokra közvetlen elektrokémiai hatást gyakorolnak, amennyiben ezeknek a töltését az előbb mondottak szerint fokozzák, vagy kisebbítik. A hydrophil kolloidoknál hatásuk a hidratáció hatásában nyilvánul meg, nevezetesen vagy hidratizálnak, vagy dehidratizálnak. A különböző alkálifémek, mint kationok és a hozzájuk tartozó anionok hidratizáló képessége fokozódik egy bizonyos sorrend szerint, amelyet feltalálójá után Hofmeister-féle ionsorcknak nevezünk. Ez a sor a kationokra vonatkozólag a következő:  $\text{Li} < \text{Na} < \text{K} < \text{NH}_4$  és a hozzájuk tartozó anionokra vonatkozólag pedig:  $\text{SO}_4 < \text{PO}_4 < \text{acetát} < \text{Cl} < \text{NO}_3 < \text{ClO}_3 < \text{Br} < \text{J} < \text{SCN}$ . Ugyanilyen sorrendben hatnak azután a koagulációnál és a dehidratációnál is. Ha a fehérje oldat alkálikus, vagy közömbös lesz, a sorrend megfordul:  $\text{Li} > \text{Na} > \text{K} > \text{NH}_4$  és  $\text{SO}_4 > \text{PO}_4 > \text{acetát} > \text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{ClO}_3 > \text{Br} > \text{J} > \text{SCN}$ . A koagulációs (dehidratációs) sorrend ennek a fordítottja.

Ha a fentiek alapján a kolloidális reakcióknak általános karakterisztikumát óhajtjuk adni, úgy azt röviden úgy fejezhetjük ki, hogy nemcsak a mesterséges kolloidális oldatokban, hanem, ami élettani szempontból kiváló fontossággal bír, az élősejtekben is a fizikai felületi reakcióknak és kolloidális szisztémáknak minden mesterséges és természetes megváltoztatása elsősorban a kolloidális állapot megváltozásával jár.

A fenti ismeretek alapján most már néhány rövid szóval foglalkoznunk kell a növényi életjelenségeknél fontos szerepet játszó egyes anyagoknak kolloidkémiai sajátágaival. Így eltekintve a kolloidális szerkezetű szénhidrátoktól és zsíroktól, egy rövid pillantást kell vetnünk az élőlények élettani szempontból legfontosabb alapanyagának: a protoplazmának, a fehérjék-



nek néhány fontos kolloidkémiai sajátságaira. Így elsősorban tisztába kell jönnünk azzal, hogy nagyon sok fehérjének már azáltal is kolloidális sajátságai lesznek, hogy molekulasúlyuk olyan nagy, hogy ezeknek a kolloidális diszperzítását szükségessé teszi. A legtöbb fehérje molekulasúlya ugyanis 10.000-en felül van. A fehérjéknél tehát nem a tulajdonképeni kolloidok lépnek fel, hanem az oldatban lévő ionok nagysága kölcsönöz a fehérje oldatoknak kolloidális sajátságokat.

A legtöbb fehérje a lyophil-hydrophil kolloidokhoz tartozik, nagyon hamar gelatinál és rendkívül érzékeny a kémiai beavatkozásokkal szemben, amelyekre azonnal reagál.

Végül biológiai szerepüket illetőleg rendkívül fontos, hogy erősen reakcióképes aminosavakból állnak és ezért szintézisük és dekompozíciójuk rendkívül sokoldalú.

Általában a fehérjék túlnyomórészt az ú. n. amphoter elektrolytekhez tartoznak. A legtöbb fehérjénél a  $k_a$  nagyobb, mint  $k_b$ , tehát ezek rendszerint gyenge savanyú sajátságokkal rendelkeznek, ennél fogva gyenge savak hozzáadásával  $k_a$ -nak az értékét kisebbiteni lehet mindaddig, míg  $k_b = k_a$ -val, vagyis amíg az izoelektrikus pontot el nem értük. Ennél a pontnál biológiai szempontból rendkívül fontos, hogy az elektromos töltéssel bíró fehérjerészecskék száma a legkisebb és viszont a töltés nélküli részecskék száma a legnagyobb, amiért a fehérjék izoelektrikus töltésnél egészen más reakciókat adnak, mint természetes állapotban. Így pl. az elektromos töltéssel bíró fehérjerészecskék sokkal élénkebben hidratizálódnak, mint a semleges részecskék. A koaguláció viszont az izoelektrikus pontnál sokkal könnyebben következik be, mint az elektromos töltésű fehérjerészecskékénél. Természetesen a fehérjéknek a töltését is lehet savakkal és lúgokkal befolyásolni. Általában a savaknak a befolyása nincsen olyan jól kiderítve, mint az alkáliák befolyása. Az alkáliáknak a fehérjékkel való megkötése általában a hidrolizált ionoknak a koncentrációjától függ. Ez az utóbbi jelenség biológiailag szintén rendkívül fontos, miután ennek következtében a fehérje oldatok bizonyos mértékben puffertulajdonságokat vesznek fel és az oldatoknak a reakcióját állandó nívón képesek tartani.



A már említett és a Hofmeister-féle sorokba besorolt alkáliák és alkálisóknak a fehérjékre való hatása változó. Így ha nagyobb koncentrációval adagoljuk őket a fehérje oldatokhoz, ebben az esetben kicsapják őket, különösen akkor, ha a fehérjék nincsenek izoelektrikus pontjuk közelében. Viszont kisebb töménység mellett az izoelektrikus fehérjét állandósítják és így pl. alkohollal való kicsapás ellen megvédik. Magasabb koncentráció mellett az alkálisók természetesen még az elektromos töltésű fehérje kolloidokra is koaguláló hatást gyakorolnak, mégpedig a negatív töltésű ionokra éppen ebben az előbb vázolt Hofmeister-féle sorban hatnak, mint a közömbösökre, míg a pozitív töltésű fehérjékre ellenkező sorrendben hatnak. Ezek a reakciók rendszerint reverzibilisek.

A földfémek, nevezetesen a Ca, Ba és Sr sói már egészen kis reakció mellett is kicsapják a fehérjét, mégpedig irreverzibilis módon. A nehéz fémek már szintén nagyon kis koncentráció mellett kicsapják a fehérjét és ez a koaguláló hatásuk egy maximális határértékig növekszik és azután később a koncentráció fokozásával megint hidratáció áll be és a koaguláció eltűnik. A koagulációt kétségkívül a negatív fehérjerészecskék töltésének a pozitív fémek által való lekötése okozza, míg az újra való oldatba-jutást a nehéz fémek kationjainak pozitív töltése hozza létre, amely a közömbösített fehérjerészecskéket most már pozitív töltéssel látja el és megint oldatba viszi.

A kolloid sajátosságú lipidoknak a protoplazmában való előfordulásával kapcsolatos a protoplazma egyenlőtlen permeabilitás-ára vonatkozó ú. n. Overton-féle lipid elmélet. Ugyanis régebbi idő óta ismert tény, hogy a protoplazma áteresztő képessége a különböző anyagokkal szemben nem egyforma. Overton szerint a protoplazmába csak azok az anyagok hatolhatnak be, amelyek a protoplazmának a vakuola felé eső rétegében oldhatóak. Overton most már kísérleteinél arra az érdekes eredményre jutott, hogy leggyorsabban azok az anyagok hatolnak be, amelyek zsíros olajokban jól oldódnak, ilyenek pl. az alkohol, aether, chloroform, chloralhydrát. Ennek megfelelően Overton egy elméletet állított fel, amelynek lényege abban áll, hogy a protoplazma az a része, amely az anyagokat permeabilitás szempontjából kiválasztja, a zsíros oldatokhoz hasonló anyagokból áll, mégpedig egy lipidból: a cholesterinból.

Nathansohn, aki Overton-nak az elméletét további ellenőrző próbáknak vetette alá, arra az eredményre jutott, hogy a vízfelvétel s így a cholesterinnek az oldhatósági viszonyai teljesen megváltoznak. Ezért ő azt gyanítja, hogy a protoplazmának ezek a kiválasztó határzónái nem



homogén felépítésűek, hanem mozaikszerű szerkezettel bírnak, amennyiben a cholesterolin részecskék és az élő plazmarészecskék egymással kölcsönösen váltakoznak. Szerinte azután a cholesterolin molekulák okozzák a zsírokban oldható anyag áthatolását, míg a sók, a víz és a gázok a cholesterolin között lévő plazmarészecskéken hatolnak át.

Czapek szintén a lipoid teóriát támogatja és szerinte főleg olyan anyagok tudnak a protoplazmán átdiffundálni, amelyek a protoplazma felületi feszültségét megkisebbítik, vagyis más szóval felületileg aktívak. Szerinte a lipoidok, amelyek felületileg erősen aktívak és ezért a felületi feszültséget megkisebbítik, a felületi feszültségről az előzőekben mondottak alapján a protoplazma most említett legkülső periferikus rétegében halmozódnak fel. Szerinte azután, ha most ezekhez az anyagokhoz olyan anyagok járulnak, amelyek erősebb felületi aktivitást mutatnak akkor ez utóbbiak az előzőket visszaszorítják és ezen művelet által a permeabilitás folyamata helyre lesz állítva.

Ruhland ezzel ellentétben a lipoid elmélettel szemben foglalt állást. Szerinte a zsírokban oldhatatlan festőanyagok is diffundálhatnak a protoplazmán keresztül és ezt az állítását kísérletileg is megerősítette. Ruhland szerint a protoplazma a rajta keresztül diffundáló anyagokkal szemben mint egy ultraszűrő viselkedik és szerinte kizárólag a protoplazmának mint ultraszűrőnek a pórusnagysága az, amely eltekintve a kristályos anyagoktól, az áthatoló kolloidoknak nagyságát megszabja. Most már igen érdekes, hogy a növényekben előforduló aránylag nagy szemecskénagyságú kolloidok, mint az inulin, glykogén, dextrin csakugyan nem tudnak a protoplazmán áthatolni, míg egyes kolloidális alkaloidák bázisai, amelyeket hidrolitikus úton tehetünk szabaddá és amelyeknek szemecskénagysága rendkívül kicsi, azután egyes erősen diszperz glykozidák, továbbá enzimek, amelyek szintén az erősen diszpergált kolloidokhoz tartoznak, csakugyan át tudnak hatolni a plazmán. Hogy az enzimek jelentékeny része nem hatolhat át a plazmán, annak Ruhland szerint az az oka, hogy a hatalmas szemecskénagysággal rendelkező fehérjék ezeket magukhoz adszorbeálják. Minthogy azonban a Ruhland-féle elméletet sem sikerült kísérleti adatokkal kifogástalanul megerősíteni s másrészt mint-hogy egy olyan megoldást kellett találni, amely a plazma permeabilitását nemcsak a kristályos, hanem a kolloidális oldatokra is egyaránt megmagyarázza, ezért ő az elméletbe most már a felületi feszültséget is bele vonta. Úgyhogy szerinte, ha a kolloid-illetőleg molekulánagyság a protoplazma pórusnagyságának megfelel, úgy mindazok az anyagok, amelyek kapilláris szempontból vagy a felületi feszültség szempontjából aktívak, így általában a felületig aktív kolloidok jól diffundálnak, míg ellenben a kapilláris szempontból kevésbé aktív anyagok, így az egyes szerves és szerves tlen sók gyengén, vagy egyáltalán nem diffundálnak. Különben joggal mutat rá Jost, hogy még ilyen módon is nagyon nehéz tisztán fizikai alapon a kristályos sóknak a lassú benyomulását megmagyarázni. Való-



színű, hogy itt a növény egy belső regulációs mechanizmusáról van szó, amely a kristályos sók lassú benyomulásával megakadályozza azoknak tömeges, a növényben káros behatolását.

Ujabban Collander és Küster a Ruhland-féle elméletet is igyekeznek kísérletileg megcáfolni és inkább a lipoid elmélet felé hajlanak. Hansteen viszont mindezekről eltérően azt hiszi, hogy a protoplazmának azok a határfelületei, amelyek a permeabilitást elsősorban meghatározzák, foszfatidekből állanak. Szerinte a protoplazma határrétegének diszperz fázisa vízben oldható foszfatidekből áll, míg a diszperziós anyag vízben oldhatatlan kocsonyaszerű foszfatidekből van összetéve. Természetesen az itt szóba jövő foszfatidek szintén kolloidális természetűek. Alkálisók, azután magasabb hőmérséklet, fokozzák ennek a rétegnek a permeabilitását, míg alacsonyabb hőmérséklet, azután egyes mészsók csökkentik az áteresztő képességet. Ennek a felfogásnak a kísérleti bizonyítása azonban még mindég hiányzik.

Növényélettani szempontból a kolloidkémiának egyik nagyon érdekes problémája, hogy vajjon a chlorophyll a növényi sejtekben kristályos vagy kolloidális állapotban van-e jelen. Az idevonatkozó legújabb vizsgálatok azt mutatják, hogy a tiszta chlorophyll, amelyet laboratóriumban állítanak elő, molekuláris oldat, azonban képtelen arra, hogy a széndioxydot felvegye. Azonban a természetes chlorophyll hydrosol kolloidális diszperz anyag és az előbbivel ellentétben a szénsavat felveszi. Hogy milyen jelentékeny különbség van a szénsav felvételben a kettő között, arra nézve Willstätter és Stoll a következő adatokat közlik :

	A CO <sub>2</sub> molekula felvétele súlyegységben
Molekuladiszperz. Tiszta chlorophyll	0'0
Kolloiddiszperz. Chlorophyllsol. (Laboratorium- diszperz)	2'0
Kolloiddiszperz. Szétdörzsölt száraz levél	70—170 mol. CO <sub>2</sub> chlorophyll molonként

Ezek az adatok azt mutatják, hogy a laboratóriumban előállított tiszta chlorophyll fizikailag inaktív és valószínűleg W. Ostwald-nak van igaza, aki azt állítja, hogy a természetes chlorophyllban a diszpergált anyag (diszperziós fázis) lipoid és a diszperziós anyag fehérje és a chlorophyll mellett mindig előforduló víz a szénsav felvételkor lejátszódó kémiai reakciók közvetítőjéül szolgál. Minthogy pedig erős hevítésnél a chloroplasz-

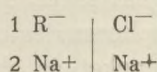


ták koagulációt szenvednek, úgy valószínűleg a chlorophyll maga is határozott hydrophyl karakterrel bír. *Le p e s c h k i n* is a felé a nézet felé hajlik, hogy a növényi chloroplasztákban a kolloidális oldatokban a fehérjék lipoidokkal kapcsolatosak.

Ezek a most röviden csak lényegükben vázolt sajátságok sok tekintetben megmagyarázzák a fehérjéknek rendkívül nagy biológiai fontosságát, amely főleg abban nyilvánul meg, hogy a hidratáció és dehidratáció sajátsága folytán a sejteknek és a szöveteknek vízzel való gazdálkodását szabályozzák, másrészt pedig különleges felépítésük következtében képesek olyan változatos szintézisen és dekompozíción keresztül menni, amely a szöveteket alkotó sejtek különleges élettani helyzetének megfelel.

Meg kell még emlékeznünk röviden a fehérjéknek egy másik különleges sajátságáról is, amelyet *Donnan egyensúly*-nak nevezünk. Ennek a jelenségnek a fizikai-kémiai lényege abban áll, hogy ozmózisnál nagyon gyakran előfordul, hogy az ozmózis útjában olyan hárttyák állanak, amelyek a kristalloid ionokat átengedik, a kolloidális elektrolyteket azonban nem. Ilyen kolloid-elektrolytikus oldatok a nem izoelektrozált fehérjeoldatok. Ilyenkor természetesen az ozmotikus egyensúly helyreáll azáltal, hogy a diffuzibilis ionok egyrésze a másik oldalra megy át. Azonban ilyenkor a diffuzibilis és ellenkező töltésű ionok mennyisége mindkét oldalról egyenlő, dacára annak, hogy a kolloid-elektrolytikus részen, tehát a fehérjeoldatban a kristalloid ionok összkonzentrációja nagyobb, mint a kristalloid elektrolytikus oldalon. Ennek a jelenségnek több esete lehetséges, például álljon itt a következő:

Kezdeti állapot

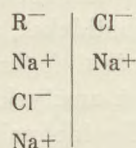


(1)                      (2)

←  
hártya

I.                      II.

Egyensúlyi helyzet



hártya

I.                      II.

1. kolloid anion pl. a kongovörös festék  $Na$  sójának anionja ( $R^- Na^+$ )
2. kristalloid kation ( $Na^+$ )
3. kristalloid anion ( $Cl^-$ )

ha  $c_1$  és  $c_2$  a moláris kristalloid ion koncentrációt jelenti az I. és II.-ban  $x$  a fenti moláris koncentrációnak az a tört része, amely II.-ból I.-be vándorol, akkor



$$\frac{c_2 - x}{x} = \frac{c_1 + c_2}{c_2}$$

$$\text{ha } c_2 < c_1, \quad \frac{x}{c_2} = \frac{c_2}{c_1}$$

$$\text{ha } c_1 < c_2, \quad \frac{x}{c_2} = \frac{1}{2}$$

Gyakorlatilag ez a jelenség főleg ott fordul elő, ahol a kolloid-elektrolyt moláris koncentrációja közel egyenlő a kristalloidelektrolyttal.

Ennek a jelenségnek az elektrokinetikai magyarázata pedig abban áll, hogy a kolloid anion a neki megfelelő kristalloid kationt leköti és minthogy az anion kolloid természeténél fogva az általa lekötött kation sem hatolhat át a hártyán, itt visszamarad. Ehelyett a Cl és a Na fognak a kolloid oldal felé vándorolni, míg mind a két oldalon egyenlő kolloidion koncentráció áll majd be.

Loeb szerint az élő szervezetben levő fehérjeoldatok akkor, amikor ilyen elektrolyt oldatokkal kerülnek érintkezésbe, hasonló jelenséget mutatnak, sőt szerinte a legtöbb esetben a plazmavizkozitást a Donnan-egyensúlyban lévő kolloidelektrolytek és diffúz elektrolyt oldatok kölcsönös viszonya erősen befolyásolja.

Egy másik vegyület csoport, amely élettani szempontból a fehérjéken kívül a plazmában szintén rendkívül fontos szerepet játszik: a már említett lipoidok. A lipoidokhoz soroljuk elsősorban az u. n. zsírokat és zsíros olajokat, amelyek a stearin-, palmitin- és oleinsavnak a triglyceridjeiként foghatók fel, azután a phosphatideket, amelyek mint a glicerin, phosphorsav és cholin származékai foghatók fel és végül a phytosterineket és cholesterineket, amelyek viszont az alíphatikus alkoholokhoz tartoznak.

A lipoidoknak közös sajátása, hogy aetherben, benzolban, chloroformban és részben alkoholban is oldódnak. Általános sajátáguk, hogy többnyire emulziós kolloidokat képeznek, amelyek rendszerint hydrophob sajátágúak és jellemző rájuk, hogy aránylag kis elektrolytmennyiség által koagulálhatnak. A lecithinek a hydrophob és hydrophil oldatok között állanak.

Az olajemulziók általában kétféle módon keletkeznek, az olajok és a víz is egyaránt alkothatják a diszperz fázist. Ha olajat öntünk a vízhez, ebben az esetben az olaj lesz a diszperz fázis, ha ellenben vizet öntünk az



olajhoz, akkor a víz fogja alkotni a diszperz fázist. Ha azután az olaj-emulzióhoz, mindig több és több olajat öntünk és ezt összerázzuk, úgy a vizkozitás folyton növekedni fog és végül is a víz lesz a diszperz fázis és az olaj lesz a diszperziós anyag.

A legállandóbb emulziókat akkor kapjuk, ha alkoholos, vagy acetonos olaj emulziókat öntünk vízbe. Lecithin és cholesterolin kollodális oldatok viszont akkor keletkeznek, ha aetherikus oldatokat öntünk vízbe. Az alkáli fém sók erősebb koncentráció mellett a lecithinoldatokat koagulálják. Igen érdekes, hogy pl. a konyhasó normális oldatban koagulál a legjobban. A koagulációra a kationok és az anionok itt is a Hofmeister-féle sor szerint hatnak. A cholesterolin oldatok kollodális sajátosságai általában a lecithin oldatokéval nagy vonásokban egyeznek.

Befejezésül még a kolloidok egy általános tulajdonságáról óhajtunk szólni, amely növényélettani szempontból rendkívül fontos. Ez a jelenség a kolloidoknak az előregedése. A kolloidok előregedésének általános jelenségei vannak, amelyek közül a fontosabbak a következők: Elsősorban a vízveszteség és fokozott kiszáradás, azután az adszorpciós képesség elvesztése és általában a peptizációnak a meglassúbbodása és végül a reakcióképesség fokozatos elvesztése.

Az öregedés általában a kollodális oldatok egy másodlagos elváltozásához, az u. n. hyszterezis-hez vezet. A legtöbb anyag az előregedést azáltal mutatja, hogy az eloszlási foknak a finomsága fokozatosan megkisebbedik, azonban vannak anyagok, amelyeknél éppen ellenkezőleg ez a jelenség a részecskék megkisebbedésével jár. Ilyenek pl. a haemoglobinn, a glykogén és a lecithin. A kollodális részecskék előregedésének élettani szempontból egyik legfontosabb sajátossága, hogy az adszorpciós képesség fokozatosan csökken.

Ezzel a kolloidokra vonatkozó általános ismereteinket lezárjuk és tekintettel az anyag rendkívül kiterjedt voltára, annak számára, aki behatóbban akar ezzel foglalkozni, utalnunk kell az idevonatkozó számos és kitűnő szakkönyvre. A későbbiek folyamán azonban nem egy életjelenségnél még, ha ez szükséges lesz, ezeknek az életjelenségeknek lefolyásánál előforduló kollodális jelenségeket is figyelembe fogjuk venni.



### A hőmérséklet befolyása a növényekben lefolyó biokémiai reakciókra.

A hőmérsékletnek az életfolyamatokra gyakorolt befolyása annyira feltűnő és közismert jelenség, hogy ezt talán nem is kell külön kiemelni. Az egyes biokémiai reakcióknál, illetőleg életfolyamatoknál majd annak idején a hőmérséklet befolyásáról külön is szólni fogunk.

Csak az utolsó évtizedekben lefolytatott exakt fizikai-kémiai vizsgálatok mutattak rá világosan arra a valóságra, hogy a hőmérsékletnek a különböző életfolyamatok lefolyására gyakorolt hatása határozott, számbelileg is kifejezhető törvényszerűséget mutat, amely törvényszerűség okát és magyarázatát abban leli, hogy a hőmérséklet hatása és a növényekben lefolyó biokémiai reakciók között határozott kvantitatív összefüggés van.

A hőmérséklet ugyanis a kémiai reakciók gyorsulását befolyásolja. A legelső volt *Berthelot*, aki a hőmérsékletnek az eszterképződésre való befolyását tanulmányozta és végeredményben a következő egyenletet állította fel:

$$k_1 = \alpha \cdot \beta^{t_1}$$

ahol  $k_1$  a reakció sebességének állandóját jelenti  $t_1$  hőmérséklet mellett;  $\alpha$  és  $\beta$  pedig konstans értékek.

Ennek a képletnek a logaritmikus formája a következő:

$$\log k_1 = \log \alpha + t_1 \log \beta$$

Ha most  $\log \alpha$ -t a -val,  $\log \beta$ -t pedig b-vel jelöljük, akkor

$$\log k_1 = a + b \cdot t_1$$

a ha most  $k_2$ -vel a gyorsulási állandót egy másik, magasabb hőmérséklet-nél,  $t_2$ -nél jelöljük, akkor

$$\log k_2 = a + b \cdot t_2$$

amely két egyenletből

$$\log k_2 - \log k_1 = b \cdot t_2 - b \cdot t_1 = b (t_2 - t_1)$$

és ebből

$$b = \frac{\log k_2 - \log k_1}{t_2 - t_1}$$

Van't Hoff erre az esetre a következő egyenletet állította fel:

$$k_2 = k_1 \cdot e^{A \frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1}}$$

ahol  $T_2 = t_2 + 273$ ,  $T_1 = t_1 + 273$ ,  $e$  a természetes logaritmus alapszáma,

$$\text{ebből } A = \frac{2.3 T_2 T_1 (\log k_2 - \log k_1)}{T_2 - T_1}$$



Van't Hoff volt a második, aki Berthelot után kiváló érdemeket szerzett ezeknek a törvényszerűségeknek kutatásában. Általában azonban mind a mai napig ez a most vázolt két egyenlet maradt érvényben. A későbbi kísérletek folyamán azután az eredmények azt a rendkívül érdekes összefüggést mutatták, hogy a legtöbb kémiai reakciónak a gyorsasága a rendes hőmérsékleti viszonyok szabta határokon belül megkétszereződik, sőt megháromszorozódik akkor, ha a hőmérséklet  $10^0$  C-al emelkedik. Ezt a törvényszerűséget *RGT*-szabálynak nevezik, a német *Reaktionsgeschwindigkeiten-Temperatur-Regel* után.

Ha kísérleti úton meghatározzuk egy reakció gyorsasági állandóit két egymástól  $+10^0$ -al különböző hőmérséklet mellett ( $k_t$  és  $k_{t+10}$ ) akkor  $\frac{k_{t+10}}{k_t} = Q_{10}$  kifejezést szokták használni, ahol  $Q_{10}$  a hőmérsékletkoefficiens (*Temperaturquotient*) nevet viseli.

$Q_{10}$ -et, ha megfelelő eredményeink vannak két teljesen szabadon választott, de egymástól különböző hőmérsékletnél, a következő meggondolás alapján számíthatjuk ki:  $Q_{10} = \frac{k_{t+10}}{k_t} = 10^{10b}$  amiből

$$Q_{10} = \frac{k_{t+10}}{k_t} = 10^{\frac{10 (\log k_2 - \log k_1)}{t_2 - t_1}}$$

Mind ezeknek a meggondolásoknak alapján az *RGT* szabályra vonatkozólag megállapították, hogy a legtöbb kémiai reakciónál, amely normális hőmérséklet mellett folyik le,  $b$ -nek az értéke  $0.03$  és  $0.047$  között változik. Minthogy pedig növekvő hőmérséklet mellett  $b$ -nek az értéke fokozatosan csökken, úgy ebből az következik, hogy  $Q_{10}$  nem állandó, hanem emelkedő hőmérsékletnél szintén csökken.

A kísérleti eredmények általában azt mutatják, hogy a reakció sebességek  $10^0$ -os hőmérséklet emelkedése esetén 3-nál nagyobb és 2-nél kisebb  $Q_{10}$ -et is eredményeznek. Egyike a legközönségesebb eseteknek, mikor  $Q_{10} = 5$ -tel, ha a hőmérséklet  $0^0$ -tól  $10^0$ -ig emelkedik, a cukrok inverziója  $H$  ion hatására. Viszont a  $Q_{10} = 2$ -nél kisebb eseteire a legjellemzőbb példát a fotokémiai reakciók szolgáltatják, ahová az asszimiláció is tartozik. Ennél  $Q_{10}$ -nek az értéke általában  $1-1.4$  között változik.

A most mondottak természetesen elsősorban bizonyos meghatározott keretek között lefolyó kémiai reakciókra vonatkoznak. Minthogy pedig az élet lefolyása szintén nem egyéb, mint a bickémiai reakcióknak folytonos sorozata és láncolata, úgy az



eddig vizsgálati eredmények alapján bátran kimondhatjuk, hogy bizonyos, az életfolyamatok számára meghatározott hőmérsékleti hatások tárgyalásakor az RGT szabályra mindig rá fogunk mutatni. Mindenesetre rendkívül érdekes, hogy a legelső életfolyamat, amelynél ezt a szabályszerűséget Clausen (1890) megállapította, a búza és a *Lupinus* csíráknak a lélekzése volt, amelyeknél a kilélekzett  $\text{CO}_2$  mennyiség  $0^\circ$  és  $25^\circ$  között  $10^\circ$  hőmérséklet emelkedésre számítva

$$Q_{10} = 2.5\text{-et eredményezett.}^*)$$

1905-ben azután Abegg és Peter és velük egyidőben Blackman az RGT szabálynak az érvényességét több életfolyamatra kimutatták. Bennünket különösen Blackmannak ez a most említett klasszikus munkája érdekel, amelyet Kautz-nak hasonló természetű dolgozata egészített ki, amely munkákban a szerzők az RGT szabálynak a  $\text{CO}_2$  asszimilációra való érvényességét mutatták ki.

Amint látni fogjuk, a növény  $\text{CO}_2$  asszimilációjának az RGT szabály szerint való lefolyása egyike a növényvilágban ismert legjellemzőbb és legklasszikusabb példának, amelyet a növénylélekzésnek már korábban felhozott példája kitűnően kiegészít. Már most rá akarunk mutatni arra a valóságra, hogy a legtöbb életfolyamat  $+40^\circ\text{C}$  hőmérséklet körül meg szokott állni, miután ezen hőmérsékletnél úgy látszik a proteinek olyan irreverzibilis változáson mennek át, amelyet a szervezet többé reverzibilissé alakítani nem tud. Az RGT szabály kb.  $+35^\circ\text{C}$ -ig tartja meg érvényességét,  $35^\circ\text{C}$ -on felül megkezdődik már a magasabb hőmérsékletnek rendkívül zavaró hatása.

Nagyon érdekes az élet legmagasabb hőmérsékleti határát annak legalacsonyabb határával összehasonlítani. Amint már az előbb hangsúlyoztuk, az élő szervezet felső határán az élő szervezetet alkotó kolloidális anyagok, elsősorban a proteinek irreverzibilis változáson mennek át. Ezzel ellentétben az alacsonyabb hőmérséklet által kiváltott hatások a legtöbb esetben reverzibilisek, úgyhogy ha viszonylag hosszabb ideig tart is az

\*) Általában az RGT szabályt megközelítőleg úgy szoktuk kifejezni, hogy a hőmérséklet  $10^\circ$ -kal való emelkedése megkétszerezi a reakció lefolyásának gyorsaságát.



alacsonyabb hőmérséklet hatása, nem mindig sikerülhet a hőmérséklet emelésével a reakció reverzibilitását biztosítani.

Rendkívül érdekes jelenség, hogy akkor, amikor alacsonyabb hőmérsékletéről magasabb hőmérséklet felé haladunk a  $Q_{10}$ -nek az értéke rohamosan, úgyszólván ugrásszerűen növekszik, amely körülmény mutatja, hogy a hőmérséklet emelkedésével beálló reakcióváltozás ugrásszerűen történik.

Az RGT szabálynak különleges eseteit, amelyek a növények egyes életfolyamataira vonatkoznak, majd ezen életjelenségek részleges tárgyalásakor fogjuk ismertetni.

### A növények táplálóanyagai és ezeknek forrásai.

Az első fejezetben már megismerkedtünk a növény testét alkotó fontosabb vegyületekkel. Ezeknek a beható vizsgálata, amint már ott kifejezésre juttattuk, azt mutatja, hogy bizonyos kémiai elemek a növényi test alakulása szempontjából feltétlenül szükségesek, míg mások a nem feltétlenül szükséges elemek közé tartoznak. A növénytenyésztéshez feltétlenül szükséges elemeket tájékozásul még egyszer közöljük:

K, Ca, Mg, Fe, S, P, C, N, O, H.

Ezek közül az elemek közül a növény a C-t kizárólag a levegőből veszi fel  $\text{CO}_2$  vegyület alakjában az  $\text{O}_2$ -t pedig túlnyomólag a levegőből mint elemet veszi fel.

A többi nélkülözhetetlenül szükséges elem forrása a talaj. A növény táplálóanyagainak forrása tehát a föld levegőrétege és a talaj.

#### A) A levegő.

A levegő egy gázkeverék, amely kb. 8000 m magasságig a következő fontosabb elemekből áll:

	Térfogatrész	Súlyrész	Térfogat százalék
N . . . . .	780.3	755.14	78.03
O . . . . .	209.9	231.47	20.99
Argon, Neon, Krypton stb. . .	9.4	12.92	0.94
$\text{CO}_2$ . . . . .	0.3	0.46	0.03
H és $\text{CH}_4$ . . . . .	0.1	0.01	0.01
	1000.0	1000.00	100.00



Ezek közül az elemek közül a növények számára a legnagyobb fontossággal az aránylag nagyon csekély térfogatszázalékban szereplő  $\text{CO}_2$  bír, miután amint ezt *Ingenhousz* (1779—1796) kísérletei világosan bebizonyították, a növények a sejtfalak alakításához szükséges C-t kizárólag a levegőből felvett  $\text{CO}_2$ -nak az asszimiláció folyamata alatt történő felbontása útján sajátítják el.

*Dubois* becslése szerint évenként 118'5 billió kg  $\text{CO}_2$ -t asszimilálnak a növények, tehát majdnem  $\frac{1}{20}$ -ad részét a levegő teljes  $\text{CO}_2$  tartalmának. Ezzel szemben becslés szerint az állatok lélekzése útján 2'5 billió kg kerül vissza a levegőbe, míg az ember által elégetett szén és fa mennyiség évenként *Credner* szerint mindössze 1'3 billió kg  $\text{CO}_2$ -t termel. Ilyen módon tehát csak elenyésző része térül meg a növények által felhasznált  $\text{CO}_2$ -nak, a hiányt a korhadás folytán felszabaduló nagy mennyiségű  $\text{CO}_2$  pótolja.

Dacára a levegő viszonylag nagy N-tartalmának, a növények ezt közvetlenül értékesíteni nem tudják, miután a N-t a legtöbb növény kizárólag a gyökerei útján, mint nitrátokat veszi fel. Csak a hüvelyesekhez tartozó egyes növények, továbbá az *Elaeagnus* és *Alnus* fajok képesek a gyökereiken velük szimbiózisban élő baktériumok segítségével a levegő szabad N-jét közvetlenül hasznosítani.

Annál fontosabb a növények számára a lélekzésük zavartalan lebonyolítására szükséges O, amelyre különösen akkor van szükség, mikor a csírázásnál és a növekedési mozgásaiknál jelentékeny disszimilatorikus tevékenységet fejtenek ki.

A levegőben levő többi elemnek növényélettani szempontból nincsen jelentősége.

#### B) A talaj.

Amint említettük, a növények másik rendkívül fontos táplálóanyag forrása a talaj. Innét veszik fel a növények cseppfolyós és vízben oldott táplálékaikat. Épen ezért a talajnak az ismerete a gyakorlati mező- és erdőgazdaság számára rendkívül fontos, miután a gazdasági növények táplálása és helyes tenyészése csak a talaj megfelelő kezelése útján lesz lehetséges.



A talajnak élettani szempontból való megismerése céljából meg kell ismerkednünk rövidesen annak fizikai és kémiai szerkezetével és azokkal a biológiai folyamatokkal, amelyek a talaj táplálósóinak kialakulását a vegyi folyamatokkal kapcsolatosan szabályozzák. Ma már tudjuk, hogy a talaj nemcsak a szorosan vett kémiai és fizikai reakciók színhelye, ezeken kívül benne mikroorganizmusok élnek, amelyeknek a biológiai működése szervesen egészíti ki a kémiai és fizikai folyamatokat.

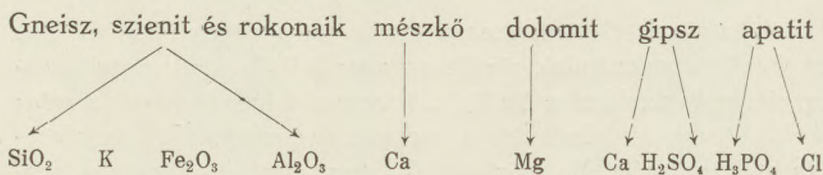
A legtöbb talaj eruptív vagy üledékes kőzetek elmállásának köszöni az eredetét. A levegő  $\text{CO}_2$  tartalma, a víz erodáló és korrodáló hatása, a hideg és meleg váltakozó fizikai hatására a kőzetek fokozatosan elmállanak. Mihelyt azonban az elmállás első jelei mutatkoznak, megtelepednek rajtuk a növényország első úttörői: a moszatok, a zuzmók és a mohok és ezeknek a munkáján, főleg a gyökerek hatására tovább folytatódik az elmállás lassú, de biztos folyamata. A megtelepedő növények hatására kialakul lassan ezeknek az elhalt korhadó részeiből az első humuszréteg, amely idővel fokozatosan növekedve, a magasabbrendű növények megélhetését és fokozatosan a termőtalajok kialakulását teszi lehetővé.

Meg kell tehát különböztetnünk egymástól a nyers- és a termőtalajokat, amely utóbbiak a szétmálási produktumoknak a korhadás folytán keletkező humuszanyagokkal és egyéb bomlási termékekkel, mint ammonia, salétromsav stb.-vel való keveredéséből keletkeznek.

Az eruptív és sedimentär kőzetek elmállása folyamán a talajba mindazon sók belejutnak, amelyeket az előzők folyamán mint a növényi életre nélkülözhetetleneket ismertünk meg. A talaj alkata és a növények táplálkozása, illetőleg alakulása között tehát szoros összefüggés van, amint *Linsbauer* nagyon helyesen állapítja meg, a növények táplálkozásukban a talaj meglevő sóihoz szorosan alkalmazkodtak.

Egyébként a kőzetek elmállása folytán keletkező kémiai anyagok átnézete nagy vonásokban a következő:





Tehát mindazok az elemek, amelyek a növény táplálkozásához elengedhetetlenül szükségesek.

Amint láttuk a növénytenyésztés szempontjából legfontosabb anyagok a talaj szilárd kérgében, illetőleg az ezt alkotó üledékes vagy eruptív kőzetben már bent foglaltatnak. Bizonyítják ezt a Br u h n s 800 különböző kőzet elemzéséből középértékül kiszámított adatai, amelyek szerint átlagosan van a kőzetekben :

Oxygén 47'29 %, Silícium 27'21 %, Aluminium 7'81 %, Vas 5'46 %, Cálcium 3'77 %, Magnézium 2'68 %, Kálium 2'40 %, Nátrium 2'36 %, Titán 0'33 %, Carbon 0'22 %, Hydrogén 0'21 %, Phosphor 0'10 %, Mangán 0'08 %, Kén 0'03 %.

Ha ezek az adatok csak megközelítőleg valószínűek is, mégis azt bizonyítják, hogy a növények táplálására szükséges elemek a kőzetekben mind megvannak és hogy az oxygénen kívül legjelentékenyebb mennyiségben van meg a silícium, ellenben a növények nélkülözhetetlen táplálékát alkotó elemek csak kisebb mennyiségben vannak meg.

A szilárd szikla mállásának kezdetét jelzi a mállás helyén megtelepedő moszat, azután a zuzmó, majd a moha, amelyek tenyésztésükkkel ugyancsak részt vesznek azután a mállasztás további munkájában. Ugyanis a mállás folytán a szilárd kőzetek részecskéinek egymással való összefüggése meglazul és pedig eleinte csak a felületen, majd pedig lassankint egész térfogatukban, míg végül az egész kőzet többé-kevésbé szemecskés tömeggé lesz. A mállás úgy a fizikai, mint a kémiai tényezők hatásának az eredménye. Ilyen tényezőként szerepel főként a víz, továbbá a levegő oxygénje, azután a hőmérséklet és változása, a szél és végül a szerves világ is.

Messze vezetne célunktól, ha ezeknek a tényezőknek hatását részletesen vázolnók és ezért csak kiemeljük, hogy ezek a tényezők nem egyenként és külön hatnak a kőzetekre, hanem kétségtávol egyidőben valamennyien vagy többen közülük mun-



kálnak a kőzetek mállasztásán és ha egyik-másik munkája túlsúlyra emelkedik, úgy a mállás eredményében is bizonyos határozott tulajdonságok jutnak kifejezésre, amelyek még inkább jellegzetessé lesznek a málló kőzet fizikai, de különösen kémiai tulajdonságai folytán. A mállasztás munkája azonban nem szűnik meg a szilárd sziklának apró részekre való szétesésével, szétmorzsolódásával, hanem a kőzet minden darabkája, szemecskéje a mállasztás tényezőinek hatása folytán mindinkább tovább esik szét alkotó egyszerű vegyületeire, illetőleg elemeire, kivált a szerves világ közreműködésének hatására. És épen ezért a fentebb említett, tisztán szervetlen, illetőleg ásványi összetételű és *nyers talajnak* nevezett talajtól meg kell különböztetnünk a *termőtalajt*, amely fizikai és kémiai alkotásánál fogva csakugyan alkalmas a magasabbrendű növények táplálására.

Bár a talajokkal részletesen egy külön tudományág a talajtan foglalkozik, mégis a következőkben foglalkoznunk kell a talajnak bizonyos általános sajátságaival, amelyek nélkül csak nagyon nehezen tudnók a növények táplálkozási folyamatait a maguk szerves összefüggésében megismerni. Foglalkozni fogunk mindenekelőtt a talajok kémiai-fizikai szerkezetével, azután a talajok kémiai szerkezetével és az ezekből folyó egyes sajátságokkal és végül foglalkozni fogunk a talajban lefolyó és a mező- és erdőgazdaságban olyan fontos szerepet játszó biológiai jelenségekkel.

#### A talaj fizikai sajátsagai.

a) *A talaj alkotórészei.* Az előbb említett eruptív és üledékes kőzetek elmállási folyamata alatt a föld szilárd kérge, illetőleg az ezt alkotó kőzetek apróbb részekre mállanak szét. A durvább málladékszemek alkotják a t a l a j v á z á t, a finomabb málladékszemek pedig a f i n o m f ö l d e t. Ennek a két fogalomnak a kvantitatív elhatárolása az irodalomban nem egységes. Franciaországban finom földnek nevezik a talaj azon részét, amely 1 mm átmérővel bíró szitán keresztülmegy, míg Oroszországban és az Egyesült Államokban finom föld elnevezés alatt a 3 mm átmérőjű szitán keresztülmenő talajrészt értik. Ezzel szemben a német mezőgazdasági kísérleti állomások finom földnek azt



nevezik, amely a 2 mm-es szitán még keresztülmegy. A finom földnek a legdurvább részeit homoknak, a középfinom részeket pornak, a legfinomabb részeket pedig agyagnak vagy iszapnak nevezzük. A német mezőgazdasági kísérleti állomások előírása szerint a finom földben az 1—2 mm közötti részek képezik az igen durva homokot, a 0·5—1 mm közöttiek a durva homokot, a 0·2—0·5 mm közöttiek a középfinom homokot, a 0·1—0·2 mm közöttiek a finom homokot, végül a 0·1 mm-nél kisebb málladékszemek a leiszapolható részeket. A talajnak fizikai osztályozását részben szitákkal, részben pedig az erre a célra szolgáló különleges készülékkel, az u. n. iszapoló készülékkel végzik.

A 0·2—0·02 mm átmérőjű málladékot már csak mikroszkóp alatt lehet megkülönböztetni. Ennek rendkívül nagy a vízkapacitása és kitűnők a kapilláris sajátságai. A 0·02—0·002 mm átmérőjű málladékokra pedig jellemző, hogy a fűszálak gyökerei már nem tudnak behatolni és a talaj baktériumainak mozgását is gátolja. Az ezen nagyságú talajrészecskék már a Brown-féle molekuláris mozgást mutatják és bizonyos fokú kolloidális sajátosságokkal bírnak.

A málladékszemek alakja aszerint változik, hogy az a víz hatása alatt jött-e létre vagy nem. A finomabb homokszemek túlnyomórészt éles élűek, a finom málladék kolloidok pedig lemezszerűen, pikkelyszerűen alakultak ki.

A kolloidoknak az általános sajátságaival már egy előző fejezetben megismerkedtünk, úgyhogy itt csak ezeknek a kolloidális jelenségeknek a talajjal kapcsolatos vonatkozásait kell röviden megemlíteni.

A talajban nagyon fontos szerepet játszanak az u. n. védő kolloidok. Ilyen pl. a kolloidkémiaiában a tojásfehérje vagy a gelatin, amelyek a kolloidális oldatokat koagulálás ellen megvédik akkor, ha ezen kolloidális oldatokhoz elektrolytikus tulajdonságokkal bíró sóoldatokat adunk. A talajban, különösen az erdei talajban humuszkolloidok szerepelnek mint védő kolloidok. A humuszkolloidok megakadályozzák, hogy a  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  vagy a kóvasav kolloid a kolloidális oldatból kicsapódjon és ennek következtében az ilyen kolloidális oldat, mint-



hogy kicsapódni nem tud, a csapadék hatása alatt a talajból kimosódik. A védő kolloidok hatását általában a legjobban úgy magyarázhatjuk meg, hogy ezek a többi kolloid részecskék körül hártót képeznek és ezáltal megakadályozzák, hogy a kolloidrészek között az elektrolytek hatására kifejtett vonzás kifejlődhessen és így közvetve ezeknek koaguláló hatását is lehetlenné teszik.

A talajban általában a diszperziós fázist a humuszanyagok, a kovasav és a különböző élő szervezetek, míg a diszperziós anyagot mindig a víz reprezentálja.

A talajban levő kolloidális anyagok közül a legfontosabbak a kolloidális humusz, a kolloidális agyag, a kolloidális  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , a kolloidális  $\text{Al}(\text{OH})_3$  és a kolloidális kovasav.

A kolloidális humusz elektrolytek hatására csak nagyon nehezen koagulál. A kolloidális humusz általában rendkívül kis átmérőjű kolloidokból van összetéve, amelyeket még ultramikroszkopikus úton sem lehet láthatóvá tenni, tehát a molekuláris diszperziós rendszerek határán vannak. Miután ezek a humuszkolloidok csak nagyon nehezen koagulálnak, a talajban erősen szétmosódnak és az ilyen talajokon átfolyó folyóknak, vagy az ilyen talajokon felgyülemelő víztócsáknak fekete színt kölcsönöznek. Ha a humuszszemecskék átmérője rendkívül kicsiny és így maga a kolloidális rendszer erősen diszpergálva van, akkor az u. n. savanyú humusszal van dolgunk, amelyet másképpen telítetlen humusznak is neveznek. Ha ellenben a kolloidális szemecskék nagysága nagyobb és így egy durva diszperziós rendszerrel van dolgunk, akkor az enyhe vagy adszorpciós telített humusz van jelen. Úgy a telített, mint a telítetlen humuszkolloidok negatív töltésűek és vezetőképességük rendkívül csekély.

A kolloidális agyag, amint a neve is mutatja, a legtömegesebben az agyagos talajokban található meg. Ezekből azonban, minthogy a víz kimosó hatásának nagyon ki van téve, fokozatosan eltávozik. Még a tulajdonképeni agyagtalajokban is csak legfeljebb 15 % mennyiségű kolloidális agyag van. Szemecskenagysága Ehrenberg szerint  $140 \mu\mu$ . A szemecskék negatív töltésűek és oldatukból elektrolytek könnyen kicsapják őket. Ha sok közöttük a homok, akkor maga az anyag nehezebben formálható, ez adja az u. n. sovány agyagot, míg az erősen ragadó, nyújtható agyag, amely a legfinomabb alkotórészekből áll, a tulajdonképeni zsíros agyag, amely a vizet nagyon nehezen engedi át, a felvett vizet pedig nagyon sokáig megtartja.

A kolloidális  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  sárga és barna változatban fordul elő. Relatív nagy szemecskenagysággal bíró kolloidok alkotják, amelyek pozitív töltéssel bírnak és ezért a negatív ionok (kolloidális kovasav) kicsapják őket, míg a pozitív töltésű savak diszperziójukat emelik. Csak kivételes esetben szokott negatív töltésű lenni.



A *kolloidális*  $Al(OH)_3$ -nak az eredete a talaj szilikátjaiban keresendő. Ez is pozitív töltésű kolloid és ezért a kolloidális kovasav ezt is, mint a vashydroxydot oldataiból kicsapja.

A *kolloidális*  $SiO_2$  a növénynek a legfontosabb kovasav forrása. Általában negatív töltésű, azonban oldata a villamos áramot csak kevésbé vezeti és sókkal szemben sem mondható nagyon érzékenynek.

A termőtalajban általában 3 réteget különböztetünk meg. Ezek a *feltalaj*, az *altalaj* és a *nyers altalaj*, amelyet másképpen *őstalajnak* is nevezünk. A feltalajban az elmállás többé-kevésbé be van fejeződve. Az altalajban az elmállási folyamat, mégpedig sem a kémiai, sem a biológiai még befejezve nincsen, azonban a növény gyökereit még átengedi, de a biológiai jelenségek a feltalajhoz képest háttérbe szorulnak. A talajnak ez a része a leggazdagabb táplálóanyagokban, ebben gyűlnek össze a feltalajból a talajkolloidok és ebből a rétegből veszi fel a növény legnagyobb mennyiségben a vizet. A nyers altalaj szinte átmenet nélkül csatlakozik az altalajhoz. E talajréteg értéke geológiai származásától függ és benne az elmállás még egyáltalában nem, vagy csak alig jelentkezik, azonban természetesen már benne foglaltatnak az összes fontosabb növényi táplálóanyagok, de nyers, még fel nem használható és fel nem dolgozható állapotban. A nyers altalaj különösen fontos akkor, ha vízbocsátó képességét vesszük szemügyre. Ebből a szempontból megkülönböztetjük a víztartó, vízbocsátó és víz át nem bocsátó nyers altalajt.

A talajnak ezt a három rétegét sorrendben *A*, *B* és *C* rétegnek nevezik és azokat a talajokat, amelyekben mind a három réteg ki van alakulva, *normális* talajoknak mondjuk.

A feltalaj mélysége 10—30 cm között szokott váltakozni. A 30 cm-nél nagyobb mélységgel rendelkező feltalajokat nagyon mélyeknek mondjuk. A talaj mélysége alatt általában a talaj felszíne és a talaj mélyén fekvő nyers őstalaj (összík) közötti távolságot értjük.

A növénytenyészet szempontjából, különösen a mélyebbre ható gyökerekkel bíró fás növények szempontjából nagyon fontos, hogy a talajok minél mélyebbek legyenek. Kb. 1 m mélység felel meg a legtöbb növénynek. Már itt rá akarunk mutatni arra a valóságra, hogy a fák alakjának a kifejlődése és növekedési



erélye egyéb tényezőktől eltekintve erősen függ a talajmélységtől is. Nagyon sekély talajon csak a fűfélék fejlődhetnek ki, s az ilyen talajok, minthogy erősen kiszáradnak, a növénytenyésztésre csak korlátozott mértékben alkalmasak, miután a szárazságtól sokat szenvednek. Általában hegyvidéken a talaj mélysége kisebb szokott lenni, mint síkságon, ahol az anyakőzet nagyon mély szintekben foglal helyet. 15 cm mélységig a talajt nagyon sekélynek mondjuk, 15—30 cm között sekély, 30—60 cm között közép-mély, 60—100 cm között mély, 100 cm-en felül pedig nagyon mély.

A feltalajjal kapcsolatban meg kell még említenünk, hogy a mezőgazdasági művelés alatt álló talajoknál a feltalajt szármokokkal megdolgozzák. Ez a német „Ackerkrume” fogalma, amelyet morzsás szántóföldnek is lehet nevezni. Általában ez a talajfajta, illetőleg ennek morzsás szerkezete mesterségesen, a különböző talajművelő eszközökkel való megmunkálás útján fejlődik ki, de a tulajdonképeni jellemző, természetes úton kifejlődött morzsás szerkezetű talajt az erdőtalaj szolgáltatja. A felső talajréteg morzsás szerkezete a talajnak szellőzőtsége szempontjából nagyon fontos, miután a morzsás szerkezet a talajnak levegővel való átjárhatóságát elősegíti.

A feltalajra jellemző, hogy ennek táplálóanyag mennyiségét a növényzet rendszerint teljes mértékben ki szokta használni, ezért a mezőgazdaságban a feltalaj táplálósóit mesterségesen trágyázással pótoljuk; az erdőgazdaságban pedig a feltalaj táplálóanyagainak pótlásáról a természet a talajra hulló szerves anyag korhadási folyamataival gondoskodik.

A talaj színe az alkotórészek színeitől függ. Nagyon befolyásolja a talaj színét a humusznak és a különböző vasvegyületeknek jelenléte. Így pl. a 0'4—0'5 %-nyi humuszt tartalmazó homoktalaj szürke, míg a 8—10 %-nyi humuszmennyiség már sötét színűvé festi a talajt. Az agyagos talaj színét a humusz csak akkor tudja befolyásolni, ha igen nagy mennyiségben van jelen. A sok humuszt tartalmazó feketetalajok az orosz tájszólás után a tschernosem és a lápos talajok. A kvarc, a földpát és a kaolin alkotórészei rendesen színtelenek, minthogy azonban ezek a fényt úgyszólván teljesen visszaverik, a túlnyomó részben ezekből az anyagokból álló talajok fehér színűek lesznek és csak akkor válnak szürkévé, ha víztartalmuk növekedik, miután a víz felületén a fény visszaverődése már nem teljes.



A vasoxyd, vagy a vasoxydhydrát jelenléte barna vagy piros színűvé változtatja a talajt.

Egyes humid, tehát esőben gazdag vidéken a kolloidális humusz hatása alatt a talajból a vas eltűnik az altalajba s ilyenkor a talaj színe a még benne levő kevés humusztól ólomszürke lesz. Ezek a szürke talajok (Bleicherde vagy Grauerde).

b) *A talaj szerkezete.* A szerves és szervetlen vegyületeket tartalmazó szemecskék egymással való összefüggése adja a talaj szerkezetét, vagy szövetét, amely jórészt a szemecskék nagyságától függ, amint hogy egyébként is a szemecskék a növények táplálkozása szempontjából nagy jelentőségűek. Különösen pedig az apróbb, finom, iszapolható szemecskék fontosak, amennyiben



11. kép.

A talaj egyenlő szemecskéinek laza elhelyezkedése, amidőn a szemecskék függőlegesen állanak egymás felett. A szemecskék közötti üregek a szemecskékhez képest elég nagyok. Ramann után.



12. kép.

A talaj egyenlő szemecskéinek elhelyezkedése, amidőn a szemecskék váltakoznak egymás felett. A szemecskék közötti üregek a szemecskékhez képest elég kicsinyek. Ramann után.

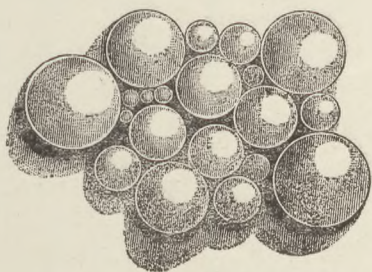
ezek sokkal könnyebben mállanak el, mint a nagyobb szemecskék, tehát a növényzet számára is könnyebben hozzáférhetők, amiért is sokkal több táplálékot adnak.

A nagy talajszemcsék egymásközt nagy üregeket, hézagokat alkotnak, ellenben az apró, finom talajszemecskék egymás közt szűk és keskeny üregeket, hézagokat képeznek, amelyeknek összes ürtartalma azonban nagyobb, mint az ugyanolyan súlyú durva szemecskék közti ürtartalom. Az ürtartalom nagyságára különben hatással van a szemecskéknek egymáshoz való helyzete is (l. 11. és 12. kép). A legtöbb talaj különböző nagyságú szemecskékből áll; ebben az esetben a finomabb szemecskék a durvább szemecskék alkotta üregeket töltik ki, tehát az üregek térfogatát kisebbitik (l. 13. sz. kép). A közetek mállásának menete azonban azt igazolja, hogy a kemény és nehezen oldható alkotórészek nagyobb szemecskékben maradnak meg, amiért is a durvább szemecskék anyaga is más vegyületekből áll, mint a finom apróbb szemecskéké; ezért az utóbbiak a növény táplálkozására is nagyobb hatást gyakorolnak. A szemecskéknek ez a jelentősége, de még a szemecskék nagyságának könnyen való megállapítása hozta magával, hogy



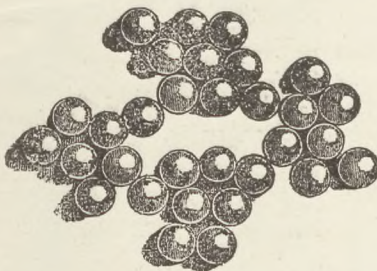
a talajokat ezek szerint osztályozzák, megkülönböztetve a homok- és az agyagtalajokat.

A különböző nagyságú szemecskék azonban különböző arányban vannak meg. Azt a talajt, amelyben a különböző nagyságú szemecskék aránya olyan, hogy a talaj szerkezete nem nagyon tömött, de nem is porszerű, hanem a különböző nagyságú szemecskék többé-kevésbé összeálló csomócskákká egyesülnek és a köztük alakuló nagyobb és kisebb üregek egymásnak megfelelő kedvező arányban vannak meg, morzsás talajnak mondják, amely a növények táplálkozására a legkedvezőbb szerkezetű



13. kép.

A talaj egyenlőtlen nagyságú szemecskéinek elhelyezkedése, amelynél a talaj apró szemecskéi a nagyobb szemecskék közt foglalnak helyet, úgyhogy a szemecskék közti üregek jelentékenyen kisebbednek. R a m a n n után.



14. kép.

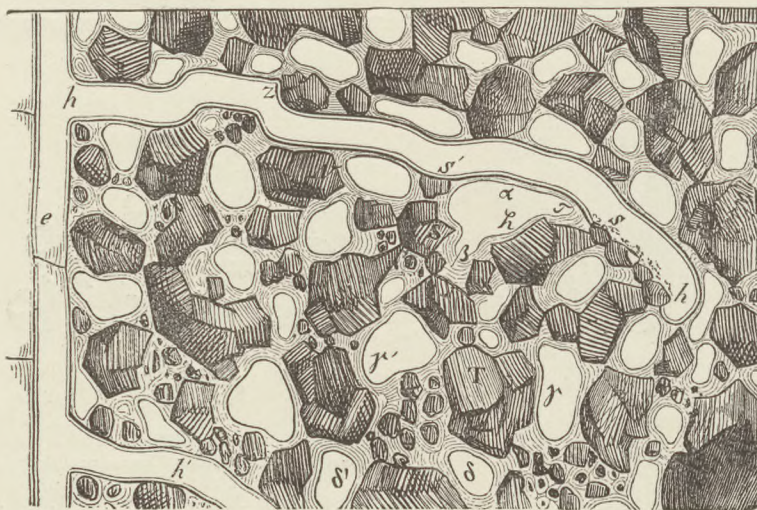
A talajmorzsa vázlata. R a m a n n után.

talaj, ha egyébként benne a többi feltételek is megvannak. A morzsás talajt alkotó egyes szemecskék egymással összeállva, kisebb-nagyobb morzsákat alkotnak, amelyek többé-kevésbé tömötték, amennyiben a szemecskék közt csak keskeny üregek vannak, ellenben a morzsák között, úgy mint a nagyobb szemecskék között is, tágasabb üregek is alakulnak (l. 13. és 14. kép). A talaj kisebb-nagyobb szemecskéi egymással lazán, vagy szorosabban függnek össze; a szemecskéknek ezt az összefüggését kötöttségnek mondjuk, amely szoros összefüggésben áll a talaj agyagmennyiségével, de amelyet más alkotórészek is módosíthatnak, pl. a víztartalom, sőt más részek is, pl. a humusz, a mész, amelyek csökkentik a kötöttséget.

A talajnak előbb említett üregeit foglalja el a víz és pedig a jó termőtalajokban a nagyobb üregeket a víz és a levegő, míg a kisebb üre-



geket jóformán csupán a víz tölti ki, amely mint a szemecskéket alkotó vegyületek oldószere szerepel, különösen ha még szénsavat is tartalmaz és esetleg a benne elhelyezkedő gyökerek által kiválasztott más savakat, vagy savas vegyületeket is (l. 15. kép). Az ily módon elhelyezkedő víz a csapadék-víz vagy más forrás által megszorodva, a talaj hézagait nagyobb mértékben foglalja el és a talajvizet alkotja; ettől megkülönböztetjük azt a vizet, amely a talajból a mélybe leszívárog addig, amíg a víz által át nem járható rétegekre jut, ahol ezután meg is gyülemlik. Ez a víz az altalaj, vagy a talajfenék vize. A talajnak víz alkotórésze épen oldóképességénél



15. kép.

A talaj vázlatos képe a benne elhelyezkedő gyökérrel, illetőleg a gyökér szórszálával; *e* a gyökér epidermisze, amelyből a *h* szórszál fejlődött *s* és *s'* nál a talaj szemecskéire ránőve. A talaj szilárd *T* szemecskéi között vannak a levegővel telt üregek  $\gamma$   $\gamma'$ . Minden talajszemecske vékony vírréteggel van körülveve  $\beta$ , de a szórszálakra is rátapad a víz  $\alpha$ . S a c h s után.

fogva a növények táplálkozására nagy fontosságú. A nagyobb hézagokban elhelyezkedő levegő, mint a talajnak alkotórésze, némikpen elüt alkotásában a szabad levegőtől, amennyiben a talajban bomló televényrészekből származó szénsavtartalma nagyobb. Különben talaj levegője is folyton részt vesz a talajban végbemenő folyamatokban, egyrészt az által, hogy a vegyi átalakulásokhoz szolgáltatja az oxigént, másrészt, hogy a talajban élő és munkálkodó baktériumok számára szükséges nitrogént adja. Később rá fogunk mutatni arra is, hogy a talaj oxigéntartalma szükséges a növények más életfolyamatára is.

A talajt alkotó szemecskék közötti űr, illetőleg ennek megállapítása a talaj fizikai állapotának megjelölésénél igen fontos. Ezt más szóval



pórusvolumen-nak vagy porozitás-nak is nevezik. Szabatosan kifejezve porusvolumen alatt azt az űrt értjük, amelyet  $100 \text{ cm}^3$  térfogatú talajban a szemecskék között fennmaradó, levegővel és vízzel megtöltött üregek alkotnak. \*)

Ramann szerint a pórusvolumen a morzsás szerkezetnél a legnagyobb, ahol a pórusvolumen maximális értékei 50—60% között mozognak.

A morzsás szerkezet alapját képezi a kedvező növénytenyészetnek, miután a morzsák között, egyrészt a magas pórusvolumen következtében kitünővé válik a talaj szellőzőtsége, másrészt a gyökerek, különösen a hajszál gyökerek a morzsák közé könnyen be tudnak hatolni. A morzsás szerkezetnek az ellentéte az u. n. egyes szemecskés szerkezet. Ezt az egyes szemecskés szerkezetet jellemzi, hogy a talajban a málladékszemecskék egymás mellett állanak. Az egyes szemecskék azonban ebben a szerkezetükben nem maradnak meg, hanem a g r e g á t o k k á, a már ismertetett morzsákká egyesülnek, amely szerkezetet morzsás szerkezetnek mondjuk.

Az egyes szemecskés szerkezetnél a pórusvolumen nagysága 47—25% között váltakozik. Különösen figyelemre méltó, hogy a jó morzsás szerkezetű talajok egyes kedvezőtlen behatásokra egyes szemecskékké alakulhatnak át, amiáltal a talaj a növénytenyésztésére kedvezőtlené válik, amelyen csak megfelelő beavatkozásokkal lehet segíteni.

A talaj morzsás szerkezetének egyik főfeltétele, hogy a talajban kellő mennyiségű oldható só legyen. Általában a  $\text{CaO}$  és a  $\text{CaCO}_3$  a talaj morzsás szerkezetét elősegítik. Hasonlóképpen elősegítik a morzsás szerkezetet a talajban levő  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , az erősebb savak és a jól oldódó nitrátok,

\*) Ha  $100 \text{ cm}^3$  térfogatú talaj súlyát térfogatsúlynak, vagy látzólagos fajsúlynak mondjuk és  $v_s$ -el jelöljük és viszont a talaj valóságos fajsúlyát  $s$ -sel jelöljük, ebben az esetben a pórusvolumen a következő képlet adja:

$$v_p = 100 - \frac{v_s \cdot 100}{s}$$

Ha már most meghatározzuk az arra a talajtanban kidolgozott megfelelő eljárás segítségével azt a vízmennyiséget, amelyet a talajszemecskék vízszatartani képesek, vagy más szóval meghatározzuk a talaj víztartó képességét: a vízkapacitást és ezt a pórusvolumenből kivonjuk, akkor megkapjuk a talajnak levegő kapacitását, vagyis, ha a vízkapacitást  $h$ -val, a levegőkapacitást pedig  $l$ -el jelöljük, akkor

$$l = v_p - h$$



phosphátok és szulfátok. Hogy az oldható sók miért segítik elő a talaj morzsás szerkezetét, arra nézve ezidőszerint teljesen kielégítő magyarázatot adni még nem tudunk. Valószínű, hogy ezek a jól oldható sók vizes oldataikban erősen disszociálnak és az így szabaddá váló pozitív ionok, a kationok a talajkolloidokra nagyobb hatást gyakorolnak és azok koagulálnak. A morzsás szerkezet kialakulására különösen kedvező az istállótrágya hatása, mert egyrészt ennek rothadásakor sok só kerül a talajba, másrészt az elkorhadt szalma és organikus anyagok helyén ürök keletkeznek a talajban. Elősegítik a talaj morzsás szerkezetét a földi giliszták. Csak mint jellemző ténytet említjük meg, hogy a Nilus partján elterülő rendkívül nagy termékenységű talajokon nagyon sok a giliszta, úgyhogy az ottani adatok szerint a legfelső talajréteg 60 cm-re 25 év alatt teljesen keresztül megy a giliszták gyomrán. De elősegítik a morzsás szerkezetet a földi bogarak és a vakond is, azonkívül elősegítik a fagy és a meleg által okozott térfogatváltozás, miután tudvalevőleg a megfagyott víz térfogata megnövekedik. A hőmérséklet emelkedésének is hasonló a hatása, amely különösen a kötött talajokon érvényesül és ilyenkor a talajban a kiszáradás következtében keresztül-kasúl repedések keletkeznek, amely repedések széléről a talajdarabok leszakadnak és a repedésekbe esnek bele. Ha most már az ilyen talaj megint csapadékot kap, újra vízzel szívja magát tele, térfogata megint megnövekedik és így feszültségi differenciák lépnek fel, a talaj növekedik és a növekedés a morzsák keletkezését involválja.

Hasonlóképpen elősegíti a talaj morzsás szerkezetét az u. n. *Bodengare* névvel illetett jelenség is, amelyre megfelelő magyar kifejezést még nem sikerült találni. Ez alatt a jelenség alatt azt értjük, hogy a talajban működő mikroorganizmusok nagymennyiségű  $\text{CO}_2$ -t fejlesztenek, amely gáz a talajrészecskék között kifejlődő kapilláris üregekben levő víz által bizonyos mértékig vissza lesz tartva és ezért ezen kapilláris vízre nyomást gyakorol és a talajrészecskék közötti üregeket kitágítja. *Ehrenberg* szerint ennek a jelenségnek előidézésében a mikroorganizmusok csak közvetve játszanak szerepet, mégpedig úgy, hogy a mikroorganizmusok által termelt  $\text{CO}_2$  és salétromsav a talajban levő  $\text{CaCO}_3$ -ból és  $\text{MgCO}_3$ -ból  $\text{CaH}_2(\text{CO}_3)_2$ -ot és  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -ot,  $\text{MgH}_2(\text{CO}_3)_2$ -ot és  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ -t képeznek, amely sók nagy mennyiségű kationt tartalmaznak és ezért a kolloidokat az oldatból kicsapják és ezáltal segítik elő a talaj morzsás szerkezetét.

A morzsás szerkezetre különösen rossz hatással van a  $\text{NaNO}_3$  és a  $\text{NaCl}$ . Ilyenkor ugyanis a keletkező  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  hidrolizálásánál képződő  $\text{OH}$  ionok a kolloidokhoz csatlakoznak és ezáltal ezeknek negatív töltést adva, kölcsönös vonzásukat és kicsapódásukat megakadályozzák. Nagy esők szintén károsan befolyásolják a morzsás szerkezet kialakulását, miután az esőcseppek a talaj felszínén a morzsákat összetörik és a porusokat a legapróbb málladékszemekkel eltömik, minthogy pedig az esővíz sókat alig tartalmaz, úgy elektrolytikus hatása végtelenül csekély és így a talajban levő kolloidok koagulálását megakadályozza.



Ezzel kapcsolatban még néhány szóval a talaj fajsúlyáról is meg fogunk emlékezni. A talaj fajsúlya alatt egy bizonyos térfogatának száraz állapotban való súlya és ugyanolyan térfogatú víz súlya közötti relatív viszonyszámot értjük. Mitscherlich szerint a különböző talajok fajsúlya a következő:

homoktalajok	2'63
humuszos homoktalajok	2'59
vályogos homoktalajok	2'62
nehéz agyagtalajok	2'70
lápos talajok	2'03
meszes homoktalajok	2'8, 2'75 (Trommer és Wollny szerint)
humusz, tőzeg	1'37 (Schübler szerint).

b) *A talaj kohéziója és adhéziója.* A talajban jelentkező azt az erőt, amely a talajszemecskéket egymáshoz köti, *kohézió*-nak nevezzük. A talajban a kohézió általában annál nagyobb, minél több a talajban a finom málladékszem, de a talaj víztartalma is befolyásolja. Minél kevesebb a víz, annál nagyobb a kohézió. Ha ellenben a talajszemek a pórusokban levő víz által kapcsolódnak össze, ebben az esetben már az *adhézió*s erő is működik; ezt a talajadhéziót a talaj ragadósságának is nevezzük. Agyagnál általában 80 %-os víztartalomnál a legnagyobb az adhézió, homoknál pedig az adhézió értéke szintén akkor éri el maximumát, amikor a homok vízzel van telítve. A kohézió és adhézió együtt szabályozza a talaj kötöttségét.

A talaj fizikai sajátságai közül meg kell még emlékeznünk a talaj katalitikai tulajdonságáról is, amelyet Berzelius már 1836.-ban észlelt és amelynek lényege abban áll, hogy a talajok a hidrogénsuperoxyd vizes oldatában a  $H_2O_2$ -t  $O$  felszabadulása mellett felbontják. A katalitikai tulajdonság szoros összefüggésben van a talaj humusztartalmával. Ez a jelenség ugyanis egy kifejezett biológiai jelenség, ezért jelenléte a humuszban élő mikroorganizmusok által termelt kataláz enzim produkciójával van összefüggésben. Egyes talajok azonban ilyen biológiailag termelt kataláz enzim nélkül is katalitikai hatást gyakorolnak, ilyenkor azután különösen a



vashydroxyd és a mangánsók idézik elő a katalitikus hatást, míg az aluminiumhydroxyd és a kovasav hatástalanok.

A talaj radioaktivitása az újabb idevonatkozó vizsgálatok szerint szintén jelentékeny befolyást gyakorol a talajban lefolyó biokémiai reakciókra. Általában a vulkanikus kőzetekből származó talajok sokkal több radioaktív anyagot tartalmaznak, mint a mészkő. Ezeknek a jelenségeknek a kutatása a legújabb tudományos eredmények közé tartozik és kétségtől, hogy a radioaktív anyagokból távozó  $\alpha$ ,  $\beta$  és  $\gamma$  sugarak a talajban lefolyó biokémiai jelenségekre nagy hatást gyakorolnak. Így minden valószínűség szerint nagy befolyással bírnak a magok csírázására, vagyis oly kémiai jelenségekre, amelyekben enzimek működnek közre, azután elősegítik a kénbaktériumok működését és a nitrifikációt. Viszont az  $\alpha$  és a  $\beta$  sugarak az ammonifikálás jelenségét mozdítják elő. Ebből a szempontból nagyon fontos a talajban a kálium jelenléte, amely  $\beta$  sugarakat bocsát ki magából s minthogy a talajbaktériumok hamuja 40–50%  $K_2O$ -t tartalmaz, úgy a rádium emanációja valószínűleg szintén rendkívül fontos a talajban lefolyó mikrobiológiai jelenségekre.

A talaj fizikai tulajdonságai közül most már rátérünk a talaj és a víz viszonyának ismertetésére. Általában a talajban levő vizet két csoportra oszthatjuk: a higroszkopos és a kapilláris vízre.

Higroszkopos víz alatt azt a vízréteget értjük, amely az adhézió következtében a talaj szemecskék felületére tapad.<sup>1)</sup> Ennek a higroszkopos víznek a mennyisége rendkívül csekély, alatta azt a víztömeget értjük, amely a talajt képező szemecskék felületére 10 molekula réteg ( $25\mu\mu$ ) vastagságban tapad.

A kolloidok sokkal több higroszkopos vizet tartanak vissza, mint a kristályos állapotban levő talajszemecskék és így az agyagos és humuszos talajokban a higroszkopos víz mennyisége erősen megnövekszik. Az újabb vizsgálatok általában azt mutatják, hogy a higroszkopos vizet a növények nem tudják a maguk háztartása számára hasznosítani, miután ezek az adhézió következtében olyan szilárdan tapadnak a talajrézecskek falára, hogy a növények gyökerei ezeket onnan, vagy

<sup>1)</sup> Adhézió alatt általában szilárd testeknek azt a sajátosságát értjük, melyeknek segítségével folyadékokat, de különösen a vizet magukhoz vonzzák, úgyhogy ez látszólag ezeknek a szilárd testeknek a falán tapad. Viszont kohézió alatt azt az erőt értjük, amely a szilárd testek, így pl. a talajrézecskek között vonzás alakjában nyilvánul meg.



csak nagyon nehezen, vagy egyáltalában nem tudják elválasztani. Ennélfogva tehát a növénytenyészet szempontjából első sorban a kapilláris víz bír jelentőséggel.

Maga a kapillaritás két erőnek az eredője, nevezetesen összetevődik az adhézióból, tehát a talajrészecskéknél a vízre gyakorolt vonzásából és azután a talajrészecskéknél kölcsönös kohéziójából. A fizikából tudjuk, hogy a kapillaritás jelenségét legjobban vékony üvegcsövekkel lehet bemutatni, amennyiben a víz, vagy más folyadék a kapilláris erő hatására leküzdí a nehézségi erőt és felemelkedik egészen addig, amíg a kapilláris erő és a nehézségi erő egyensúlyban nem lesznek. A talajban a részecskék közötti pórusok, amint már említettük, rendkívül kis átmérővel bírnak, úgyhogy ezeknek a kis pórusoknak a rendszere egy egész kis hajszálcsöves rendszert hoz létre a talajban. A kapilláris erőnek a nagysága a talajban levő részecskék pórusainak átmérőjétől és alakjától függ, de ugyanolyan szemnagyság mellett a szemecskék egymásközi elhelyezkedése is befolyással bír. Minél több málladékszem van egy ugyanolyan térfogatú talajban, annál több a kapilláris ürök száma, amelyek annál kisebb átmérővel bírnak és így a talaj kapillaritása is annál nagyobb.

Általában, hogyha a hajszálcső rádiuszát  $r$ -el és a kapillaritás által felemelt vízoszlop magasságát  $h$ -val jelöljük és  $\gamma$ -val fejezzük ki a kapillaritás állandóját, úgy

$$r \cdot h = 2\gamma$$

Minthogy a talaj kapilláris csövei nem egészen hengeralakúak, Mitscherlich ezt a törvényszerűséget átmódosította olyképen, hogy ez most már a talaj kapilláris csöveire is érvényes. Ennélfogva ő tekintetbe veszi a kapillárisan felemelt víz térfogatát és ezen víz által megnedvesített cső felületét, az előbbi A-val, az utóbbit B-vel jelöli, és akkor szerinte

$$\frac{A}{B} = \frac{r}{2}$$

ahol  $r$  a kapilláris cső rádiusza, amely az előbb említett egyenletből számítható ki

$$r = \frac{2\gamma}{h}$$

úgyhogy végül is

$$B = \frac{h \cdot A}{\gamma}$$

Hogy a különböző talajok kapilláris úton milyen magasra emelik a vizet, az természetesen csak kísérleti úton határozható meg megközelítőleg. A kapilláris víz emelkedésének gyorsasága a kapilláris csövek rádiusz nagyságának emelkedésével fokozódik ugyan, azonban ezzel szemben ilyenkor a nyomásmagasság csökken. A talajban a kapilláris víz



az altalaj alatt elhelyezett talajvíz színéről emelkedik a felsőbb rétegekbe. Általában a hőmérséklet emelkedésével a víznek a fajlagos szívóssága és így a kapillaritása is folyton csökken. A talajkolloidok, amelyek nagy felületük következtében sok vizet vonnak magukhoz, a talaj kapillaritását úgyszólván teljesen megszüntetik. Különben a talaj vízszívó képessége korlátozott, mert legfeljebb 1—1'5 m-nyire terjed, miért is csak ott bír nagyobb jelentőséggel, ahol a talajvíz nincsen nagyon mélyen. A talajnem szintén erősen befolyásolja a víz kapilláris emelkedését. Így diluviális homoknál, ahol a 0'3 mm-nél nagyobb szemek a talajnak 50—60%-át teszik, a víz a talajvíz fölé csak 30—40 cm-re emelkedik. Ha ellenben a 0'3 mm-nél kisebb szemek 80%-át képezik a talajnak, akkor a víz 50 cm-re is emelkedik. Tőzegecs, lápos talajokban a kapilláris vízvezetés szintén nagyon csekély.

A talaj vízzel való gazdálkodásával kapcsolatban már említettük a talaj vízkapacitásának fogalmát, amelyet most még néhány szóval óhajtunk kibővíteni.

Az újabb irodalomban a vízkapacitásnak két fajtáját találjuk megemlítve, nevezetesen: a maximális és a minimális vagy abszolút vízkapacitást. A talaj maximális vízkapacitása alatt értjük a talajnak azt a vízmennyiségét, amely a talajban van akkor, ha a talajrészecskék között levő összes üregeket víz tölti ki (pl. nagy eső után). Viszont abszolút kapacitás alatt azt a víztömeget értjük, amelyet a talaj adhéziós úton a pórusaiban visszatart.

Amint már az előbbieken említettük, a pórusvolumen kisebbitve az abszolút kapacitással, adja a talaj levegőkapacitását. A talaj vízkapacitását a málladékszemek nagysága nagyon erősen befolyásolja. Minél kisebbek azok, minél finomabbak, annál nagyobb a vízkapacitás, viszont a morzsás szerkezet bizonyos fokig csökkenti a kapacitást. A legnagyobb vízkapacitása van a humusznak és utána az agyagnak, a legkisebb pedig a homoknak.

A vízkapacitást kifejezhetjük térfogat és súly %-okban. A súly % szerint kifejezett vízkapacitásra tájékozásul közöljük a következő adatokat (Wiesner után):

Homoktalajok	18'8%
Agyagos homoktalajok	21'9%
Homokos agyagtalajok	20'2%
Humuszban gazdag homoktalaj	52'8%
Agyagtalajok	80'9%
Tőzegecs talajok	126%

Schügler szerint a humusz súly szerinti kapacitása 180%, térfogat szerinti kapacitása pedig 69%.



d) *A talaj vízátbocsájtó képessége* a talajnak azon saját-sága, hogy a rábocsátott vizet többé-kevésbbé átengedi. Külö-nösen száraz talajokon a víz nem tud a talajba behatolni, fő-leg erősen tözegezes talajoknál mutatkozik ez a jelenség. Ennek az oka elsősorban az, hogy a kiszáradt talaj felületén a sze-mecskék között levő levegő átmenetileg megnehezíti a víz be-hatolását. Minél nagyobbak a talaj málladékszemeckéi kö-zötti üregek és minél kevesebb kapilláris ür és talajkolloid van a kérdéses talajban, annál gyorsabban hatol át rajta a víz. A kolloidok közül különösen a humuszkolloidok azok, amelyek a vizet erősen visszatartják.

A talajban a víz természetesen állandóan párolog. A pá-rolgást a talajjal érintkező levegőréteg relatív páratartalma, a hőmérséklet és a szél befolyásolják. Általában a málladékszeme-mek méreteinek csökkenésével, miután ezáltal természetesen a szemecskék felülete is erősen növekedik, a párolgás is erősebbé lesz. A hőmérséklet és a szél a párolgást elősegítik és termé-szetesen a talajjal közvetlen határos levegőrétegnek a páratar-talma is befolyásolja a talaj párolgását, mégpedig úgy, hogy ennek kisebbedésével a talajpárolgás emelkedni fog. A talaj-ban előforduló sók, amennyiben ezek vizet kötnek le és az ilyen oldatokból a víz nehezen párolog el, szintén akadályozzák a párolgást, ilyen só pl. a NaCl, KCl és a  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Különösen fokozza a talajnak vízpárologtató képességét a talajt borító növényzet leveleinek transpirációja. Az erdei fák különösen nagy mennyiségű vizet párologtatnak el, amelyről majd a fák víz párologtató képességénél még külön fogunk szólni. Az er-dei gyomok szintén sok vizet párologtatnak el, a gazdasági nö-vények közül aránylag keveset a burgonya és viszonylag többet a búza, a zab és a cukorrépa.

A talaj felületén a víz pótlása mindaddig, míg a talaj víztartalma a maximális kapacitásnak 50%-át teszi ki, a kapillaritás törvényei szerint megyen végbe. Az elpárologott víznek a pótlását most már csakis a talaj-ban levő kapilláris üregeknek a mérete szabályozza a már ismert törvény-szerűségek szerint. Ha a talajban túl nagy pórusok vannak s ha a talaj-víz túl mélyen fekszik, ebben az esetben az elpárologtatott vizet kapilláris úton pótolni már nem lehet. A mezőgazdasági művelésnél, ahol a felső talajrétegek mechanikai megmunkálásával az abban a rétegben képződött



kapilláris üröket szétroncsolják, a talajban levő vízmennyiség élettartamát még száraz időjárás esetén is nagyon meg lehet hosszabbítani. A talaj víztartalmát tehát a mesterséges talajműveléssel szabályozni és befolyásolni lehet. Minél finomabb szemecskéi vannak a talajnak, annál nagyobb lesz ezeknek a szemecskéknél viszonylagos felülete és annál nagyobb lesz a párolgás. A termőtalajok morzsás szerkezete tehát felület kisebbedést és ezáltal párolgás kisebbedést eredményez.

A fekete talajok, amelyek erősen megmelegednek, rendkívül gyorsan párolognak. Jellemző a homokra, hogy annak a kapillaritása nagyon csekély s így a homokos talajok alsóbb rétegeiben a víz aránylag sokáig megmarad, dacára annak a körülménynek, hogy a homokos talaj vízkapacitása rendkívül csekély. A humuszos talajokban a humusz a vizet aránylag soká megtartja, de viszont ha kiszárad, úgy a hiányzó kapillaritás következtében alulról alig kap vizet. Különösen lápos, tőzeges talajok, ha egyszer a felső rétegeik kiszáradtak, kapilláris úton alulról nagyon nehezen kapnak vizet. Ilyenkor is a mesterséges talajműveléssel lehet segíteni.

Egy külön problémája a modern erdőgazdaságnak a talaj vízzel való gazdálkodásának a gyérítés útján való szabályozása. Az újabb tapasztalatok általában azt mutatják, hogy az erdőtalajok kiszáraitása nem mindig akkor történik a legbiztosabban, ha az állományt letaroljuk, miután a talajnak a vízpárologtató képességét az erősen transpiráló fakoronák hiánya erősen csökkenti, úgyhogy gyérítéssel csak bizonyos fokig tudjuk a talajt kiszáraitani, dacára annak a körülménynek, hogy a megritkított koronákon keresztül jobban érvényesülnek a napnak szárító sugarai.

e) *A talaj levegőgazdálkodása.* A talaj a környező levegőréteget a talajban lejátszódó biológiai folyamatoknál szabaddá váló O-nel, N-nel, de legfőképpen  $\text{CO}_2$ -dal gazdagítja, viszont a csapadékvízzel a talajba kerülő  $\text{CO}_2$ -t a talaj a  $\text{CaCO}_3$  és  $\text{MgCO}_3$  képződésénél használja fel. A levegőben található ammonia úgyszólván kizárólag a talajban lefolyó bomlási folyamatok eredménye. Az ammonia egy része a levegőbe távozik, a másik része pedig a  $\text{H}_2\text{CO}_3$ -tal  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -ot képez, amely azonban állandóan párolog, úgyhogy így a környező levegőrétegbe is belejut gáz alakjában. A rothadási folyamatoknál, amelyeket a talaj biológiai tárgyalásakor részletesen fogunk ismertetni, ezeken kívül még metan ( $\text{CH}_4$ ) is jut a levegőbe.

A talajban levő levegő egy részét a málladékszemecskében fellépő molekuláris adhézió is megkötí, úgyhogy minél finomabbak a málladékszemecskék, minél nagyobb ezeknek az adhéziós felülete, annál több levegő akkumulálódik a talajban, amelynek az összetétele természetesen egészen



más, mint a szabad levegőé. A talajlevegő általános karakterisztikuma, hogy rendkívül sok  $\text{CO}_2$ -t tartalmaz a talajban lefolyó biológiai bomlási folyamatok eredményeképpen. Hasonlóképpen megtaláljuk benne a N-t és az  $\text{NH}_3$ -t, azután a  $\text{SH}_2$ -t és a  $\text{CH}_4$ -t. A szabad levegő 20·9% O-jével és 0·03  $\text{CO}_2$ -jával szemben a talajlevegő 18—20% O-t és 0·72—8·8%  $\text{CO}_2$ -t tartalmaz. A  $\text{CO}_2$  tartalom természetesen a legnagyobb a nyári hónapokban, mikor a talajban levő mikroorganizmusok működése a legélénkebb.

A talaj  $\text{CO}_2$  tartalmának egy része diffúziós úton a környező levegőrétegbe távozik, ezt a jelenséget a talaj lélekzésének nevezzük, amelyről részletesen az erdőtalaj biológiájának ismertetésekor fogunk szólni.

A talaj levegőkapacitásának a mennyiségbeli kifejezését már az előzőekben kifejtettük. Tájékoztatóul még a következő adatokat közöljük: A kvarchomok levegőkapacitása 41·3%, az agyagé pedig 18·3%.

Általában a talaj morzsás szerkezete elősegíti a talaj jó szellőzöttségét és levegőkapacitását. Egyébként minél kisebbek a talajszemcskék, annál nehezebben szellőződik a talaj. Ennélfogva tehát a talaj morzsás szerkezete, mint már az előbb is említettük, rendkívül fontos tényező a talajok jó biológiai sajátságainál.

f) *A talaj hőmérséklete.* A talaj hőmérsékletét elsősorban a nap sugárzása, illetőleg a nap hőenergiája befolyásolja. Ezenfelül szerepet játszik még a talajban levő mikroorganizmusok életműködése folyamán felszabaduló hő és végül a földkéreg belsejéből kisugárzó nagyobb hőhatás, amely azonban az előző kettőhöz viszonyítva elenyészően csekély. A mikroorganizmusok hőfejlesztését különösen jól láthatjuk és érzékelhetjük akkor, ha trágyázott kerti és mezőgazdasági talajok viselkedését tanulmányozzuk.

A talaj melegedését általában a klimatikus viszonyok, a talaj kémiai összetétele, a talaj hőkapacitása és hővezetése, azután a talaj színe és a talaj hősugárzása befolyásolják, de különösen hegyvidéken a talajnak égtájak szerint való kitétsége is hatással van a felmelegedésre.

A talaj kémiai összetétele annyiban befolyásolja a talaj hőmérsékletét, hogy a talajszemcskéket alkotó vegyületek más és más fajhővel bírván, különbözőképpen viselkednek a talaj által felvehető hőmennyiséggel szemben. Azt a hőmennyiséget, amely szükséges ahhoz, hogy 1 gr anyag hője 1 C° emelkedjék, fajlagos hőnek vagy hőkapacitásnak mondjuk és gramm kalóriákban fejezzük ki. Gramm kalória alatt azt a hőmennyiséget értjük, amely 1 gr 14·5° C víz hőmérsékletét 15·5° C-ra emeli fel.

Ha a víznek a fajhőjét 1-nek vesszük, úgy súly szerint véve a talaj alkotórészeinek fajhője a következő:

tőzeg	0·47,
kvarc homok	0·19,
mészhomok	0·21,
agyag	0·23.



Minél nagyobb a fajlagos hő, annál nehezebben melegszik fel a talaj, minél több pórusral bír, annál kisebb a hőkapacitása és annál könnyebben melegszik fel. Az alföldi homokos területek erős melegedése tehát a homoknak kis hőkapacitásával van összefüggésben. Minél nedvesebb a talaj, annál nehezebben melegszik fel. A kolloidális talajalkotórészek nagy vízlekötő képességüknél fogva a talaj melegedését erősen gátolják. A melegedés természetesen a talajnak víztartalmától is függ. Ha a talaj pórusai vízzel vannak telítve, úgy nehezebben melegedik a talaj, míg ha a pórusok csak levegőt tartalmaznak, könnyebb a melegedésük. Ennél az oknál fogva a homok, amelynek a pórusvolumenje 41·5%, vizesen a legmelegebb és szárazon a leghidegebb, míg a humusz, amelynek 75·4% a pórusvolumenje, nedvesen a leghidegebb és szárazon a legmelegebb.

Nem szabad figyelmen kívül hagynunk azonban azt sem, hogy a vizes talajok melegedésénél még a víz elpárologtatásához elhasznált hőmennyiség is kisebbíti a talaj hőmérsékletét.

A talaj vezetőképessége szintén a talajt képező anyagoktól függ, amelynek értékét az a hőmennyiség adja, amely mp-kint 1 cm<sup>2</sup> keresztmetszetű és 1 cm vastag kockán keresztül megy akkor, ha a kocka két lapja között 1° C hőmérséklet különbség van.

A talaj néhány fontosabb alkotórészeinek hővezető képessége kalóriákban kifejezve a következő: (az adatok a főtengely irányában értendők.)

levegő	0·000054
víz	0·0014
kvarchomok	0·0009
mészke	0·0050
kréta	0·002

Ebből viszont láthatjuk, hogy minél nedvesebb valamelyik talaj, annál jobban vezeti a hőt és viszont minél nagyobb a pórusvolumenje valamely talajnak, minél több benne a levegő, annál rosszabbul vezeti a hőt.

A talaj színe szintén erősen befolyásolja a melegedést. A világos színű talajok csak a sötét sugarakat adszorbeálják, a világosakat visszaverik, míg a sötét színű talajok úgyszólván minden sugarat adszorbeálnak és így az előbbieknél jobban melegednek.

A talaj kisugározása és az így előálló hővesztesség szintén rendkívül változó. Minél nagyobb a talajfelület, annál nagyobb a kisugározás, tehát az erősen szemecskés talajokon a legnagyobb a kisugározás és így a morzsás szerkezet a kisugározás mérvét csökkenti. Különösen derült éjszakákon, tavasszal és ősszel nagyon erős a sugárzás, amely körülmény azután igen sokszor dér és fagy képződésére vezet. Minél rosszabbul vezeti egy talaj a hőt, annál nagyobb a lehülése, miután a rossz



hővezetés következtében az elvesztett hőmennyiséget az alsó rétegekből pótolni nem tudja.

A talaj melegedése egyébként, különösen a mi homokos területeinken rendkívül nagy. Nyáron  $50-60^{\circ}\text{C}$ -t is elérnek, sőt 1928. nyarán Magyar a Duna-Tisza közötti homokos talajokon  $70^{\circ}$ -os felszíni hőmérsékletet is mért. Minthogy azonban a homok nagyon rossz hővezető, már a közvetlen alatta levő talajrétegben is erősen csökken a hőmérséklet. Ez a jelenség magyarázza meg, hogy az Alföldön a növényi élet nem pusztúl ki teljesen.

Általában 1 m mélységben a hőmérséklet napi ingadozásai már nem mutatkoznak, 30 cm mélyen csak 6—8 órai késéssel, 60 cm mélységben pedig csak 14—16 órai késéssel veszi át a talaj a hőmérséklet napi ingadozásait.

A talajhőmérséklet minimumát napfelkeltekor, maximumát pedig délután 1 órakor éri el.

### A talaj kémiai sajátosságai.

a) *A talaj kémiai összetétele.* A talaj kémiai összetétele a talajt borító növényzet szempontjából rendkívül fontos és épen ezért úgy a gyakorlati mezőgazdaságban, mint pedig az erdőgazdaságban a talaj kémiai összetételének ismerete elsőrangú szükséglet.

A talajt alkotó vegyületeket két nagy csoportra oszthatjuk, még pedig a szervetlen és a szerves vegyületek csoportjára. A talaj szervetlen vegyületei a kőzetekből keletkeznek elmállás útján, későbbben pedig ezeket a talajra hulló szerves anyagnak a korhadása gazdagítja. A talajra hullott szerves anyag ugyanis a korhadás folyamata alatt a mikroorganizmusok hatására egy oxidációs égési folyamaton megy át, amelynek a kezdetleges stádiumában a talajt borító humusz keletkezik, későbbben pedig ez a humusz erősebb vegyi változáson menve át, a szerves anyagtól teljesen megszabadul és a benne levő vízben oldható alkotórészeket visszaadja a talajnak.

A humuszt külön fogjuk tárgyalni, most elsősorban a talajt alkotó szervetlen vegyületeket fogjuk ismertetni, amelyek a következők: a vasoxyd, az alumíniumoxyd, a man-



gán és vegyületei, a silícium és ennek vegyületei a szilikátok, a kálium és a nátrium vegyületei, a magnézium vegyületek ( $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ), azután a calcium vegyületek, a mészsók, amelyek közül leggyakrabban a  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  fordulnak elő. Előfordul ezenfelül és nagyon fontos szerepet játszik a talajban a phosphorsav; a metalloidok közül pedig nélkülözhetetlen alkotórészei a talajnak a chlor, kén és nitrogén vegyületei, mely két utóbbi szulfidok és nitrátok alakjában a leggyakoribb.

Hogy ezek az anyagok milyen keveredési arányban foglalnak helyet a különböző talajokban, arra vonatkozólag álljanak itt Vági után a következő adatok:

Homoktalajok 3'00% organikus anyagot, 0'12% nitrogént és 96'88% ásványi alkotórészeket; agyagtalajok 8'54% humuszt, 0'26% nitrogént és 91'20% anorganikus alkotórészt; mésztalajok 11'81% humuszt, 0'25% nitrogént és csak 87'94% anorganikus alkotórészt; végül a humusztalajok 21'4% humuszt, 0'78% nitrogént és csak 77'82% anorganikus alkotórészt tartalmaznak.

Az anorganikus alkotórészek legnagyobb részét a  $\text{SiO}_2$  foglalja el, mely a fenti talajokban sorrendben 92'5%, 54'53%, 25'44% és 52'23%-ot tesz ki. A többi anorganikus alkotórész közül csak az alumíniumoxyd, a vasoxyd és a mész fordul elő nagyobb mennyiségben.

Az $\text{Al}_2\text{O}_3$ a homoktalajokban	1'06%,
az $\text{Al}_2\text{O}_3$ az agyagtalajokban	15'12%,
az $\text{Al}_2\text{O}_3$ a mésztalajokban	6'82%,
az $\text{Al}_2\text{O}_3$ a humusztalajokban	15'02%,
a $\text{Fe}_2\text{O}_3$ a homoktalajokban	0'74%,
a $\text{Fe}_2\text{O}_3$ az agyagtalajokban	4'60%,
a $\text{Fe}_2\text{O}_3$ a mésztalajokban	1'16%,
a $\text{Fe}_2\text{O}_3$ a humusztalajokban	4'11%.
A mész pedig a homoktalajokban	0'17%,
vályogtalajokban	2'86%,
agyagtalajokban	5'97%,
mésztalajokban	29'96%,
humusztalajokban	1'91%.

A többi ásványi alkotórész, mint a mangán, a magnézium, a kálium, nátrium, phosphorsav, chlor és nitrogénvegyületek a talajban már sokkal kisebb mennyiségben fordulnak elő.

A következőkben az egyes kémiai alkotórészeket fogjuk röviden tárgyalni.



A v a s o x y d. A talajban ez a vegyület  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  alakjában szokott leggyakrabban előfordulni és csak ritkábban található  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  alakban. A vasoxydul ( $\text{FeO}$ ) aránylag ritka és csak azokban a mélyebben fekvő talajrétegekben fordul elő, melyek a levegővel nehezen érintkeznek, miután kellő levegő, illetőleg oxgyén hozzájárulásával a vasoxydul azonnal vasoxyddá  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , illetőleg  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -tá alakul át. Minthogy a  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  vegyület rozsdavörös színű, úgy az erősen vastartalmú talajok színe is rozsdavörös szokott lenni. Így pl. a barna és vörös agyagos vagy vályogos talajok 5—10% vasvegyületet tartalmaznak; a laza homoktalajokban pedig már 1%  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  elegendő ahhoz, hogy a homok vöröses színű legyen. Mocsaras vidékeken a vas sokszor olyan nagy mennyiségben fordul elő, hogy egész rétegeket képez, amelyeket gyepvasércnek neveznek. Erdős homoktalajoknál nagyon gyakori jelenség, hogy a  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  az alsó talajrétegekbe mosódik le, miután az ilyen talajban levő telítetlen humusz mint védőkolloid szerepel és ezért a finoman diszpergált  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  nem képes koagulálni. Az ilyen erdőtalajokban nagyobb mélységben találjuk azután meg a vasat tartalmazó réteget.

$\text{Al}(\text{OH})_3$ . Az alumínium és ennek vegyületei elsősorban a talaj anyakőzetének elmállásakor keletkeznek, amikor kavasas vegyületek jönnek létre, később azután az elmállásakor  $\text{Al}(\text{OH})_3$  keletkezik. Ez a kolloidális alumíniumhydroxyd elég könnyen alakul át hydrargillitté, amely az alkáliákat és a Ca sókat jól adszorbeálja és nem mosódik ki.

A m a n g á n a talajban rendszerint karbonátok, szilikátok és oxydul alakjában fordul elő. A mangánbaktériumok (*Chlamydothrix ochracea*, *Crenothrix polyspora*) a talajvizből néha konkréciók alakjában csapják ki.

A k o v a s a v és vegyületei a szilikátok a talajnak legjobban elterjedt alkotó elemei. Ezek elsősorban az anyakőzet elmállása következtében juthatnak a talajba, főképen fizikai elmállás hatására. Belőlük a kémiai elmállásakor felszabaduló kavasav rendszerint kolloidális alakban válik ki, amely új reakciókat hoz létre. A silíciumvegyületek legnagyobb tömeg-



ben kovasavanhydrid ( $\text{SiO}_2$ ) alakjában fordulnak elő a homokos talajokban, amelyeknek legfőbb alkotórészeit képezik.

A kőzeteket alkotó Si vegyületek az u. n. szilikátok, amelyek azonban rendszerint Fe, Al, K, Na és Ca-mal együtt alkotnak vegyületeket, ilyenek pl. az olivin ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ), káliföldpát vagy orthoklas ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), nátronföldpát vagy albit ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), mészföldpát vagy anorthit ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), diopszid [ $\text{Ca Mg}(\text{SiO}_3)_2$ ], tremolit [ $\text{CaMg}_3(\text{SiO}_3)_4$ ], muszkovit [ $\text{K H}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3$ ], közönséges gránát [ $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ ], szteatit [ $\text{H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$ ], kaolin ( $\text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ ).

Ezeken kívül nagyon fontosak a szilikátok közül még az u. n. zeolitok, amelyeknek, mint látni fogjuk, a talajok biokémiai folyamataiban igen nagy fontosságuk van. Ilyenek pl. a natrolit ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) és az analcim ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), amelyek leucitból, nephelinből és földpátokból keletkeznek ezeknek elmállási termékei gyanánt. Fiziológiai szempontból legfontosabb sajátosságuk abban áll, hogyha ezek ammonium vagy káliumvegyületekkel kerülnek érintkezésbe, akkor az  $\text{NH}_4$ -át és a K-ot felveszik, viszont a Ca-t és Na-t leadják, amely jelenséget bázis kicserélődésnek neveznek. A kristályos zeolitoktól abban különböznek az u. n. talajzeolitok, hogy ez utóbbiak nem kristályos szerkezetűek, kémiai szerkezetük azonban pontosan még nem ismeretes.

A szilikátok elmállásakor keletkező egyik legfontosabb vegyület a kaolin, amely legtöbbször kolloidális alakban fordul elő és igen erősen adszorbeálja a talaj bázikus alkotórészeit.

A kálium a talajban különböző földpátokban fordul elő, amelyekből csak nehezen válik le. Könnyebben választható le a víztartalmú szilikátokból, az előbb említett talajzeolitokból. Legtöbb K-t tartalmaznak az agyag és humusztalajok, miután ez utóbbiban a humusz a K-t erősen leköti, legkevésbé pedig a homoktalajok. Nagy átlagban V á g i szerint a homoktalajok 0'04%-ban, a humusztalajok 1'96%-ban, az agyagtalajok 2'60%-ban tartalmazzák.

A nátrium a talajban szintén a szilikátokban fordul elő. Előfordulásának leggyakoribb alakja a  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , azután  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Ez utóbbival a hazánkban is előforduló szikes talajok jellemzésekor még bővebben fogunk foglalkozni. A Na és vegyületei a szárazföldi növények részére nélkülözhetők, sőt a  $\text{NaCl}$  és  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  bizonyos határokon túl mérgezőleg is hatnak a növényekre. Innen ered a sós és szikes talajoknak növénytenyésztésre való alkalmatlan volta.



A magnézium a talajban, mint már említettük, leggyakrabban  $MgCO_3$  alakjában fordul elő, azonban száraz, arid vidékeken és egyes sós talajokban  $MgSO_4$  alakjában is jelentkezik.

A *calcium* vegyületek közül kétség kívül a  $CaCO_3$  játssza a legfontosabb szerepet; ha mennyisége a szokottnál nagyobb, úgy a meszes és márgás talajok keletkeznek. A szénsavasmész nemcsak mint a növény táplálóanyaga fontos, hanem fontos azért is, miután ez a talajban keletkező különböző savakat leköti és közömbösíti és épen ennél a sajátságánál fogva az erdei talajokban is fontos szerepet játszik, miután a telítetlen u. n. savanyú humuszt szintén közömbösíti és ezáltal a növények számára értékes táplálóanyagnak az altalajba való kimosását megakadályozza. A talaj gazdálkodása szempontjából bizonyos fokig hátrányos az, hogy a  $CaCO_3$  nem állandó vegyület. Vízben nem oldódik ugyan, de minthogy a víz állandóan tartalmaz  $CO_2$ -t, illetőleg  $H_2CO_3$ -at, ennek a hatása alatt a  $CaCO_3$ -ból csakhamar  $CaH_2(CO_3)_2$  keletkezik, amely a talaj humuszából a már könnyen bomló u. n. calciumhumatokat alakítja.

A calciumnak egy másik vegyülete, amely a talajban, habár csak kis mennyiségben, szintén előfordul: a gipsz ( $CaSO_4$ ). Ez, ha már előbb nem volt a talajban, úgy legtöbbször a talajban korhadó kéntartalmú vegyületek, így a fehérjék bomlásakor keletkezik, amikor az ott keletkező  $H_2SO_4$  a szénsavasmésszel egyesülve  $CaSO_4$ -á alakul  $H_2SO_4 + CaCO_3 = CaSO_4 + H_2O + CO_2$  egyenlet szerint. A talaj termékenységé szempontjából a nehezen oldódó gipsz nem előnyös, ha nagyobb mennyiségben fordul elő a talajt terméketlenné teszi, kisebb mennyiségben azonban elősegíti a talaj morzsás szerkezetét.

A *phosphorsav*nak ( $H_3PO_4$ ) az anyaköze az apatit, ahonnan rendszerint szénsavas víz hatására oldódik ki. A növények számára a  $H_3PO_4$  nem minden vegyülete vehető fel egyformán; így a  $CaH_4(PO_4)_2$ -ot és a  $Ca_2H_2(PO_4)_2$ -ot közvetlenül veszi fel a növény, míg a  $Ca_3(PO_4)_2$  vegyületet közvetlenül felvenni nem tudja. A phosphorsav legnagyobbbrészt a talaj finom porszerű szemecskéiben van meg, különböző vegyületei közül az apatit-alak a növényekre nézve csekély fontosságú, különben



is igen kevésbé oldható; a calcium, magnézium és vashoz kötött phosphorsav különösen szénsavas vízben oldható, az alumíniumhoz kötött alig oldható. A talajban a phosphorsav mennyiségileg csak kis mértékben fordul elő. Előfordulása rendszerint 0'05—0'2% között váltakozik, de a 0'2% phosphorsavat tartalmazó talaj már erősen phosphorsav tartalmú. A humuszsavak a phosphátokat feloldják és ezért a savanyú humuszos talajokban a phosphorsavas vegyületek dacára nehezen oldható voltak, csakhamar az altalajba mosatnak le. Ez a jelenség magyarázza meg azt, hogy míg lápos talajon a phosphorsavas trágyák kitűnően hatnak, addig homokos talajokon ugyanezen anyagok nehezen oldhatóságuk következtében sokkal lassabban éreztetik hatásukat. Mezőgazdaságilag művelt talajokban a phosphorsavat mesterségesen kell pótolni a phosphátokkal való trágyázással. Az erdőtalajokban viszont a korhadó anyag fehérjeiben és proteidjeiben levő phosphor jut vissza a talajba és ezt veszik azután ismét fel a fák.

A *chlor* a talajban NaCl, kristályos konyhasó alakjában fordul elő. Csakis az arid klímájú talajokban marad meg a NaCl hosszabb ideig, rendszerint régi tenger fenékből képződött talajokban, miután ez a vegyület könnyen oldódik és így csakhamar az altalajba lúgozódik ki. Egyébként a növénytenyészet számára nélkülözhető, sőt nagyobb mennyiségben mérgezőleg hat.

A *kén* a talajban szulfidok, a *nitrogén* pedig nitrátok, nitritek és ammonia alakjában fordul elő. Mindezeknek a vegyületeknek forrása elsősorban a talajra hulló N-tartalmú szerves anyagokban keresendő, amelyek a baktériumok hatására elbomlanak, korhadáson mennek át, amely folyamat alatt ammonia képződik, amely a talajvízzel és a benne levő szénsavval azonnal  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -ot képez, amelyből azután a nitrifikáló baktériumok nitrátokat alkotnak. A nitrátképzés közbeeső stádiuma a nitritek keletkezése, azonban képződhetnek nitritek olyan módon is, hogy a talajban szintén jelenlevő denitrifikáló baktériumok a képezett nitrátokból először  $\text{HNO}_2$ -at és később ezt is elbontva N-t szabadítanak fel. A nitrátok általában vízben kitűnően oldódnak és ezért nagyon gyorsan mosódnak le az altalajba.



A talaj N-tartalmának másik forrása a levegőben levő szabad N, amelyet a talajban élő u. n. N-kötő baktériumok kötnek le oly módon, hogy ebből a N-ből a testüket alkotó fehérjevegyületeket képezik, amelyek azután a baktériumtest elhalása után megint korhadáson mennek át és így a fentebb már vázolt nitrifikációs folyamaton mennek keresztül.

Kisebb mértékben gyarapítja a talaj N-tartalmát a levegőben végbe-menő elektromos kisülés hatására keletkező NO is, amely a levegő O-jének hatására NO<sub>2</sub>-dá oxydáltatik és azután a levegőben levő vízpárák hatására HNO<sub>3</sub>-á alakul át.

A korhadáskor keletkező ammoniát a savanyú talajok túlnyomó részben lekötik mielőtt az még nitrátokká alakulhatna. A különböző talajok ammonia tartalma átlagban 0'0005%—0'002% között mozog, míg salétrom-sav tartalma 0'015%-ot tesz ki.

Fehér vizsgálatai szerint (1929.) az erdei talajnak össz-N és nitrát-N tartalma erős változásoknak van alávetve. A változások időszaki lefolyásával az erdőtalajok biológiájának ismertetésekor fogunk részletesen foglalkozni. Itt tájékozásul csak a következő évi átlagadatokat közöljük:

	Össz-N-tar- talom	Nitrát-N-tar- talom
	1 gr nedves földben	
Lúccsoport a főiskolán (középk.)	0'00306	0'000039
Soproni lúcos (középkorú) . . .	0'00286	0'000043
Soproni sarjerdő . . . . .	0'00208	0'000040

b) *A talaj adszorbcója.* A talaj adszorbcója alatt a talajnak azt képességét értjük, hogy gázokat, folyadékokat, azután szilárd testeket és oldatokból ionokat és kolloidokat lekötni képes és ezeknek az alsóbb rétegekbe való lemosását legalább részben megakadályozza. Ez a jelenség a talajnak részben fizikai, részben pedig kémiai sajátosságán alapszik. A gázoknak lekötését a talaj főképen fizikai befolyásokra végzi el és általában a gázok adszorbcója a talajfelület nagyságával van egyenes arányban. Elsősorban a CO<sub>2</sub>-t és NH<sub>3</sub>-t adszorbeálja a talaj, amely vegyületeknek a lekötését főleg a vashydroxyd és



a humusz anyagok segítik elő. Hasonlóképen az adszorpciós jelenségekhez tartozik az a fizikai tünet is, amikor a kolloidok kolloidokat adszorbeálnak, vagy pedig amikor a talajban levő kristályos testek adszorbeálják a kolloidokat. Ilyen módon, amint ezt már G r a h a m is megfigyelte, a talajban levő homokszemek lekötik a kolloidokat, amelyek az előbbieket hártyszerű burok alakjában veszik körül. Hasonlóképen adszorbeálják a talajok a festékeket is, de adszorbeálják a baktériumokat is, amely jelenség rendkívül fontos az ivóvíznek az u. n. homokszűrők segítségével való tisztításakor. Ugyancsak adszorbeálják a talajok a vizet is, amikor a talajokban található u. n. higroszkopikus víz keletkezik. A talajok adszorpciós jelenségeinek rendkívül nagy jelentősége van a növények számára fontos táplálóanyagok megkötése céljából.

Nevezetesen a talajban oldva vagy oldható állapotban levő növényi táplálóanyagok a talaj víztartó képességének ellenére, egyrészt a talajvíz, másrészt a csapadék, kivált az esővíz nagyobb mennyisége által könnyen elvihetők, illetőleg a talajból kimoshatók volnának, úgyhogy végre a talajban az idők során csak az oldhatatlan vegyületek maradnának meg és a talaj nem volna képes a növények táplálására.

A talaj adszorpciója azonban nem engedi az oldott táplálóanyagok kimosását, hanem azokat legalább részben leköti, ami által a növény táplálására nézve fontos oldat minőségét szabályozza, de egyúttal szabályozólag hat az oldat kémiai összetételére is. Mellőzve az adszorpció különböző tulajdonságait és elsősorban a növények táplálkozását tartva szem előtt, mindenekelőtt a növények táplálására nélkülözhetetlen anyagokat illetőleg óhajtunk az adszorpcióval foglalkozni.

A fizikai adszorpció a szilárd testek felületéhez van kötve és csak úgy érhet el nagyobb értéket, ha a talajszemcskék felülete igen nagy, mint a kolloidális és különösen a szerves anyagokból álló szemcskék felülete. Ennélfogva a talajban az adszorpció a finom ásványi szemcskékhez, a víztartalmú szilikátokhoz és a különböző összetételű kolloidális anyagokhoz van kötve. Ilyen kolloidális anyagok közül a legjelentékenyebbek az amorf szilikátok, kolloidális kovasav, kolloidális vasoxyd és a kolloidális humuszanyagok. Nevezetesen a kolloidális kovasavnak a sókra bomlasztó hatása lehet; különösen a gyenge több bázisú savak, mint a szén-sav, a phosphorsav sóinál tűnik ez ki, amidőn a szilikátok és savanyú sók keletkeznek.

A táplálóanyagok közül legnagyobb mértékben a kálium, ammónia, nátrium, azután kisebb mértékben a calcium és a magnézium, a phosphorsav, gyakran még a kovasav is adszorbeálódnak, ellenben a kénsav, a salétrom-



sav és a sósav egyáltalában nem, vagy csak kis mértékben. Az elősorolt alkáliák és alkáli földfémek akkor is adszorbeálódnak, ha oxydok, de akkor is, ha sók alakjában jutnak a talajba. Ezeken kívül még sok más anyagot is adszorbeál a talaj, nevezetesen cseranyagokat, festékanyagokat, sőt a növényekre mérges hatású fémek sóit is, amelyeknek a humuszos talajok által való energikus adszorbcója menti meg kiváltképen a növényeket a mérgezésről. Liebig és mások az adszorbciót csak fizikai tünetényként fogták fel, ellenben Routenberg, Beyer kémiai folyamattal magyarázták az adszorbciót. Ma már bebizonyítottak vehetjük, hogy az adszorbció lehet fizikai, de lehet kémiai folyamat is, sőt e két folyamat együttes eredménye is.

Ha már most aluminiumot és calciumot tartalmazó talajra oldható alkálisókat, pl. chlorkáliumot öntünk, úgy a kálium egy részét a talaj vízszatartja és az átbocsátott víz a chlorkálium mellett chlorcalciumot fog tartalmazni. Viszont a nátrium és az ammonia, sőt a calcium is kiszoríthatja a káliumot. Az adszorbció tekintetében különbözőképen viselkednek a talajok, úgyhogy az adszorbció mértéke a fentebb közölt sorozattól elütő is lehet, nevezetesen az alkáliák és az alkáliföldfémek oxydjaira és sóira nézve az adszorbció mértéke a következő sorozatban csökken: kálium, ammonia, magnézium, nátrium, calcium. Mind a két sorozatban a calcium nem áll az első között, amiből érthetővé válik, hogy a sóoldatok hozzáadásakor miért jut az oldatba calciumsó és a calciumsóoldatok miért adszorbeálódnak kisebb mértékben. Különben az adszorbció eredménye nagy mértékben függ a talaj minőségétől, a sók természetétől és mennyiségétől.

Mégis nagy általánosságban R a m a n n a fontosabb táplálóanyagok adszorbciójára nézve semleges talajokban a következőket állapítja meg:

1. Phosphorsav, kálium, ammónia erősen, mész, magnézium és kénsav kevésbé, chlór és salétromsav egyáltalában nem adszorbeálódnak.

2. A talajba jutott só teljesen adszorbeálódik, ha közvetlenül leköthető (pl. káliumszilikát és vasoxyd kettős szilikátot alkotnak), vagy ha egy rész lekötődik, a másik pedig oldatlanul választódik le (kettős phosphorsavas calciumból és vasoxydból, phosphorsavas vasoxyd és két vagy három bázisú phosphorsavas calcium alakul), vagy ha a sav és a fém oldhatatlan vegyületet alkotnak (phosphorsavas kálium, vasoxyd és aluminiumszilikátból, phosphorsavas vasoxyd és kálium-aluminium kettős szilikát lesz).

3. A só egy része lekötődik, ellenben a megfelelő mennyiségű anyagok feloldódnak (a kálium lekötődik pl. a chlorkáli-



umból, ellenben megfelelő vegyületekből a nátrium, a calcium, a magnézium feloldódik).

Általában a talajoknak azt a sajátosságát, hogy a különböző táplálólodatokban a K-ot,  $\text{NH}_4$ -t és általában a növény táplálkozása szempontjából fontos bázisokat más kevésbé fontos bázisokkal kicserélheti és visszatarthatja, bázis kicserélődésnek nevezzük. A bázis kicserélődésre jellemző, hogy a talajnak azok a részei, amelyek ezt a bázis kicserélődést végzik (az Al és humuszsav vegyületei) egyáltalában nem mennek oldatba és így a reakcióban közvetlenül nem is vesznek részt. Ezért reakcióképességüket csakis azzal a feltevessel tudjuk magyarázni, hogy azokban a kationok valószínűleg ionizált állapotban vannak.

A bázis kicserélődés szempontjából a legfontosabbak a talajban levő zeolitok. Gans legújabb vizsgálatai szerint az adszorpciós jelenségeket főképen az aluminium szilikátok és az aluminium kettős szilikátok idézik elő. Ezekben a szilikátokban az Al alkáliákhoz és földalkáliákhoz kapcsolódik, pl. K-t véve

—OK  
alapul egy atom Al-ra 3 (OK) csoport esik Al —OK  
—OK

Az aluminium kettős szilikátoknál a bázisok már nem az aluminiumhoz, hanem a kovasavhoz kapcsolódnak. Amíg az egyszerű szilikátoknál a bázis kicserélődést könnyű megmagyarázni, addig a kettős szilikátoknál a bázis kicserélődés már körülményesebb, azonban természetesen itt is előfordulhat, hogy a Ca molekulát a K molekula kiszorítja. Természetesen a K és  $\text{NH}_4$ , amint ezt a talajok savanyodásánál látni fogjuk, ha már a szilikátokban nem áll elegendő Ca rendelkezésre, az Al-ot és Fe-t is eltávolíthatják onnan és oldatba hajthatják, aminek az eredménye az lesz, hogy ezek a gyenge bázisok nem tudják a savgyököket teljes mértékben közömbösíteni és ezért a talaj savanyúvá válik. A bázis kicserélődés kémiai jelenségét a fizikai adszorpcióval szemben abszorpció névvel is jelölik.

Általában az adszorpciót a kolloidális  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  és a humuszanyagok is elősegítik. Ha a talajkolloidokat kicsapjuk, úgy az adszorpciót csökkentjük. A talaj kiszáritásával, minthogy ez a kolloidok kicsapódására vezet, erősen csökken az adszorpció és ezért a nagyon sok vidéken alkalmazott azt a talajjavító módszert, hogy a talajt borító növényzetet leégetik, elsősorban az a jelenség indokolja, hogy a talajkolloidok kicsapódása következtében az általuk lekötött sók felszabadulnak és így a növény gyökerei által felvehetőkké lesznek.



A talaj lekötőképességének a növényekre nézve megvan az a nagy jelentősége, hogy a táplálóanyagok a talajból nem mosatnak ki és azoknak legalább egy része a talajban marad lekötve, továbbá, hogy a talajban levő táplálóanyagok oldatának tömötsége meg van akadályozva, ami által a növény a tömött oldatoknak káros hatását elkerüli. Ez a tömötség csak igen csekély lehet, amint azt már a vízkultúrák is bizonyítják és néhány ezreléket nem léphet túl.

Az egyes talajnemek szerint az adszorbcio rendkívül változó. Általában a homokos talajoknak gyenge, a humuszos, tőzeges és lápos talajoknak nagy az adszorbcios képessége. A mész és márgatalajok főképen a phosphorsavat adszorbeálják, de viszont, ha sok mész van a talajban, ez a K-t szabadítja fel. A talaj adszorbcioját mesterséges talajműveléssel befolyásolni szokták, így pl. a homoktalajok adszorbcioját az agyag, márga, istállótrágya, különböző humuszanyagok hozzáadásával emelni lehet, viszont egyes sók pl.  $\text{CaSO}_4$  jelenléte, de különösen a talaj égetése csökkenti a talaj adszorbcioját.

### A talajok osztályozása.

A talajok osztályozása általában különböző szempontok figyelembe vételével történhetik. Így megkülönböztethetjük a mesterséges és a természetes osztályozást. A mesterséges osztályozás alapjául a talajokat képező anyag mibenléte szolgál, míg a természetes osztályozásnál már számba vesszük azokat a klimatikus tényezőket, amelyek a talaj minőségét kialakítják.

#### A) A talajok mesterséges osztályozása fizikai és kémiai sajátásaik alapján.

1. Köves talajok. Idetartoznak azok a talajok, amelyekben a durvább közettörmelék, illetőleg a durvább kavicstartalom a talajnak kb. 80%-át alkotja.

2. Homoktalajok. Ezek alatt azokat a talajokat értjük, amelyeknek 80—90%-a vízben könnyen leülepedő homokból áll. A homoktalajok lehetnek:

- a) humuszos homoktalajok, amelyek 1—10% humuszt tartalmaznak;
- b) márgás homoktalajok 2—4% mésztartalommal;
- c) vályogos homoktalajok 5—20%-nyi agyagtartalommal;



d) közönséges homoktalajok, amelyek 95% homokot és 5%, vagy még ennél is kevesebb agyagot tartalmaznak; ilyen talajai vannak a németországi erdei fenyveseknek és hangás talajoknak (fenyér, Heide);

e) laza homoktalajok, amelyeknek jellemző sajátja, hogy ezek a szél hatására helyüket változtatják és ezekből alakul ki az u. n. futóhomok. Csonka-Magyarországon nagyon sok ilyen futóhomok területünk van: a Duna-Tisza közén, a Nyírségben, a régi Magyarország területén pedig igen nagy futóhomok területeink voltak Deliblát vidékén. Nagy kiterjedésű futóhomok területek vannak Németországban, továbbá Dániában és a svéd tengerpart egyes részein. Nálunk erdősítéssel kötik meg, amely műveletnek a leggyakoribb fafajai: a feketefenyő, erdeifenyő, ákác stb. Főbb növényei a *Calluna vulgaris*, *Elymus arenarius*, és a *Corynephorus canescens*. A szegedvidéki lazahomokon előfordul a *Festuca vaginata*, *Fumana vulgaris*, *Koeleria glauca*, *Polygonum arenaria*, *Alyssum tortuosum*, *Silene otites*, *Cynodon dactylon*, *Euphorbia Gerardiana*, *Bromus tectorum*, *Calamagrostis epigeios* stb.

3. Vályogtalajok. Vályogtalajok alatt azokat a talajokat értjük, amelyekben 20—50% iszapolható agyag és 80—50% homok van. Ha az agyagtartalom 20% alá csökken, akkor a homokos vályogtalajokról beszélünk. A vályogtalajok alfajai a következők:

a) Humuszos vályogtalaj 5—10%-nyi humusztartalommal; ezek a legjobb mezőgazdasági talajok.

b) Közönséges vályogtalaj 40%-nyi iszapolható málladékkal. A közönséges vályogtalaj kitűnő a lombfák, főleg a *Quercus*, *Fagus*, *Acer* és *Ulmus* fajok számára.

c) Nehéz vályogtalajok 50%-nál nagyobb agyagtartalommal.

d) Homokos vályogtalajok 15—20%-nyi agyaggal.

e) Lössztalajok, amelyek általában kisebb agyagtartalommal bírnak, mint a vályogtalajok, de fizikai sajátjaiknál fogva idesoroljuk őket. Keletkezésük olyan módon képzelhető el, hogy a szél a homokot és port növényzettel borított területre hordja, ahol a növények elkorhadnak, de a nehezebben korhadó és cellulózból álló vázukat meghagyják, amelyekben nagyon sok szénsavas mész marad meg. A lössztalajok a növénytenyésztés szempontjából sok táplálóanyagot tartalmaznak, kapilláris vízvezető képességük kitűnő és morzsás szerkezetük is megfelelő. Éppen ezen jó fizikai sajátjaik következtében kellő trágyázással elsőrangú termőtalajjá alakíthatók át akkor is, ha a táplálóanyagok egyébként hiányoznának belőle. Hazánkban a lösz nagy területeket borít és előfordul úgy Dunántúl mint a Nagy Alföld egyes részein. A legnagyobb kiterjedésű területeket Ázsiában, különösen Kínában alkotja, ahol a lösz több száz méter vastagságú.

4. Agyagtalajok. Az agyagtalajok közé azokat a talajokat so-



roljuk, amelyekben legalább 40—50%-nyi iszapolható alkatrészt találunk. Táplálóanyagokban rendkívül gazdagok, de fizikai sajátságaik következtében különösen mezőgazdasági termelés esetén gondos kezelést kívánnak. Megkülönböztetjük a következő fajait:

a) tiszta agyagtalaj 90%-nyi agyaggal, növénytenyésztésre alkalmatlan,

b) nehéz agyagos talaj 75—90%-nyi agyaggal, nehezen dolgozható,

c) közönséges agyagos talaj 60—75%-nyi iszapolható agyaggal,

d) meszes és márgás agyagtalajok 3—4%-nyi mésztartalommal,

e) humuszos agyagtalajok 5—10%-nyi humusszal, ezek a legkitünőbb mezőgazdasági talajok közé tartoznak,

d) marschtalajok nagyobb folyóknak a tengerbe való betorkolásánál találhatók meg és legfőbb alkotórészüket a folyók által a tengerbe hordott málladékok képezik.

5. Márgás talajok. Ezek közé azok a talajok tartoznak, amelyek 5—50%-nyi meszet és legfeljebb 50% agyagot tartalmaznak. Minőségük szerint megkülönböztetjük

a) a humuszos agyagos márgatalajt, amely mezőgazdasági művelésre kiválóan alkalmas,

b) a közönséges agyagos márgás talajt,

c) a közönséges vályogos márgás talajt, amely 15—20%  $\text{CaCO}_3$ -t, 50—60% agyagot és 25% kvarchomokot tartalmaz, jó minőségű mezőgazdasági talaj, de a Fagus, Acer, Fraxinus és Cornus fajok is jól tenyésznek rajta,

d) a homokos márgatalajt, 15% mésszel és 4—50% iszapolható homokkal.

6. Mésztalajok. Ezekre a talajokra jellemző, hogy mésztartalmuk mindig 50%-nál több, amely sajátságuk élesen megkülönbözteti őket a márgástalajoktól. Néha  $\text{MgCO}_3$  is előfordul bennük. Nem jó talajok, miután a mészen kívül rendszerint nagyon kevés táplálóanyagot tartalmaznak.

A mésztalajoknak a következő fajait különböztetjük meg:

a) Humuszos mésztalaj, különösen a Fagus és Fraxinus fajok kedvelik és huzamosabb időn keresztül másra, mint erdőgazdasági művelésre, nem alkalmas,

b) agyagos mésztalaj 30—50%-nyi agyaggal, különösen a bükkfák nőnek jól rajta, de tenyészik rajta a lóhere, lucerna és a szőlő is,

c) vályogos mésztalaj 30—50%-nyi vályoggal, jó talaj,

d) homokos és köves mésztalaj 15—20%-nyi kavicsot vagy durvább homokot tartalmaz; mezőgazdasági művelésre alkalmatlan, de a Larix decidua és a Pinus nigra jól tenyészik rajta,



e) tiszta mésztalaj, amely rendszerint úgy keletkezik, hogy a humuszos mésztalajról az erdőt letarolják, ilyenkor az eső a humuszt lemossa és ezáltal a talaj elkarsztosodik és erdősítése ilyenkor rendkívül nagy nehézségekkel jár. A horvátországi karszt területek ilyen módon keletkeztek.

Idesoroljuk még a gipsztalajokat, amelyek a mésztalajokhoz nagyon közel állanak, sok bennük a  $\text{CaSO}_4$ ; ezeken a talajokon a Gypsum-félék fordulnak elő.

7. Humusztalajok. Ezekben a talajokban a humusz már jelentékeny mennyiséget ér el és rendszerint 20%-on felül van. A humuszon kívül agyagot, homokot, kavicsot, közettörmelékét és meszet találunk benne. A nagyobb humusztartalom már rontja a talaj fizikai sajátosságait. N-ben ezek a talajok elég gazdagok, azonban ez aránylag nehezen vehető fel a növények által. Ásványi táplálóanyagokban a humusztalajok aránylag szegények. A humusztalajoknak következő alfajait különböztetjük meg:

a) Kerti és szántó humusztalaj. Ez a talaj az előzően tárgyalt talajfajokból keletkezik, ha ezeket istállótrágyával, vagy más szerves anyaggal, esetleg tőzeggel, szalmával vagy erdei alommal gazdagon kezelik. Kítűnő termőtalaj.

b) Füves humusztalaj a folyóvizek mentén levő füves síkságokon keletkezik az itt levő nagy mennyiségű fű elhalása és elkorhadása folytán. Ezek a talajok adják a legjobb kaszálókat. A fák közül különösen a fűz és a nyár kedvelik.

c) Fenyér humusztalaj (Heide). Ennek a talajnak általános sajátága, hogy nagyon sok nyers humuszt tartalmaz és ennél fogva a savanyúsága is nagyon jelentékeny. Jellemző növényei a *Calluna vulgaris* és az *Erica tetralix*, amelyeknek a lombhullása és a korhadása a nyers humuszt létre hozza, azután a *Nardus stricta*, *Vaccinium uliginosum* és *Molinia coerulea* stb.

A fenyérhumusztalajok sorában megkülönböztetjük a tőzeggel borított fenyértalajt és a mullszerű fenyértalajt. A tőzeggel borított fenyértalajra jellemző, hogy ezt egy tömött tőzegtakaró fedi, amely főleg nyers humuszból áll és gombafonalak által sűrűn be van hálózva. Ez alatt a humuszréteg alatt azután világos színű homokréteg következik, melyből a vas a telítetlen humuszkolloidok hatására kimosódik és ez alatt a réteg alatt azután az u. n. kőfok (ortstein) réteget találjuk, amely azáltal keletkezik, hogy a mélyebb rétegekből lemosódott sötét humuszsavak a durvább homokszemeket tömött réteg alakjában lekötik és az u. n. tőzégyszerű kőfokot alkotják. Ez alatt van a tulajdonképeni humusz kőfok, vagy a tulajdonképeni ortstein, amely szintén azáltal keletkezik, hogy a humuszsavak a homokszemeket egymással összekötik. A kőfok néha jelentékeny vastartalommal is bír. Ha a kőfok levegővel jut érintkezésbe, úgy a benne levő savanyú humusz korhadásnak indul és maga a kőfok szétesik.



A mulleszerű fenyértalajokban felületi tőzegréteg már nem képződik, miután ezt főleg a földi giliszták és a rovarok felfalják és így átdolgozott alakjában mint ürülék kerül a talajba. Jellemzi ezeket a területeket a nyers humusz hiánya, továbbá az a körülmény, hogy ezeken a területeken kőfok már nem található.

d) *Erdei humusztalaj*. Az erdei humusztalajokat 3 kategóriába sorozzuk és pedig a bükk-, a tölgy- és a fenyőállományok humusztalajára

A bükkhumusztalaj nálunk nem fejlődik ki jellegzetesen, minthogy a mi éghajlatunk alatt a bükkállományok szerves anyaga gyorsan elkorhad. Azonban Észak-Európában a bükk alatt egy jellegzetes humusztakaró jön létre, amely jelentékeny vastag és néha tőzegesedésbe is átmehet és helyenként kőfok képződés is megfigyelhető. A mullos bükkhumusznak jellemző növényei az *Asperula odorata*, a *Mercurialis perennis* és az *Anemone nemorosa*. A mulhumusz legfontosabb állatai közé tartozik a *Lumbricus terrestris* és a *Lumbricus rubellus* giliszta fajok, amelyeknek a működése a mulhumusz keletkezését nagyban elősegíti. Ha a bükkállományban főleg a humid klíma hatására a jellemző tőzegesedésre hajló bükkhumusz az u. n. bükk-tőzeg keletkezik, ebben az esetben ennek már más a talajtakarója, amely elsősorban a következő növényekből áll: *Aira flexuosa*, *Trientalis europaea*, *Majanthemum bifolium*, *Melampyrum pratense*. A bükk-tőzeget keresztül-kasul járják egy gombának a *Cladosporium humifaciens*-nek a myceliumai. A vakondok és a giliszták ebből a talajból úgyszólván teljesen hiányoznak.

A tölgy erdők humusza rendszerint jóindulatu és mul alakban van jelen. Jellemző növényei az *Anemone*, a *Campanula rotundifolia* és a *Holcus mollis*. Nyugat-Németországban és Dániában az ottani tölgyesekben valószínűleg a humid klíma hatására savanyú és tőzegesedésre hajló humusz keletkezik, amely alatt már a kőfokképződés is megfigyelhető. Természetesen ezekben a talajokban már más növényzet fejlődik ki, mint a *Vaccinium* fajok, a *Melampyrum pratense* és a *Potentilla arenaria*.



A lúcfenyő állabok alatt majdnem minden esetben savanyosodásra és tőzegesedésre hajló humusztakaró keletkezik, amely különösen Észak-Európa humid klímája alatt annyira megvastagodik, hogy a természetes felújítást is gátolja. Helyenként kőfokot is találunk. Hazánkban jobb talajokon természetesen a tőzégképződés nem válik erőssé. Ezen talajok inkább mullosodásra hajlók és a fauna-működésük igen élénk.

Az erdeifenyő állományok alatt különösen idősebb korukban, amikor a ritkulás következtében a talajt dús vegetáció kezdi borítani, megfelelő humusztakaró fejlődik ki, amely különösen Észak- és Északnyugat-Európában savanyúvá lesz és tőzegesedésre hajlik.

e) Lápos talajok. Ezek a talajok szintén a humusztalajok közé tartoznak, azonban ezekben a tőzegesedés már olyan nagymérvűvé vált, hogy a humusztalajoktól erősen eltérő sajátságokat vesznek fel. Nagyon nagy a vízkapacitásuk és ennél fogva levegőkapacitásuk rendkívül kicsivé válik, ami savanyú humusz keletkezésére és további tőzegesedésre vezet. Megkülönböztetjük a réti lápos talajokat, amelyek 2,5%-nyi meszet tartalmaznak, de ezenkívül phosphorsavat, K-t és Na-t is találunk benne és a 0,5%-nál kevesebb meszet tartalmazó moh láptalajokat, amelyekben nagyon kevés K és phosphorsav van. Főleg a *Sphagnum* félék borítják őket és végeredményben fokozott tőzegesedésre hajlanak. A lápos talajok megjavítására több eljárás van, amelyeknek részletes ismertetése azonban már a talajtan feladatai közé tartozik.

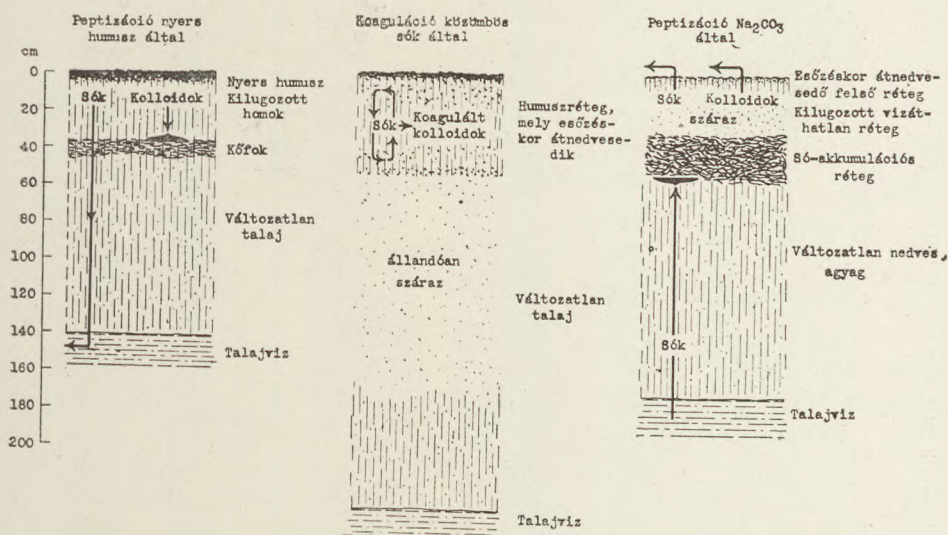
### B) A talajok természetes osztályozása.

A talajok természetes osztályozásának alapjául elsősorban a talajok kialakulására befolyással bíró klimatikus tényezőket vesszük figyelembe. Mi a következőkben a Raman-féle osztályozást vesszük alapul.

A klimatikus tényezők közül a talajok kialakulását leginkább az évi középhőmérséklet és a csapadékviszonyok szabályozzák. Általában, ha közepes hőmérséklet mellett, az évi csapadékmennyiség 200 mm-nél kevesebb, akkor arid klímáról szólunk, ha a csapadék 200–400 mm között mozog, akkor szemi aridnak, 400–500 mm között szemi humidnak és 500 mm-en felül humidnak mondjuk a klímát. (l. 16. és 17. kép).



A humid talajoknak általános jellemző sajátsága, hogy a nagy csapadék következtében a korhadáskor keletkező sók túlnyomó része kimosódik belőle. Az arid talajokban ezzel ellentétben az elmállási termékek az elmállás helyén maradnak, a szivárgó víz nem mossa ki őket és így ezek ásványi sókban gazdagok maradnak.



16. kép.

A humid és arid talajokban lefolyó só és kolloid átváltozásoknak vázlatos ábrázolása. A talajoknak vízvezető részelt merőleges vonalozás jelzi.

Egyébként a talajok természetes osztályozására vonatkozólag röviden közöljük a következő átnézetet.

#### I. A hideg zónák talajai.

1. Humid talajok. A hideg éghajlati zónára jellemző a 200–400 mm-es csapadék és az alacsony hőmérséklet. Idesoroljuk a tundra talajokat, amelyek Európa és Ázsia legészakibb részein fejlődtek ki. Jellemző sajátságuk, hogy a talaj télen átfagy és nyáron az alacsonyabb hőmérséklet következtében a talajnak csak a felső szintjei lesznek fagymentessé, míg az alsó részek fagyottak maradnak. Erdőtlen vidékek, a rajtuk levő vegetáció korhadása, illetőleg később rothadása csakhamar tőzeggel borítja őket. A fák közül egyes északi *Salix*-fajok, így pl. a *Salix lapponum*, azután a *Betula humilis* fordulnak elő rajta. Azonkívül előfordulnak a lápos helyeken a *Festuca ovina* és a *Polygonum*





17. kép.

A humid és arid területek eloszlása Európában. Raman után.



viviparum és a mohok közül egyes *Hylocomium*-fajok. Ahol a tundra dombossá válik, ott tőzegdombok keletkeznek, amelyeket már *Sphagnum* fajok alkotnak. Azonkívül előfordul ilyen helyeken a *Cladonia rangiferina*, *Cetraria nivalis*, *Stereocaulon paschale*, *Polytrichum structum*, *Betula nana*, *Vaccinium uliginosum*, *Empetrum nigrum*, és az *Eriophorum vaginatum*. A tundrákon keletkezett vízmélyedéseket pedig *Comarum*, *Menyanthes*, *Eriophorum vaginatum*, *Carex* és *Polytrichum*-félék borítják.

Idetartoznak azután a repedéses fagytalajok, amelyek főleg magas hegységekben képződnek és a magas hegységi tőzegek és réti talajok és végül idesoroljuk az u. n. alpesi humuszt, amelyhez a mészpokok magas régióiban kifejlődött humusztalaj tartozik. Ez a talaj mésztartalma következtében közömbös reakciójú, néha azonban savanyú reakciójú is lehet. Az Alpokban kiválóan alkalmas a lúcs- és jegegyfenyvesek, továbbá a bükk tenyésztésére.

2. Arid talajok a hideg égőv alatt alig keletkeznek.

## II. A mérsékelt égőv talajai.

A mérsékelt égőv talajneveit két csoportra osztjuk. Az első csoportba tartoznak:

### *A mérsékelt égőv hűvösebb vidékeinek talajai.*

1. Humid talajok. A humid talajok között megkülönböztetjük az északi szürke talajokat és a barna talajokat. Az északi szürke talajokhoz soroljuk a legészakibb termőhelyek homokos humusztalajait, a rájuk nézve jellemző podsol talajokat és ugyancsak idesoroljuk a szürke erdei talajokat, amelyeket a német irodalom „Bleicherde“ névvel jelöl.

A legészakibb szürke talajok a tundrák és a tipikus podsol talajok között terülnek el, főleg Skandináviában és Észak-Németországban találjuk meg őket. Ezek a talajok elég sok humuszt tartalmaznak és minthogy a csapadékvíz a legfinomabb málladákszemeket is kimossa belőlük, többnyire csak homokból és tiszta humuszból állanak.

A tulajdonképeni podsol talajok az északamerikai, észak-európai és észak-ázsiai zárt erdőterületeken terülnek el, ahol összefüggő öveget alkotnak. Ezek a talajok szintén gazdag humusztartalommal bírnak, miután a sok csapadék és az alacsony hőmérséklet következtében a korhadás csak mérsékelt és a humusz felhalmozódik. A podsol elnevezés orosz eredetű s onnan származik, hogy ezeknek a talajoknak színe a hamuhoz hasonlít.\*)

A svéd- és finnországi podsol talajokon a Cajander által meghatározott Myrtillus típus alakult ki, amelynek növényei a követke-

\*) Oroszul a hamut sola-nak mondják.



zók: mohok: *Hylocomium*, *Dicranum*, *Polytrichum*, *Sphagnum*-félék és a *Leucobryum vulgare*; füvek: *Aira flexuosa*, *Calamagrostis*-félék, *Anthoxanthum odoratum*, *Holcus lanatus*; gyomnövények: *Luzula nemorosa*, *Melampyrum pratense*, *Senecio silvaticus*, *Rumex acetosella*, *Pteridium aquilinum*; bokrok: *Rubus idaeus*, *Vaccinium myrtillus*, *Calluna*, *Rhamnus frangula*.

A podsolos talajok Délnyugat-Franciaországban, Írországon, sőt Északnyugat-Spanyolországban is előfordulnak, míg Nyugat-Németországban szintén megtalálhatók. Jobb talajokon a *Populus*ok és a *Quercus*ok is megnőnek, de a nagyon kimosott talajokat fenyér vegetáció borítja. Ilyen pl. a híres németországi Lüneburger-Heide.

A szürke erdei talajok a podsol után következőleg az északi szürke talajok legdélibb zónáját alkotják és átmenetet képeznek a tschernosemhez. Nem állandó talajnem, amely könnyen átalakul podsollá. Főleg lombfaerdők tenyésznek rajta, de az erdeifenyő is megjelenik. A mai Magyarország területén pl. Sopron vidékén is megtalálható, összefüggő talajkomplexumokat pedig a Keleti-Kárpátokban alkot.

A barna erdei talajok, vagy a degradált tschernosem képezi az átmenetet a szürke talajnem és a tschernosem között. Ilyen erdei talajok nálunk az Alföld pereme körüli dombos hegységekben találhatók, különösen Fehér, Veszprém, Somogy, Vas, Zala, Baranya és Sopron megyékben fordulnak elő. A Duna és Tisza között és a Tiszántúl hiányoznak.

2. Szemi arid talajok. A podsol és a szürke erdei talaj zónájától délre, Romániától kezdve egész Mandzsuriáig terjedő sávon már valódi mezőségi (steppe) éghajlat uralkodik. Ebben az övben északabbra a fekete mezőségi talaj: a tschernosem, délebbre pedig a gesztenyebarna talajok fordulnak elő.

A tschernosem legjellemzőbb kifejlődését a déloroszországi és szibériai steppék kontinentális éghajlata alatt éri el. Ezeken a területeken az évi csapadékmennyiség ugyan alig éri el a 450 mm-t, azonban ez túlnyomó részben az őszi és téli hónapokban esik le, itt megmarad és azután tavasszal rendkívül bő füvegetáció fejlődik ki. A bekövetkező nyári szárazság folyamán azután ez a füvegetáció kiszárad. Jellemző a steppére a nagyfokú párolgás, amelyet a talaj kapilláris úton az alulról felfelé szivárgó víz által állandóan fenntart. Az altalajból kapilláris úton felszivárgó víz azután rendkívül sok sót hoz magával. Viszont ősszel és télen a hirtelen lehulló csapadékmennyiség következtében több méter mélységben átmedvesedik ez a talaj. Dacára a rendkívül nagy nyári melegnek, a szárazság következtében elhalt füvegetáció mégsem tud teljes mértékben elkorhadni, miután a téli rendkívüli nagy hidegek ( $-20^{\circ}$ ,  $-30^{\circ}$  C között) a korhadás munkáját teljesen lehetetlenné teszik. Ezért a talaj nagy mennyiségű humuszt tartalmaz, amely humusz fekete színűvé teszi és innét ered az orosz tschernosem név. Az északi tschernosemet még nem



ismerjük eléggé, de úgy látszik, hogy ez csak átmenetet képez a podsolos vagy a szürke talajhoz.

A tschernosemben általában igen nagy a koncentrált sósavban oldható alkotórészek mennyisége, továbbá az organikus anyag, a N és a phosphorsav tartalom. A tschernosem talajok humusztartalma 4—6% között változik, azonban a délebbre fekvő u. n. zsíros tschernosemnél a legfelső szint humusztartalma 10—13%-ra is emelkedhetik.

Oroszországon kívül nagy területeket alkot a tschernosem még Romániában, Galiciában, kisebb szigetek alakjában előfordul Morva- és Csehországban és Közép-Németországban is Magdeburg körül. Az északamerikai prerik talaja szintén tschernosem, azonkívül a tschernosem előfordul Argentiniában is.

Nálunk Magyarországon a tschernosemmel teljesen azonos talaj az erdélyi Mezőségen található. Ennél Ballenegger szerint a humusz 60—70 cm vastag, mely alatt barnás foltokkal tarkított világosabb réteg van, amely azután sárga agyagos altalajba megy át.

A tschernosemmel közel rokon talajokat találunk nálunk Magyarországon is nagy mennyiségben, amelyeknek hazánkban főleg 3 változata fordul elő. Ezek a sötét barna mezőségi talajok a Duna-Tisza között és a Tisza lápterületén, a világosabb mezőségi földek az Alföld árterületein és a világos barna mezőségi talajok, amelyek az Alföldet szegélyező dombokon terülnek el.

A gesztenyebarna talajok a tschernosemtől délre, különösen a Volgától keletre terülnek el széles sávban. Itt a klíma már erősen száraz, úgyhogy ezek a talajok erősen közelednek az arid talajokhoz. Jellegzetes növényei: a *Festuca sulcata*, a *Koeleria gracilis*, *Stipa pennata*, *Bromus inermis*, *Artemisia austriaca*, *Arenaria graminifolia* és *Ferula caspica*.

#### *A mérsékelt égöv melegebb vidékeinek talajai.*

##### 1. Humid talajok.

Barna talajok (Braunerde). Ezek Közép- és Nyugat-Európa legjellemzőbb talajnemei. Előfordulnak Franciaországban, Németország túlnyomó részét alkotják, Olaszországban, Angliában, Dániában, Dél-Svédországban, sőt még Ausztriában is megtalálhatók. Nálunk is előfordulnak, főleg a Dunántúl dombos vidékein. Hazánkban főképen a tulajdonképeni barna erdei talajok találhatók, amelyek ezekhez nagyon közel állanak, de még sem azonosak azzal. Általában a legnagyobb tömegben Németországban fordulnak elő 500—600 mm-es évi csapadék mellett. Barna színüket a bennük levő aránylag kevés humusztól nyerik. Kevés bennük a koagulált humusz, de sok a kolloidális kicsapódású zeolit. Humusztartalmuk kicsinségét az a körülmény magyarázza meg, hogy mikor az uralkodó magas hőmérséklet következtében a korhadás legkedvezőbb, ugyanakkor a kedvező csapadékvizonyok következtében elég víz is kerül a talajba, mely a korhadási termékeket az altalajba mossa.



A barna talajok egyes alfajai közül tájékozásul megemlíti a következőket: Mész talajok, amelyek legnagyobb tömegükben az Adria északkeleti partjain elterülő Karszton foglalnak helyet. Idetartozik azután a Földközi-tenger mentén és a Karszton is előforduló u. n. terra rossa, melynek eredete és képződése még nincsen teljesen felderítve. Nálunk is előfordul egy a terra rossához hasonló vörös talaj: a nyirok, amely Tokaj vidékén és a Mátrában található. Ez a talaj jól tartja a vizet, jó termőképességgel bír és rajta találhatók a legjobb szőlők. A terciárban képződött a riolit tuffa elmállása által, későbbben a jégkorszakban lösz rakódott rá, amelyet későbbben azután a víz elmosott. Van benne Al, Fe, elegendő kvasav, a Ca kimosódott, úgyszintén a Na is, a K visszamaradt és különösen a K-tartalomnak tulajdonítható a nyirok kiváló termőképessége. Ehhez hasonló talajok előfordulnak még a Balaton dombjain, azután a Mecsek, Cserhát és a Bükk-hegységben. Hasonlóképpen ezen mésztalajok egyik változatát képezik a Németországban és Lengyelországban előforduló diluviális márgák és a lengyelországi rendzinák, amely utóbbi Közép-Európában is előfordul. A rendzinák azonban nemcsak mészkő, hanem gipsz és dolomit között is előfordulnak. Hazánkban Sopron vidékén is megtalálhatók.

2. Arid és szemi arid talajok. Idetartoznak mindenekelőtt a barna mezőségi talajok, amelyek az ázsiai gesztenyebarna talajok déli határán alakultak ki. Ezen talaj felszíne világosabb, mint a gesztenyebarna talajé, azonkívül a mélyebb szintekben kötöttebb ennél. Jellegzetes vegetációval bírnak, melyek közül fontosabb a Stipa, Festuca sulcata, Koeleria cristata és az Artemisia maritima.

A szürke mezőségi talajok a mezőségi barna talajoktól délre fordulnak elő és egész Turkesztánt, azután Chivát és Bocharát borítják. Glinka a félsivatagi talajok közé sorolja és szürke félsivatagi talajoknak nevezi őket. A régi történeti korokban, mikor még öntözték őket, kiváló termékenységű talajok voltak. Később az öntözöberendezések tönkrementek és vízhiány következtében jó sajátságait elveszítették. Jellemző növényeik: *Sophora pachycarpa*, *Sophora alopecuroides*, *Psoralea drupacea*, *Rosa berberifolia* Alhagi camelorum, *Ceratocarpus arenarius*, *Anabasis aphylla*, *Peganum harmala*, *Artemisia maritima*, *Artemisia scoparia*, *Artemisia cina*, *Kochia prostrata*, továbbá a Poa és a Hordeum-félék. A szürke mezőségi talaj humusztartalma mindössze 1—2%; rendszerint lösz felett képződnek.

Idetartoznak azután a sós talajok is, amelyek közül nálunk Magyarországon különösen a szikes és szódástalajok játszanak nagy szerepet.

A szike talajok. Turkesztánban a Káspitenger vidékén a tschernosem déli zónájában és a gesztenyebarna zónában úgy az európai, mint az ázsiai Oroszországban, Újmexikóban, Kaliforniában, hazánkban pedig a Duna-Tisza között és Tiszántúl a sóstalajoknak rendkívül jellemző talaj-



tipusaival találkozunk, ezek a szikestalajok. Glinka a szikeseket az ektodynamorph talajok közé sorolja és pedig azok közé, amelyek viszonylag kevés csapadékot kapnak, időnként azonban mégis víz alá kerülnek s ilyenkor vagy a fel- vagy az altalaj túlságos nedvességet vesz fel. A szikestalajok vízben könnyen oldódó sói, főképen a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , továbbá a  $\text{NaHCO}_3$ , a  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  és a  $\text{NaCl}$ , melyek a talajból kéreg alakjában is gyakran kivirágoznak.

Sigmond a magyarországi szikesek leghivatottabb kutatója és ismerője a szikeseket csoportosítva, kötött szikestalajokat és szódástalajokat különböztet meg.

A kötött sziktalajok lehetnek olyanok, amelyek kevés és olyanok, melyek sok vízben oldható só-tartalmaznak; a szódás talajok pedig agyagos-, vályogos- és homokos szódás talajok lehetnek. A kevés és sok só-tartalmazó úgynevezett kötött szik talajok azonosak a Glinka által ismertetett úgynevezett szerkezettel bíró szikesekkel vagy solonetzekkel; a szódástalajok pedig a szerkezetnélküli vagy solonschaktalajokkal.

Solonetz szerkezetű profil található Karczagon a földműves iskola területén.

Ezt a profilt Vági 1924-ben írta le. A területen akkor már 2 éve cukoriszap alkalmazásával mezőgazdasági művelést folytattak nagyszerű eredménnyel.

A szint. Szántott réteg 15—20—25 cm vastag, felső része világosabb, mint az alsó. Szerkezete a sok cukoriszaptól elég porhanyós.

B szint. 45—50—55 cm vastag igen kötött sötétfekeke színű réteg; 50 cm körül a legsötétebb színű és a legkötöttebb. Ez az úgynevezett szikfok, amely a szárazság idején szegletes oszlopforma rögökre esik szét.

A B szint alatt 55—75 cm mélységben egy igen élesen kialakult sós réteg van, amelyben szabad szemmel kristályok láthatók. Ez a sósréteg túlnyomórészt  $\text{CaSO}_4$ -ból áll, de van benne  $\text{MgSO}_4$  és  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  is.

A sós réteg alatt van a  $\text{CaCO}_3$ , ebből azonban már a sós rétegben is van bizonyos mennyiség, amely a mélységgel mindinkább növekszik s végre 116—120 cm mélységben már mészköves réteget képez. Végül ez alatt lösz van, amelyben már kevesebb a só.

Hogy a karcagi solonetzben milyen a só elosztása, arról Treitz ad kimerítő felvilágosítást.

A karcagi solonetzben az ő vizsgálatai alapján 55 cm mélységig teljesen hiányzik a  $\text{CaCO}_3$ ; 60—65 cm mélységben már 9·8%; 90—95 cm mélységben pedig maximális 17·6%, végül 100—105 cm mélységben 16·7%  $\text{CaCO}_3$  volt kimutatható.

A szulfátok közül a  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a talaj felületén is kimutatható, hol 0·02%-ot tesz ki, 25 cm mélységig 0·003—0·006%-ra csökken, 50—65 cm mélységben emelkedik és 0·23—0·2%-ot tesz ki; végül ennél mélyebben ismét csökken és 100—105 cm között már csak 0·08% a  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  tartalom.

A  $\text{CaSO}_4$  50—55 cm mélységig ki sem mutatható, azután hirtelen meg-



jelenik és 60—65 cm között 1'5%-ot tesz ki; 90—95 cm között már 0'16%-ra csökken.

A  $Mg SO_4$  50—55 cm között maximális 0'34%, 100—105 cm között azután 0'04%-ra csökken.

A  $Na Cl$  a talaj színétől egészen 50—55 cm mélységig 0'0068—0'018%-ban fordul elő. Ettől lejjebb azonban hirtelen emelkedik és 70—75 cm között 0'44%-ot ér el. Nagyobb mélységben ugyan már csökken, de 100—105 cm-nél még mindig 0'2%-nyi mennyiségben van.

Igen különleges a karcagi profilban a  $Na_2 CO_3$  és  $Na HCO_3$  elhelyezkedése. A  $Na_2 CO_3$  a talaj színétől 55 cm mélységig nem jelentkezik, innen lejjebb már jelen van és 105 cm mélységben már 0'1%-ot tesz ki. A mélységgel arányosan folytatólag ezentúl is emelkedik. A  $Na HCO_3$  mennyisége szintén növekszik a mélységgel és 105 cm-nél 1'25%-ot tesz ki.

Magyarországon a solonetzszerű szikes talajokat oszlopos, prizmás és göröngyös szerkezetűekre osztjuk, megjegyezvén azonban, hogy ezenfelül solonetzszerű és gyengén solonetzszerű átmeneti talajok szerint is osztályozhatók.

Leghatározottabban és legjobban 'Sigmond tanár írja le a magyarországi solonetz elterjedést. Szerinte solonetzek képezik: 1. a hortobágyi szikes pusztát, 2. a körösmenti kötött szikeseket, 3. a Tisza bal és 4. jobb partján a Bodrog, Sajó és Zagyva mentén előforduló szikterületeket.

1. A hortobágyi szikes pusztát fátlan mezőség, tipikus solonetz, szikfokkal, kérges oszlopos szerkezettel és magas sótartalommal. A sók túlnyomórészt szulfátok;  $Na_2 CO_3$  alig van bennük.

2. A körösmenti kötött szikesek közé tartoznak: a békéscsabai kötött szikesek, a Békéscsabától délkeletre levő szikesek (aradmegyei), a biharmegyei szikesek, a Békéscsabától északkeletre levő szikesek és a Békéscsabától délnyugatra fekvő szikesek.

A békéscsabai szikes terület (Békéscsaba közelében) nagyszerű öntözési eredményei miatt ma egész Európában ismeretes. Itt a kötött sziki mezőség összes fokozatai képviselve vannak. A talajban előforduló sók túlnyomórészt  $Na_2 SO_4$ -ból és kevesebb  $Na_2 CO_3$ -ból és  $Na Cl$ -ből állanak. 'Sigmond ezen szikeket sótartalmuk szerint gyakorlati szempontból 4 osztályra osztja.

I. osztály. Jó gye. A növényzet *Alopecurus pratensis*, *Poa angustifolia*, *Trifolium repens*. II. osztály. Még ad jó szénát. Nagyon elszaporodik a fehérlóhere és a *Poa angustifolia*, ellenben az *Alopecurus pratensis* eltűnik s helyette a *Bromus mollis* lép fel. III. osztály. Már kevésbé jó rész. Jellegzetes növény a *Festuca pseudovina* és a *Medicago lupulina*. IV. osztály. Sótartalma oly nagy, hogy gyakorlatilag hasznavehetetlen. A növényzet: *Matricaria chamomilla*, *Camphorosma ovata*, *Hordeum Gussoneanum*. Az ilyen szikesek csak halastavaknak használhatók.

A Békéscsabától délkeletre levő (aradmegyei) szikesek, Kigyós, Sikló,



Kétegyháza körül. Szerkezetük azonos a békéscsabaival, csak több szóda van bennük. Ezen szíkesek közt nagy területen található termő szik, amelyben nincs káros szóda. Ahol azonban a sziktalajban az összes sótartalom 0'1—0'15%, a szóda pedig 0'06—0'07%, ott már a kukorica kipusztul.

A Békéscsabától északkeletre fekvő szíkesek a (biharmegyei) szíkesek. A talajszelvény itt is határozott solonetz. A felső kilúgzási szint alatt van a középső sötétfekeke vagy barna szikfok, alatta pedig a mészgöbcecsekben gazdag márga. A talajban előforduló sók zöme szulfát, köztük található a kristályos gipsz is; szóda igen kevés van benne.

A Békéscsabától északnyugatra fekvő szíkesek. Ezek Pusztadecs, Csabacsüd, Gyoma, Szarvas és Czibakháza vidékén fordulnak elő. Itt megkülönböztethető a felső 20—25 cm vastag kifakult kilúgzási szint és alatta feltűnő mélyen: 120—130 cm mélységben, a sötétszínű, szurokszerű felhalmozódási szint, amely átmegy a mészgöbceses agyagos márgába. A talaj összes sótartalma 0'03—0'05—0'10% között váltakozik, a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  azonban hiányzik.

A Békéscsabától délnyugatra eső szíkesek (Orosháza, Hódmezővásárhely és Mezöhegyes vidékén). Kérges, oszlopos solonetzek, kevés szódával.

3. A Torontál és Temes megyei szíkesek. Szinte solonetzek, de a felhalmozódási szint nincs 40 cm-nél nagyobb mélységben és itt átmegy a mészgöbceses márgába. A profilban a  $\text{Ca CO}_3$  már a felső szintben is meglátható, a sók túlnyomó részét ellenben a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  képezi.

4. A Tisza jobb partján előforduló szíkesek (a Bodrog, Sajó és Zagyva mentén) még nincsenek tüzetesebben átvizsgálva, de valószínűleg hasonlítanak a körösmenti, vagy a hortobágyi szíkesekhez.

Treitz a magyarországi szíkeseknél fekvésük szerint völgyi és fennsíki szíkeset különböztet meg; azorkívül külön tárgyalja még az ú. n. szürke szíket, mely úgy képződik, hogy a szódatartalmú vízben oldható humusz kolloidok a talajból kioldódnak s így a talaj világos színűvé válik. A szürke szikból a kioldott humusz és agyag fekete, nehezen folyó anyag alakjában a lankán a mélyebb részekre folyik, ahol gyakran 1 m vastag humuszos agyaglerakódás képződik. Ebből a víz csak lassan párolog el, felülete szilárdnak tetszik, rálépve azonban térdig süppedünk bele; nyáron viszont kiszáradva kökemény anyaggá alakul.

Az oroszországi szíkesek között a határozott szerkezettel bíró talajokon kívül természetesen vannak olyanok is, amelyeknél a szerkezet nincs oly markánsan kifejlődve; ezek a solonetzszerű és gyengén solonetzszerű talajok. Ez utóbbiakban az A és B réteg közötti átmenet úgy a szerkezetben, mint a szintben fokozatos.

A szerkezettel bíró solonetz talajokkal szemben a szerkezetnélküli, úgynevezett solonschak sóstalajokban a fennebb említett rétegezést nem találjuk meg. Itt a fel- és altalaj azonos szerkezetű és többnyire nagyobb mennyiségű  $\text{Ca CO}_3$ -ot és  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -ot tartalmaz. Ilyen talajokban egyenletesen 1—1'2% szódát is találhatunk, amely 'S i g m o n d s z e-



rint inkább a környékbeli vízmedencékből került a talajba és csak kis mennyiségben képződött a talajban kémiai úton. Az oroszországi solontschak úgy a barna, mint a tschernosem zónában is megtalálható és aszerint, hogy a talajban a  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , vagy a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  és  $\text{CaCO}_3$  van-e túlsúlyban, chloridos, szulfátos vagy carbonátos solontschakot különböztetünk meg.

Magyarországon a solontschak szódás talajok a Duna és a Tisza között fordulnak elő. Ezeket 'S i g m o n d: 1. a Szeged kistelki, 2. a kiskúnelgyházai, 3. a Duna—Tisza közötti homokterület határain előforduló, 4. a Duna-menti homokterület nyugati határain előforduló és 5. a bácskai területekre osztályozza. Az itt felsorolt szikesek homokon fordulnak elő és sok szódát és  $\text{CaCO}_3$ -ot tartalmaznak.

A szikes talaj részben kémiai tulajdonságai, részben pedig teljesen elrontott fizikai tulajdonságai folytán a növényzet fejlődését úgyszólván teljesen megakadályozhatja. Erősen lúgos tulajdonsága valósággal kiöli a növényzetet, rossz fizikai konstrukciója, azaz kötött szerkezete miatt pedig ellenáll a növény mélybe nyomuló gyökereinek. Ehhez járul még az, hogy a sziktalajok éppen kötött szerkezetük következtében időnként víz alá kerülnek és a hasznos ásványi tápsók, így különösen a phosphorsav és a nitrogénsók kilúgozódnak belőlük, úgyhogy, ha a sziket a talajból el is tudnók távolítani és ha még a fizikai tulajdonságokat meg is tudnók változtatni, még akkor is nagyobb mennyiségű phosphorsavat és nitrogént kellene a talajba vinni, ha azt akarnánk elérni, hogy a növényzet jól fejlődhessen. A szikestalaj termőképessége főképen a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -tartalomtól függ; ha ez bizonyos határérték alatt marad, a talaj alkalmas lehet növénytermesztésre.

'S i g m o n d ebből a szempontból a sziktalajokat régy osztályba sorozza. Az első osztálytól a negyedikig 30 cm mélységig a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -tartalom az I. oszt. kevesebb 0'05%; II. oszt. 0'05—0'10%; III. oszt. 0'10—0'20%; IV. oszt. több 0'20%; 30—120 cm mélységig pedig 0'07, 0'11, 0'18, 0'3% a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -mennyiség. Az összes sótartalom 0—30 cm-ig 0'1—1'0%; 30—120 cm-ig pedig 0'15—0'90% között váltakozik. Az elsőől a harmadik osztályig felsorolt talajok kellő kezeléssel, öntözéssel termőterületekké alakíthatók át, mint ahogy ezt majd később látni fogjuk. A 0'3%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -ot tartalmazó sziktalajok növénytermelésre már nem alkalmasak, az ilyen nagy  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -al bíró talajokat ehelyett tógazdaságra alkalmazzák és erre a célra jól meg is felelnek.

T r e i t z azon állítása, hogy a szikes talajban a nitritek volnának az okai a növények pusztulásának, nem helytálló. F e h é r és V á g i együtt végzett vizsgálatai tudniillik azt mutatják, hogy a talajban maximálisan kimutatott nitrítartalom ezerszerese sem volt még a növényzetre mérgező hatással.

Minthogy a szóda nagyon lúgos tulajdonságú, mérgezőleg hat a növényzetre, azonban mérgező hatását csak a nagyobb mennyiségű szódát tartalmazó, szerkezetnélküli, sós talajokban érezteti. A solonetz szerkezetű talajok nagyrésztében a szóda vagy csak nyomokban, vagy egyáltalában nem

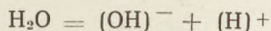


fordul elő, azért az ilyen talajok terméketlenségét nem lehet a szóda jelenlétével megmagyarázni.

A szódának a növények növekedésére gyakorolt hatását illetőleg Fehér és Vági beható vizsgálatokat végeztek. Ezek a vizsgálatok általában azt mutatták, hogy a mezőgazdasági növények, de különösen a gabonaneműek: a búza, a rozs, az árpa és a zab sokkal jobban ellenállnak a szódátartalomnak, mint a fás növények. Ügylátszik, hogy az előbbieket bizonyos mértékben alkalmazkodtak az alkalikus talajokhoz, míg a fás növények inkább a savanyú talajokhoz szoktak hozzá, mert hiszen az erdő-talaj a mérsékelt égöv alatt kétségkívül savanyodási folyamaton megy át.

Ezek a vizsgálatok azt mutatták, hogy 0'4—0'5%-os szódaoldatok laboratóriumi kísérleteknél nemcsak a növények kifejlődését, hanem azoknak még a csirázását is teljes mértékben megakadályozzák. Csak humuszban szegény homokos talajoknál emelkedik ez a mérgezési határ 1'5%-ig. Éppen ezért a szikes talajoknak a befásítása csakis gyengébb szódátartalmú talajokon ígérkezik eredményesnek, természetesen feltételezve azt, hogy sikerül a fásítással kapcsolatos egyéb nehézségeket elsősorban a talaj fizikai megmunkálásával eltüntetni. A növények egyébként a szódát a gyökereiken keresztül veszik fel és amint szintén Fehér és Vági laboratóriumi kísérletei mutatják, ez a szódaadszorbcio a szódaoldatok töménységével párhuzamosan növekedik. A szóda ügylátszik elsősorban a gyökerekben hat és a gyökér élő sejtjeit teszi tönkre és innét terjed azután mérgező hatása a szárban tovább.

Már régóta tudjuk, hogy a szóda, annak dacára, hogy (OH) gyök nem fordul benne elő, lúgos tulajdonságú. Lúgos tulajdonsága által tönkre teszi a növényzet gyökérzetét. Hogy a szóda miért nem közömbös hatású, holott összetétele szerint annak kellene lennie, azt a hydrolyzis jelenségével magyarázhatjuk meg. A  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  két (pozitív töltésű) Na-ionra és egy (negatív töltésű)  $\text{CO}_3$ -ionra bomlik. Az oldó közegként szereplő és teljesen közömbös kémhatású víz azonban szintén disszociál és pedig egy negatív töltésű (OH)-ionra és egy pozitív töltésű H-ionra.



egyenlet szerint. Ez a disszociáció nagyon kicsiny; 10,000.000 liter vízben mindössze 17.008 g (OH) és 1008 g H-ion van disszociált állapotban. Azonban már e kisfokú disszociáció is elegendő ahhoz, hogy előidézzék az ú. n. hydrolyzis jelenségét, amennyiben a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  vizes oldatában lévő Na- és  $\text{CO}_3$ -ionok a víz (OH)- és H-ionjaival egyesülnek és ezáltal NaOH és  $\text{H}_2\text{CO}_3$  képződik. Az így keletkezett lúg és sav azonban szintén disszociálnak és pedig a NaOH erősebben, mint a  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , tekintettel, hogy a NaOH erősebb bázis, mint amilyen erős sav a  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Végeredményben tehát több (OH)<sup>-</sup> van az oldatban, mint (H)<sup>+</sup>, vagyis az oldat lúgos lesz. A  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  vizes oldatában lévő (OH)-ionok azok, amelyek — ha nagyobb mennyiségben van-



nak jelen a szikes talajban — méreg gyanánt hatnak: a növény gyökérzetét megtámadják és a növény elpusztul. Azonban az a feltevés, hogy a szóda volna az egyedüli oka annak, hogy a solonetz talajok olyan kötött szerkezetűvé válnak, ma már — amióta ismeretesek igen kötött solonetz talajok, amelyekben a szóda még nyomokban sem lelhető fel — túlhaladott álláspont. A solonetz talajok kötöttségének és a bennük lévő szikfoknak kialakulása röviden a következőképen megy végbe:

A solontschak talajokban előállhat az az eset, mikor a bennük kialakult humusz-zeolith komplexumokban a Ca- és a Mg-ionokat kicserélik a Na-ionok, ami bekövetkezik, miután a solontschak talajokban igen sok nátriumsó van. Ha már most az ilyen talajból az összes Ca- és Mg-sók kimosódnak, akkor olyan talaj keletkezik, amely alkáli- és mészsókat nem tartalmaz, azonban humusz-zeolith komplexuma Na-al többé-kevésbé telítve van. Ez a Na-al telített talaj vizes oldatban könnyen peptizál és a csapadékvíz hatása alatt kiiszapolódik és alul egy kötött, feketeszínű, humusztartalmú *B*-szintet alkot. Ebben a *B*-szintben azonban a sesquioxidok is felhalmozódnak, miután az ilyen Na-al telített talaj teljes destrúción megy keresztül és belőle a kóvasav, a sesquioxidok és maga a Na is felszabadul. A Na-ion a feltalajban kogaulálja a kóvasavat, amely így a legfelső talajrétegben látszólag felhalmozódik, viszont peptizációban tartja a sesquioxidokat, amelyek a *B* illuviális szintben halmozódnak fel. Ennek az illuviális *B*-szintnek, amely jellemző a solonetzre, szikfok a neve. A szikfok igen kötött réteg, a vizet nem engedi át és megszáradva kökemény. Ilyen módon megszűnik az alsó talajvíz és a legfelső réteg közötti kapcsolat a szóda közreműködése nélkül is. Természetesen, ha a solonetzben szóda is van, az még inkább elősegíti a *B*-szint kialakulását.

A szíkfok fekete színe után az amerikaiak az ilyen szódatalejakat fekete alkálitalajoknak nevezik.

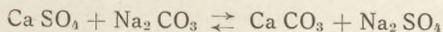
Kevés kérdés okoz annyi fejtörést a tudományos talajkutatás terén, mint az, hogy a nagyobb szódamennyiséget tartalmazó talajokat miként lehetne mező- és erdőgazdasági célokra alkalmassá tenni. Különösen nehéz e probléma megoldása már csak azért is, mert nem ismeretesek teljes számban azok az okok, amelyek a szóda képződésénél számba jönnek, már pedig ezek ismerete nélkül a kérdés tökéletesen nem oldható meg.

Hogy a terméketlen szik talajt termőképpé tessük, először is a szik alkálikus hatását kell kiküszöbölni, de azután még mindig hátra van a fizikai tulajdonságok megjavítása. S ha mindezek elimináltattak volna is, a többi só jelenléte még mindig okozhat károkat, amint ezt pl. az erdei fának a NaCl-al szemben mutatott érzékenysége meggyőzően igazolja. A talajnak nedvességi állapota is gondos mérlegelést kíván, különösen akkor, ha nincs meg a víznek a kellő lefolyása, mert ilyen esetben a területek újból elszikesednek. A kevesebb sziket tartalmazó területeket — ha bizonyos esettel bírnak — öntözéssel kezelik, hogy a vízben könnyen oldódó

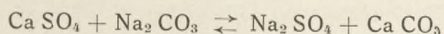


alkálisókat kioldva eltávolítsák a talajból. Ily módon már szép lucernásokat és legelőket létesítettek kellő műtrágyázás — különösen phosphorsav és nitrogén tartalmú sók alkalmazásával. Az ilyen talajok ugyanis, amint már említettem, ásványi tápanyagokban igen szegények. Az öntözés azonban kétélű fegyver, ha nem áll elég víz rendelkezésre és ha a víz kellő lefolyással nem bír. Ez esetben a víz csak bizonyos mélységig nedvesíti át a talajt s e mélyedésbe magával viszi a feltalajból kilúgzott sókat. Miután azonban a mélységben levő rétegek elégtelen esése miatt a só vizes oldata nem tud elfolyni, a feltalaj kiszáradása alkalmával a kapillaritás következtében újból felemelkedik és még az altalajból kioldott sókat is magával hozza. Amerikai szikeseken ezzel az eljárással sok esetben még jobban elrontották a talajokat.

Nagyon szép eredményeket értek el az elszikesedett talajok javításánál gipsz és mészsóval való kezelés által. A gipsz tudniillik



reversibilis egyenlet szerint szénasavas mészre és  $\text{Na}_2 \text{SO}_4$ -re bomlik s így a marószóda legalább a feltalajból eltűnik. De a gipsz ezenfelül is nemcsak a szóda maró hatását szünteti meg, hanem feltűnően javítja a talaj fizikai tulajdonságait: így pl. ha a kemény szikfokból kitörünk egy darabot, gipszporral beszórjuk és az egészet megnedvesítjük, úgy ezen kökemény anyag már egy óra múlva morzsolódní kezd. Két-három nap alatt morzsás szerkezetű tömeget nyerünk a letört próbából, melynek térfogata nagyobb mint az eredeti darabé volt. Ha vizet szűrünk az elmállott tömegen keresztül, a víz egészen tisztán folyik le, jelöl annak, hogy a kolloidok a gipsz hatása alatt koaguláltak többé kolloidális oldatot nem képeznek, a vizet tehát nem tehetik zavarossá, illetve sötétre nem festhetik, de nem is tömí el többé a talajt. A gyakorlatban a gipsszel kezelt talajok valóban megjavultak és könnyebben megdolgozhatókká váltak. Ennek dacára azonban egyes esetekben a gipszezés nem mutat eredményt, amennyiben bizonyos idő múlva a gipsz jó hatása megszűnik. Ez azzal magyarázható, hogy a



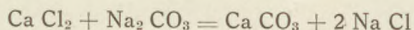
reakció csak akkor megy végbe a jobb oldal irányában, ha a szulfát van túlsúlyban. Ha a carbonát van túlsúlyban, akkor újból szóda keletkezik. Hillgard szerint a gipszezést csak olyan talajokban lehet alkalmazni, ahol  $\text{Na}_2 \text{CO}_3$  van a talajban, mert csak ott látható eredmény. Viszont 'Sigmondnak a pusztadécsi területen, gipszezéssel végzett kísérlete, ahol még nyomokban sem volt kimutatható a  $\text{Na}_2 \text{CO}_3$ , igen jó eredményt mutatott. Ugyanez látható a kígyósi uradalom kísérleteinél is. A gipsznek hatását  $\text{Na}_2 \text{CO}_3$  mentes talajban azzal magyarázzuk, hogy a gipsz a talaj nátrium zeolitjaiból calcium-zeolitokat képez s ezzel kapcsolatosan a talaj jó fizikai tulajdonságokat vesz fel.

Ha  $\text{Na}_2 \text{CO}_3$  tartalmú szikest gipszselnek, pontosan kell tudni a szóda



mennyiségét és a gipszet ehhez képest kell adagolni, mert a túl kevés gipsz nincs hatással. Arra is kellene törekedni, hogy a keletkezett  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -ot kimosással eltávolítsuk a talajból, mert a gipszezés csak ez esetben ad eredményt.

Ehrenberg felveti a kérdést, hogy a  $\text{Ca SO}_4$  helyett nem volna-e célravezetőbb inkább  $\text{Ca Cl}_2$ -ot alkalmazni; ez irányban azonban még nem történtek kísérletek. A  $\text{Ca Cl}_2$  a szódával a következő egyenlet szerint reagál:



Különösen erősen szódás talajoknál volna érdemes a  $\text{Ca Cl}_2$ -dal próbálkozni, mivel a  $\text{Ca Cl}_2$  a kémiai nagy iparban mint melléktermék elég olcsón nyerhető. Nagyszerű eredményeket értek el a solonetz szerkezetű szikesek javításánál cukoriszap segítségével Karcag környékén, ahol az eddig terméketlen talaj rekord termést adott úgy kukoricában mint búzában. A cukormész ( $\text{Ca O}$  és  $\text{Ca CO}_3$ ) hatása már az első évben látható és feltűnő a talajnak megváltozott fizikai szerkezete, amennyiben a kötött talaj porhanyós talajjá alakul át és aránylag igen könnyen szántható.

Szarvas vidékén a nép a szikeseket olyan módon javítja, hogy az altalajban 1—1.5 méter mélységben található sárga földet a „digó földet” hozza fel a talaj színére (digózás.). Ezzel az eljárással azon a vidéken kiertő munkával jó búzatermő talajokat nyertek. A digóföldnek ez a jó hatása a benne levő nagy  $\text{CaCO}_3$  tartalommal magyarázható; 15—20%  $\text{CaCO}_3$ -t tartalmaz mészgöbcecsek alakjában. A digóföldnek javító hatása tehát hasonló okokban rejlik, mint a cukoriszap hatása, mindkettőnél  $\text{CaCO}_3$  a ható anyag.

A szikes talajokat még oly módon is javítják, hogy megakadályozzák az altalajból felkerült sóknak a feltalajban való lerakódását. Amerikában az amerikai lucernávl vetik be sűrűn a talajt, s ez a dús levélzetű növényzet megakadályozza azt, hogy a párolgás a talaj színén következzen be; e helyett a növény levelein keresztül párologtat és a sók a növényben halmozódnak fel, a talaj sótartalma pedig lassan csökken. Sajnos a mi lucernáinkkal ezt nem lehet elérni, mert rendkívül érzékenyek a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  és a többi sóval szemben.

A feltalaj párolgása még oly módon is megakadályozható, hogy a talajt homokkal, istállótrágyával, szalmával, alommal takarjuk, így a talaj felszíne nedves marad, alig van párolgás, tehát a sók az altalajból nem jöhetnek fel nagyobb mennyiségben a feltalajba.

Legújabbban nagy reményeket fűznek különleges amerikai traktorokkal való felszántáshoz, amelyek még a szikfokot is aránylag könnyen tudják feltörni.

Hogy a szikesek nagy része kellő kezelés mellett, mezőgazdasági művelésre alkalmassá válik az biztos; a szikes területeknek befásítása ellenben ma még teljesen nyílt kérdés, pedig az Alföld fában szegény területein kívánatos volna az erdő nagyobb mérvű megtelepítése. Ez a kér-



dés azonban erdőművelési és erdőtenyésztési probléma s azért csak röviden foglalkozunk vele.

A szikeseken való erdőtelepítés rendkívül nehéz, mert erdei fafajaink a szikes talajok só tartalmával szemben igen érzékenyek, továbbá a kötött szikben a szikpadkát gyökereikkel áttörni nem tudják. Ha az erdő telepítés után a fiatalos — mint gyakran tapasztalható — jól fejlődik is, később amint a gyökérzet elérte a sós réteget vagy pedig, mert a szikpadka miatt a gyökerek nem tudnak kifejlődni, hirtelen kipusztul. Innen van azután az, hogy a legkiválóbb botanikusoknak, mint Degen, Cholnoky, Taisz, de még a szikesek fásításával foglalkozó úttörőknek is az a nézete, hogy a szikes fásítás nem, vagy csak igen nehezen fog menni. A kérdés tehát még hosszú kísérletezést igényel; ma még csak azt sem állíthatnánk, hogy tisztában lennénk azzal, milyen fafajokat alkalmazzunk a szik fásításakor. A kérdést ma még — a kísérletezés stádiumában — sziki növényi asszociációk szerint más és más fafajokkal próbálják megoldani.

A szikes talajoknak rendkívül jellemző növényzete van, amelyet újabban a Hortobágyra vonatkozólag kiterjedt vizsgálatok alapján Magyar Pál állított össze. Szerinte a talaj osztályozása szempontjából az alatt felsorolt növényfajok jönnek tekintetbe. Ő ezekből a növényfajokból képezte a talajjellemző növény asszociációit. Itt helyszüke miatt nem foglalkozhatunk ennek részletes tárgyalásával és ezért Magyar eredeti dolgozatára utalunk,<sup>1)</sup> és itt az ő összeállítását csak röviden közöljük.

Az ő vizsgálatai alapján az egyes fajok között szódatűrő képességük szerint a következő fokozatok állapíthatók meg:

1. *Camphorosma ovata*.
2. *Puccinellia limosa*, *Artemisia monogyna*, *Statice Gmelini*, *Festuca pseudovina*, *Plantago tenuiflora*, *Aster pannonicus*, *Matricaria chamomilla*.
3. *Festuca pseudovina*, *Plantago maritima*, *Scorzonera cana*, *Pholiurus pannonicus*, *Hordeum Gussoneanum*, *Atriplex litorale*, *Bassia sedoides*, *Polygonum aviculare*, *Kochia prostrata*, *Eragrostis pilosa*, *Polycnemum arvense*, *Bupleurum tenuissimum*.
4. *Festuca pseudovina*, *Inula britannica*, *Plantago lanceolata*, *Achillea setacea* és *A. collina*, *Agropyron repens*, *Centaurea pannonica*, *Bromus hordeaceus*.
5. *Festuca pseudovina*, *Cynodon dactylon*, *Lotus tenuifolius*, *Alopecurus pratensis*, *Trifolium repens*, *Heleochoa alopecuroides*, *Euphorbia cyparissias*.
6. *Poa angustifolia*, *Lolium perenne*, *Agrostis*

<sup>1)</sup> Magyar Pál: Adatok a Hortobágy növényzociológiai és geobotanikai viszonyaihoz. Erdészeti Kísérletek, XXX. kötet, 1929.



*tenuis*, *Trifolium pratense*, *Ononis spinosa*, *Potentilla reptans*, *Cichorium intybus*, *Eryngium campestre*, *Thymus*, *Galium vernum*, *Andropogon ischaemum*, *Hieracium pilosella*, *Verbena officinalis*, *Taraxacum officinale*.

A felsorolt növénycsoportok alapján a következő osztályozás képezhető:

I. *Poa angustifolia* — *Cynodon dactylon* asszociáció. 5 + 6 csoport növényei. Talaja mezőgazdasági művelésre alkalmas.

II. *Achillea* — *Inula britannica* asszociáció. 4 + 5 csoport növényei (II<sub>1</sub>. osztály). Innen átmenetet képez a következő asszociációhoz a 3 + 4 csoport növényei II<sub>2</sub>. osztály. A II<sub>1</sub>. talaja mezőgazdasági művelésre intenzivebb talajmunkát és trágyázást kíván, míg a II<sub>2</sub>. talaja mezőgazdasági művelésre csak javítással alkalmas.

III. *Festuca pseudovina* asszociáció. A 3. csoport növényei jellemzik a III<sub>1</sub>. osztályt, míg a III<sub>2</sub>. osztály a 3 + 2 + 1 csoport növényeivel átmenetet képez a következő asszociációhoz. Talaja erős mérvű javítással és jó talajmunkával még szántófölddé alakítható.

IV. *Camphorosma ovata* asszociáció. 1 + 2 csoport növényei. Talaja mezőgazdasági művelésre rentábilisan nem javítható.

Magyar szerint a szikfásítás céljaira különösen a következő fajok jöhetnek tekintetbe.<sup>1)</sup>

I. osztályú szikes talajon teljes művelést és talajapolást feltételezve, esetleg mezőgazdasági köztes használat mellett a iásítást a következő fajokkal végezhetjük: *Quercus robur*, *Qu. cerris*, *Ulmus glabra*, *U. levis*, *Fraxinus excelsior*, *Populus virginiana*, *Sophora japonica*, *Juglans nigra*.

II. osztály. Teljes művelés és talajapolás mellett ültethető fajok az előbbieken kívül: *Fraxinus americana*, *Pirus piraster*, *Gleditschia triacanthos*.

II<sub>2</sub>. osztály. Teljes művelés és talajapolás nem elegendő, a talajt már javítani kell mészsízzal (k. holdankint 20—40 tonna), mészpórral (k. holdankint 10—20 tonna) vagy dígófölddel (k. holdankint 120—200 szekérrel). Talajjavítás mellett ültethetők az előző fajok. Javítás nélkül ültethetők: *Ulmus glabra*, *U. levis*, *Fraxinus americana*, *Pirus piraster*, *Elaeagnus angustifolia*.

III<sub>1</sub>. osztály. Intenzivebb talajjavítás (mészsízap k. holdankint 60—80 tonna, mészpórral 30—40 tonna, dígóföld 250—320 szekér), teljes művelés és talajapolás mellett ültethetők a fenti fajok (mint II<sub>1</sub>. osztállynál). Javítás nélkül lehetőleg bakhátas ültetés mellett ültethetők: *Pirus piraster*, *Elaeagnus angustifolia*, *Ulmus glabra* alátele-

<sup>1)</sup> Ujabban a m. kir. Erdészeti Kísérleti Állomás Püspökladányban egy külön kísérleti telepet állított fel a szikfásítás kérdésének kísérleti alapon való vizsgálatára.



pítve *Tamarix tetrandra*-val, *T. odessana*, *Amorpha fruticosa*.

III. osztály. Csak javítás vagy intenzív talajmunka mellett ültethető még a *Tamarix tetrandra* és *T. odessana*.

IV. osztály. Az eddigi tapasztalatok szerint nagy mennyiségű só-tartalmánál fogva fatenyészetre teljesen alkalmatlan.

### III. A szubtropikus éghajlati zóna talajai.

1. Humid talajok. A szubtropikus humidentalajok közé tartoznak a sárga talajok, amelyek világos sárga színűek és a szubtropus éghajlat következtében nagyon kevés humuszt tartalmaznak. Nagyon el vannak terjedve Dél-Franciaországban és Japánban.

2. A szemi arid talajok. Ezek közé tartoznak:

a szubtropikus vörös talajok, amelyek a terra rossahoz hasonlítanak, azonban nemcsak mészkövön fordulnak elő, hanem a legkülönbözőbb anyaközeteken találhatók. Előfordulnak Braziliában, Paraguayban, Uruguayban és Madagaszkár szigetén. A humusztartalom ezeknél is nagyon csekély. Ide számíthatók azután a szubtropikus félsivatagi homoktalajok is, amelyek szintén világos vörös színűek. Ilyen talajok vannak Arábiában, Perzsiában, Kis-Ázsiában és Ausztráliában is.

A szubtropikus fekete talajok közé tartoznak a regur, a tirs és az északamerikai prerik déli öve. A regur Indiának a legjobb termőtalajai közé tartozik, 8–9%-os humusztartalommal bír és termőrétege a 2–5 m vastagságot is eléri. A tirs az Atlanti-Óceán partvidékeinek mélyebb helyein fordul elő. Hasonlít a regurhoz, csak humusztartalma kisebb, 2–3%. Az északamerikai szubtropikus prerik talajok szintén szubtropikus fekete földek, humuszban gazdagok.

3. Teljesen arid talajok. Ezek sivatagi és félsivatagi talajok. A legtöbb sivatag ugyanis a szubtropikus égöv alatt található. A sivatagi éghajlat egészen különleges talajnemeket hoz létre, az u. n. sivatagi és félsivatagi kérgeket. Teljesen terméketlenek, de terméketlenségüket nem annyira az ásványi anyagokban való szegénységük, mint inkább a csapadék teljes hiánya okozza, amely hiány következtében talajélet kifejlődni nem tud. Öntözéssel termőképességük elsőrangúvá válik.

### IV. A forró égöv talajai (tropikus talajok).

1. Humid talajok. Idetartoznak a laterit, a tropikus vörös vályog és a tropikus szürke föld. Ezen talajok éghajlatára jellemző, hogy az évi középhőmérséklet  $+20^{\circ}\text{C}$  és január és július középhőmérséklete között alig van különbség. Ezzel szemben az évi csapadék az év két vagy egy esős évszakában esik le. A magas hőmérséklet és a rendkívül sok csapadék mellett a vegetáció nagyon buja, de dacára annak humusz alig képződik, mert a korhadás folyamatát a magas hőmérséklet rendkívül siettet.



2. A szemi humid talajok közé soroljuk főleg az afrikai szavannák, illetőleg az afrikai steppék talajait, amelyeknél már facsoporok is fordulnak elő.

3. A szemi arid talajok közé pedig a különböző vörös talajokat soroljuk, amelyek Afrika belsejében keletkeznek.

### A talaj biológiája.

A talaj biológiája a mező- és erdőgazdasági tudományok legújabb ága. Csak a legutóbbi időben folytatott vizsgálatok mutatják meg világosan, hogy úgy a mező-, mint az erdőgazdasági termelés keretében a talajban lefolyó biológiai folyamatok milyen fontos szerepet játszanak.

Liebig az agrikulturkémia egyik legkiválóbb művelője mutatott rá először a talajban lefolyó szerves anyagok bomlásának kiváló jelentőségére. Ő mutatta ki legelőször, hogy a talajba jutó szerves anyagoknak szerves anyagból való átalakulása szolgáltatja a mező- és erdőgazdasági növények legfontosabb táplálóanyagait. Tudatlanul az emberiség már a legrégebb idők óta kezdve igyekezett a növények által a talajból elhasznált tápláló anyagokat a trágyázás segítségével pótolni. Később azután az agrikulturkémia előrehaladásával párhuzamosan kezdtek lassan meghonosodni a műtrágyák, azonban Liebig működése után még jóideig, főleg az ő működésének befolyására, az volt az általános nézet, hogy a szerves anyag bomlása és szerves anyagból való átalakulása tisztán kémiai folyamat. Ma már a legújabb vizsgálatok eredményei alapján tisztán áll előttünk az a tény, hogy a szerves anyag korhadás útján szerves anyagból való átalakulása elsősorban a talajban élő mikroorganizmusok által előidézett biokémiai folyamat, amelyben a kémiai folyamat csak a megfelelő mikroorganizmusok működése következtében jön létre.

Már Darwin is figyelmessé lett a talajban lefolyó biológiai folyamatokra. Ő volt az, aki kimutatta a földi gilisztának a növény növekedésére gyakorolt kedvező hatását. Később azután a bakteriológia haladásával kapcsolatban mindinkább ki-kristályosodott a talajban élő mikroorganizmusoknak a korhadásra gyakorolt kiváló hatása. Elsősorban természetesen szük-



séges volt, hogy a bakteriológiai tudomány és annak vizsgálati módszerei a biokémiai vizsgálatokkal párosulva a fejlődésnek azt a fokát érik el, amely lehetővé tette a talajban élő mikro-organizmusok szerepének teljes kikutatását és felderítését.

Ezen a téren a biokémiai tudomány fejlődése a bakteriológiát bizonyos mértékben megelőzte, miután Liebig és iskolája már a XIX. század közepe után eredménnyel mutatta ki azt a mezőgazdasági szempontból rendkívül fontos tényt, hogy a növénytermelés által a talajból elvont táplálóanyagokat megfelelő módon, így elsősorban természetes és azután mesterséges trágyázással pótolni kell. Azonban, amint már említettük, éppen Liebig iskolájának hatására egy rendkívül merev és egyoldalú felfogás fejlődött ki az agrikultúrkémiában, amely a szerves anyag korhadását kizárólag tisztán kémiai folyamatra igyekezett rávezetni és az élő szervezetnek a tevékenységét ezeknek a folyamatoknak elvégzésénél eleve kétségbe vonta.

Jellemző ezen felfogás egyoldalúságára és merevségére az a valóság, hogy ez a felfogás bizonyos mértékben még Pasteur korszakalkotó felfedezéseivel szemben is állást foglalt, amíg azután Koch Róbert fellépése következtében kifejlődött új biológiai irány és ezt követőleg a mezőgazdasági bakteriológiát szorosan érintő kutatások a Liebig-féle iskola helytelenségeit be nem igazolták.

Általában úgy az ókorban, mint a középkorban megtaláljuk már a nyomát, habár csak homályos vázlatokban, az idevonatkozó megismerésnek. Természetesen az akkori felfogás csak az első homályos sejtelmeknek minősíthető, azonban jellemző, hogy ha nem is öntudatosan, de már az ó- és középkorban is tisztában voltak azzal, hogy a hüvelyesek tenyésztése a mezőgazdaságilag művelt talajoknak termőképességét megjavítja és ez a tapasztalati tény szorosan átment azután a mezőgazdasági gyakorlatba. Az oka természetesen egészen Hellriegel, Beijerinck és Wilfahrt (1886., 1888.) kutatásáig világosan kimutatható nem volt.

A talaj biológiájának az ismerete az agrikultúrkémia és a mikroszkóp fejlődésével tartott szorosan lépést. Kircher Atanáz (1601—1680) jezsuita atya tette meg a mikroszkóp felfedezésére vonatkozó első lépé-



seket, de az ő kezdetleges nagyítóját Leeuwenhoek-é (1632—1723) többszörösen felülmúlta, aki már összetett nagyítót készített, amelynek a segítségével az állott vízben élő különböző mikroorganizmusokat sikerült kimutatnia. Kétségkívül Leeuwenhoek ezek között a mikroorganizmusok között már a baktériumok formáit is felismerte. Ugyancsak ő vizsgálta meg legelőször a fogkövekben visszamaradó ételmaradékok mikroorganizmusait. Amilyen mértékben azután vizsgálatai az utat megnyitották, ugyanolyan mértékben fejlődött a mikrotechnika és vele együtt a bakteriológia. Eltekintve a Leeuwenhoek után megjelenő kisebb próbálkozásoktól fontosabb megállapítás csak Schwann (1837.) nevéhez fűződik, aki egész határozottan kimondotta már, hogy úgy az erjedés, mint a rothadás a mikroorganizmusok működésének következménye. A legnagyobb szabású felfedezés ezen a téren azonban Pasteur Louis nevéhez fűződik, aki a modern bakteriológia megalapítása körül a legnagyobb érdemeket szerezte. Ő döntötte meg a Generatio spontanea elméletét, ő volt az, aki a tej-, a vajsav és a carbamid erjedést előidéző baktériumokat felfedezte, azonkívül a mezőgazdasági bakteriológiát illetőleg még egy sereg más rendkívül értékes vizsgálatot is végzett. Az ő működését követőleg különösen a német Cohn Ferdinand (1875), azután Wolley Evald (1888) és végül Koch Robert, aki Pasteur után a XIX. század legnagyobb bakteriológusának nevezhető, tűntek ki. Koch Robert az elsők közé tartozik, aki a talaj mikroflórájával behatódobban foglalkozni kezdett. A vezetése alatt álló császári egészségügyi hivatal Berlinben ezen a téren jelentős munkát végzett. Azután egymást követik az ezen a téren való nevezetesebb felfedezések. Így a már említett Beijerinck különösen a hüvelyesek mikrobaktériumaival foglalkozott és ezen a téren jelentékeny eredményeket ért el. Azután az orosz Winogradsky, továbbá a híres francia kémikus Berthelot, akiknek a nevéhez a talajban lefolyó nitrátképződés fűződik. Hasonlóképpen sokat köszönhet a talaj mikrobiológiájának Hellriegel és Wilfahrt munkásságának, akiknek világosan sikerült bebizonyítani, hogy a hüvelyesek csakugyan és kizárólag a gyökérgumóikban élő mikroorganizmusok segítségével kötik meg a levegő szabad nitrogénjét.

Amint láttuk a talaj biológiájának tudománya elsősorban a francia és német felfedezésekre vezethető vissza. Angliában különösen Frankland és Warington voltak azok, akik a nitrátképződéssel szintén behatóan foglalkoztak. Amint azután ez a tudományág mind nagyobb és nagyobb tért hódított, átjutott Amerikába is és ma az egész művelt világon, ahol a mezőgazdaság fejlesztésén és a termelés fokozásán dolgoznak, a talaj biológiájának tudománya és ismerete egyik legfontosabb alap diszciplínát képezi.

Kétségkívül különösen a bakteriológia rohamos fejlődésének első időszakában a fertőző betegségeket okozó baktériumok kötődtek le az általános figyelmet, azonban ma már a mezőgazdasági bakteriológiának hala-



dása ezt a tudományágat majdnem olyan naggyá és hatalmassá fejlesztette, mint az orvosi bakteriológia.

Általában a talajban élő mikroorganizmusok nemcsak a baktériumok között keresendők. Különösen a következő főbb csoportok azok, amelyek a talajban lefolyó bomlási processzusoknál a legfontosabb szerepet játszzák.

Növényország: Baktériumok, gombák, moszatok.

Állatország: Protozoák és a nem protozoák közé tartozó néhány alacsonyrendű és néhány magasabbrendű állat. A nem protozoák közül elsősorban a következő zoológiai csoportok jönnek tekintetbe: *Nematoda*, *Rotatoria*, *Annelida*, *Tardigrada*, *Arthropoda*, *Arachnoidea*, *Miriapoda*, *Insecta* és *Mollusca*. A magasabbrendű állatok közül mint legjellemzőbbet a gilisztát és a vakondot említjük meg.

Ezek együttvéve adják a talaj élő szervezeteinek összességét, amelyet ma általában *Francé* után *edaphon* néven foglalnak össze.

A következőkben elsősorban a növényországba tartozó baktériumokkal, gombákkal és moszatokkal fogunk foglalkozni.

### Talajbaktériumok.

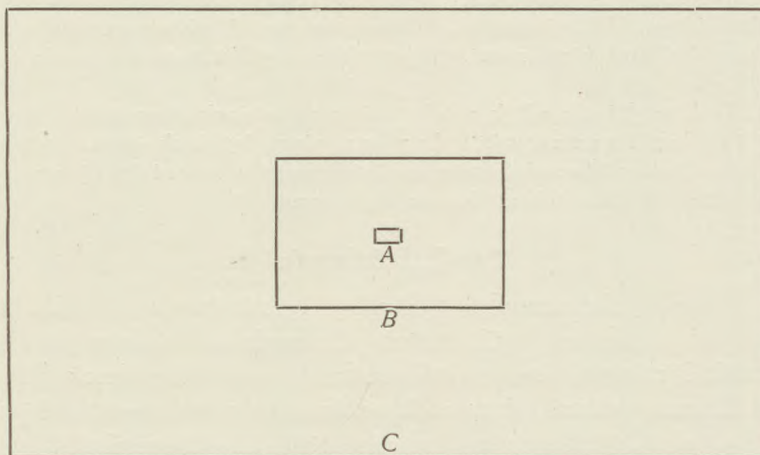
A talajbaktériumok működése a növények táplálkozása szempontjából rendkívül fontos. Ezeknek a mikroorganizmusoknak kicsisége nem szolgál ezeknek az élőlényeknek hátrányul azon élettani folyamatok során, amelyeket ezek elvégezni hivatottak. Ugyanis ezeknek a rendkívül kis élőlényeknek teljes nagyságához viszonyítva az adszorpciós felülete rendkívül nagy. *Löhnis* számításai szerint, ha a baktériumokat kockáknak képzeljük, amely kockáknak az éle  $10\ \mu$ , illetőleg  $1\ \mu$  hosszú, úgy ezekből  $1\ \text{mm}^3$  kockában 1 millió, illetőleg 1000 millió fog helyet foglalni. Ezek összes felülete azonban már 600 illetőleg 6000  $\text{mm}^2$  adszorpciós felülettel rendelkezik az  $1\ \text{mm}$  élű kocka  $6\ \text{mm}^2$  felületével szemben. Tehát a baktériumtestnek 100- illetőleg 1000-szeres megkisebbitése az adszorpciós felület 100- illetőleg 1000-szeres megnagyítását hozza magával. (l. 18. kép.)

Ezeknek a mikroorganizmusoknak biológiai tevékenysége most már a következő módon folyik le: 1. Felbontják a talajra hulló organikus anyagot, amely ezen mikroorganizmusok működése következtében alkotórészeire bomlik és ezek az alkotórészek azután olyan változáson mennek át, hogy a növény gyökerei számára felvehetők lesznek.



A szerves anyag bomlásánál lejátszódó legfontosabb mikrobiológiai folyamatok általában a következők: a) A polysaccharidák így elsősorban a cellulóz bomlása és a szénhidrátok, valamint a zsírok és zsírsavak bomlása, b) a fehérjék és az ezekkel kapcsolatos vegyületek bomlása. (l. 19. kép.)

2. A különböző bomlási termékek feldolgozása, illetőleg oxydálása. Idesoroljuk elsősorban a fehérjék bomlásakor keletkezett  $\text{NH}_3$ -ot nitrítékké és nitrátokká feldolgozó u. n. nitrifi-



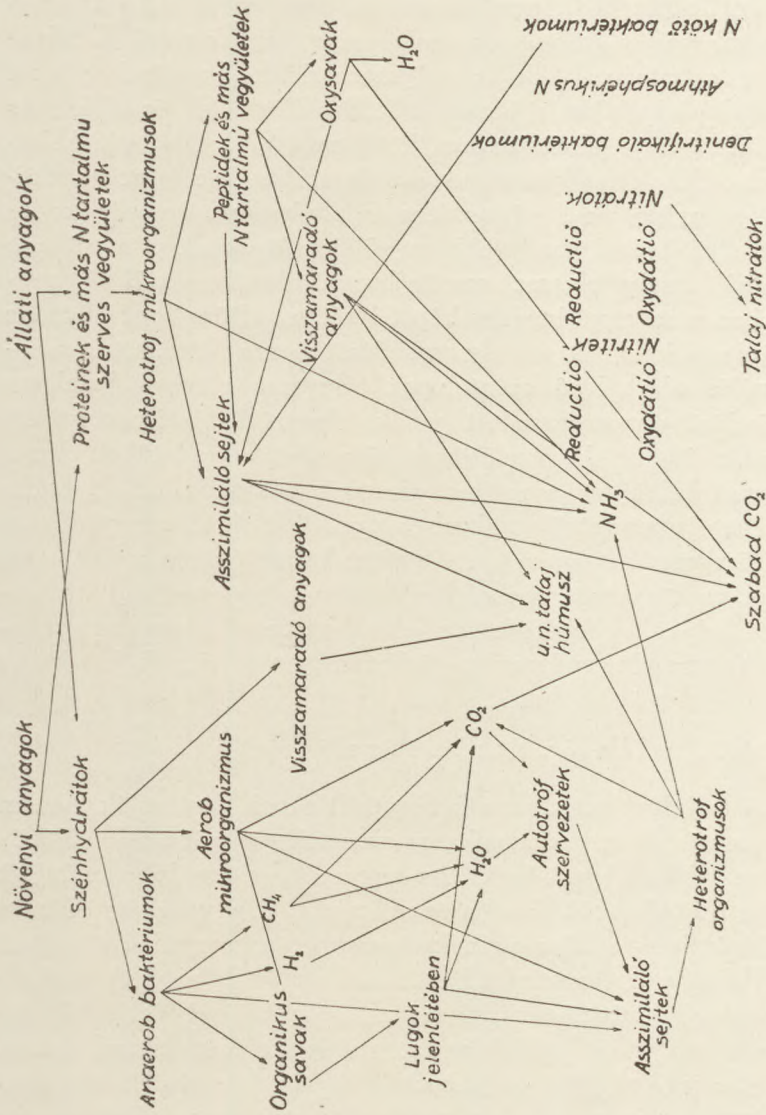
18. kép.

A: Egy 1 mm élű kocka felülete. B: 1 millió  $10 \mu$  élű kocka összfelülete. C: 1000 millió  $1 \mu$  élű kocka összfelülete. Löhnis után.

fikáló baktériumokat, továbbá az ezzel ellentétes folyamatot végző u. n. denitrifikáló baktériumokat.

E baktériumcsoportok működésének részletes tárgyalása előtt tájékozásul megjegyezzük, hogy a szerves anyag bomlása a természetben kétféle folyamat szerint mehet végbe, nevezetesen történhetik ez elegendő mennyiségű O hozzájárulása mellett és történhetik olyan módon is, hogy nem áll elegendő levegő, illetve O a bontást végző mikroorganizmusok rendelkezésére. Az első folyamat az u. n. k o r h á d á s, amelynek folyamán főleg aerob viszonyok között élő mikroorganizmusok működnek közre. Ebben a folyamatban a cellulóz és a szénhidrátok rendszerint maradék nélkül  $\text{CO}_2$ -re és  $\text{H}_2\text{O}$ -re bomlanak. A máso-





19. kép.

A szerves anyag korhadásának vázlatja. Waksman után.



dik folyamatnak, amely jellemző kifejlődését a cellulóznak kellő mennyiségű O hozzájárulása nélkül való felbomlásánál éri el, neve rothadás és jellemző sajátása, hogy ebben főleg anaerob viszonyok között élő mikroorganizmusok vesznek részt. E folyamatban a szénhidrátok és polysaccharidák bomlásakor nem  $\text{CO}_2$  és  $\text{H}_2\text{O}$  keletkezik, hanem a  $\text{H}_2\text{O}$  mellett  $\text{CH}_4$  és pl. kén és N-tartalmú anyagoknál ezeken kívül még  $\text{SH}_2$ ,  $\text{NH}_3$  stb. keletkeznek. Ennek a folyamatnak a polysaccharidák és szénhidrátok bomlásakor most már az lesz az eredménye, hogy O-ben és N-ben C-nál jóval gazdagabb vegyületek távoznak el a rothadó anyagból, amely folyamat azután hosszú időn keresztül végeredményben a savanyú humusz képződését, az eltözegeződést és az illető vegyületeknek az elszenesedését hozza létre. A ma kihasználás alatt levő széntelepek túlnyomó részben hatalmas kiterjedésű elmocsarasodott erdők elpusztult faállományának rothadás útján való bomlásának köszönhetik eredetüket. Ez a folyamat különösen a nedves, vizenyős talajokon, de az erdők talajában is rendkívül gyakori és ezen talajok elsavanyodására és eltözegeződésére vezet. A humusz képződésekor, amint látni fogjuk, ezek az anaerob bomlási folyamatok egymásmellett foglalnak helyet. A fehérjék bomlásánál az aerob és anaerob bomlási folyamatok rendszerint párhuzamosan fejlődnek ki.

#### a) A cellulóz korhadása és rothadása.

A cellulózt nemcsak a koncentrált savak bonthatják, hanem enzyme is, amelyek a mikroszervezetek egy részének életműködése folytán képződnek. Az enzyme neve, amely a cellulózt bontja, illetőleg hidrolizálja: celluláz, amely nagyon sok és alább részletesen felsorolt mikroszervezetben megtalálható, épen a cellulóznak a természet háztartásában biológiai úton való elbontásának fontosságánál fogva. A celluláz nagy ellentállóképességű enzyme, a legtöbb antiszeptikus szer semminemű hatással nincs rá, még 1%-os phenololdatban sem szünteti meg működését, hanem tovább bontja, illetőleg erjeszti a cellulózt. Ennél a tulajdonságánál fogva sikerült a bontáskor keletkező közbeeső és végső termékeket Pringsheimnek kimutatnia az-



által, hogy megfelelő sűrűségű antiszeptikus szer (jodoform) alkalmazásával elérte a baktériumok működésének megszűnését anélkül, hogy ez az enzymek további működését befolyásolta volna. A működő enzymek endoenzymatikus természetűek, amelyek a szervezet közelében levő cellulóz által gyakorolt ingerhatás következtében lépnek ki a szervezetből.

A celluláz által megindított folyamat során először mindig cellobióz (disaccharid) képződik, mely a cellobiáz nevű enzim hatására két molekula szőlőcukorra bomlik. Ehhez a folyamathoz nagymennyiségű energia szükséges, amelyeket a cellulózbontó szervezet, míg a saját maga termelte szőlőcukor rendelkezésére nem áll, más organikus vegyületek szétbontásából nyer, melyek ilyen kis mértékben, mint tisztátalanság még a leggondosabb kezelés mellett is jelen vannak, vagy pedig, ha teljesen tiszta kultúrákkal dolgozunk, az átoltáskor, a cellulózzrostra átvitt nagyobb mennyiségű mikro-szervezet egy részének — a virulencia fokától függően — elpusztulása folytán (autolysis) szabadul fel. Bizonyítja ezt az a jelenség, hogy még egy esetben sem sikerült egy sejtnak cellulózra (rendesen svéd szűrőpapírost használunk eredeti vagy összemorzolt állapotban) való átoltása útján növekedést elérni, ha minden egyéb — természetesen a cellulózon kívül — organikus anyagot a táplálótalajból kiküszöbölünk. Ezt a célt a Winogradsky által e célra először alkalmazott silíciumgel-lemezkultúra segítségével érhetjük el.

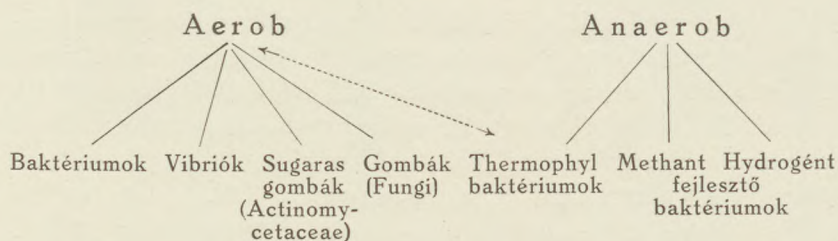
A bontás folytán keletkezett szőlőcukor energiaforrásául szolgál nemcsak a további cellulózbontásnak, hanem a közegben (trágya, talaj) élő többi mikroszervezetnek is. Végső termékek rendesen  $H_2O$  és  $CO_2$ .

A cellulóz szétbontása a növényvilág szempontjából alapvető fontossággal bír, miután az ilyenkor keletkező  $CO_2$  a levegőbe jutva, a növényi asszimilációnak legfontosabb táplálóanyagát képezi.

Különösen fontos ez a folyamat az erdő élete szempontjából, ahol az erdőgazdasági termelés végső produktumát, a fát, közel 50%-ban az elfásodott cellulóz alkotja, amelyet a fák a levegő  $CO_2$ -jából állítanak elő.

A cellulóz bontása a természetben mindig a mikroszervezetek működésének tulajdonítható. Ezek a tudomány mai állása szerint két nagy, fiziológiailag egymástól lényegesen eltérő csoportra oszthatók, az aerob és anaerob cellulózbontók csoportjára. A kettő között foglalnak helyet a fakultatív anaerob thermophyl baktériumok. Az átnézet a következő:





Aerob cellulózbontó baktériumok Tömege-  
sen fordulnak elő a talajban, ahol működésükre a talaj reak-  
ciója van legnagyobb befolyással. Legintenzívebben a neutrális  
vagy gyenge alkalikus reakció mellett, elegendő N-táplálóanyag  
jelenlétében, elegendő oxigén hozzájárulása mellett, látható  
gázképződés nélkül bontják a cellulózt és legtöbbször szerves  
festőanyagokat termelnek. A bontási termékek még nincsenek  
kellőképpen kiderítve. Az első ily irányú kísérletet Van Iter-  
son végezte (1904.), aki egy spóranélküli baktériumot tenyész-  
tett, a *Bacillus ferrugineus*-t, amely egy sárga festő-  
anyagot termelő mikrokokkusszal szimbiózisban bontja a cellu-  
lózt. Ettől az időponttól kezdve nagyon sok aerob baktériumot  
találunk leírva az irodalomban, amelyek tiszta tenyésztete leg-  
többször sikertelen maradt, vagy pedig nem fogadhatók el tel-  
jes kritikai megfontolás után cellulózbontóknak. Így Kellerm-  
ann és utána nagyon sokan a cellulózbontó baktériumok izo-  
lálására oldatból kicsapott, u. n. precipitált cellulózból készült  
ágárt használtak, melyeket azután egyéb normális táplálótalajo-  
kon tovább tenyésztettek és irtak le. Mindezen baktériumok  
azonban visszaoltva cellulózra nem növekedtek, amit Kellerm-  
ann és társai azzal magyaráztak, hogy a mesterséges kultu-  
rában elvesztik a baktériumok cellulózbontó képességüket.  
Pringsheim vonta először kétségbe e baktériumok cellulóz-  
bontó képességét. Az izolálással járó nehézségek az ilyenmű  
munkálatok elvégzését nagyon megnehezítik, annál inkább, mert  
a cellulózcrost a mikroszkópi vizsgálatra, átlátszatlansága miatt  
egysejtkultúra előállítására alkalmatlan.

Bokor legújabb vizsgálatai szerint a cellulózbontóképesség (a spe-  
cifikus enzimtermelés) genotipikus tulajdonság, amely nem vesz el a mes-  
terséges tenyésztés útján, épen azért csak azon baktériumokat fogadhatjuk



el cellulózbontóknak, amelyek tekintet nélkül milyen táplálótalajon tenyésztek, visszaoltva cellulózrost-silíciumgelre a cellulózt mérhető mennyiségben elbontani képesek. Bokor ezeket az aerob baktériumokat fiziológiai tulajdonságaik alapján két csoportra osztja:

1. amelyek csak cellulózon növekednek;
2. amelyek más táplálótalajon is tenyésznek, de visszaoltva cellulózra tovább növekedni képesek.

Közvetlenül a baktériumok után említhetjük meg 1919.-ben Hutchison és Clayton által felfedezett *Spirochaeta cytophaga*-nak nevezett organizmust, amely a későbbi kutatások során az egész világon elterjedtnek és nagyon hatékony cellulózbontónak bizonyult. Nagyon bonyolult életkörfolyamatot állapítottak meg róla, amely szerint a cellulózbontást a *Spirochaeta* alak végezte, míg a fajfenntartást egy kokkusz alak, amely a *Spirochaeta* alakból fejlődött, biztosította. Ezt a fel fogást, hogy egy az állatvilágba tartozó szervezet oly hatékony cellulózbontó tulajdonsággal bírjon, Bokor döntötte meg és vizsgálatai alapján bebizonyította, hogy ez az organizmus morfológiai tulajdonságai alapján a sugaras gombák (*Actinomycetaceae*) csoportjába tartozik, ahol egy új faj (*Mycococcus*) felállítására vezetett. Bokor ezt a származástani szempontból is fontos mikroorganizmust *Mycococcus cytophagus*-nak nevezte el. Az erdő talajában és a szántóföldeken úgyszólván egész Európában el van terjedve és a gombák mellett egyik legfontosabb cellulózbontó mikroszervezet, nemcsak a mezők, hanem az erdők talajában is.

Aerob cellulózbontó baktériumok egyidejű denitrifikációs folyamatok mellett. Van Itersson észrevette, hogy bizonyos baktériumok nitrátok jelenlétében a cellulózt elbontani képesek. Mivel tiszta tenyészetük nem sikerült, Van Itersson után sokáig az a nézet uralkodott, hogy a nitrátoknak anaerob viszonyok mellett nitrogénné történő redukcióját és a cellulózbontást egy és ugyanazon baktérium végzi, miért is denitrifikáló<sup>1)</sup> cellulózbontó baktériumoknak nevezték és az anaerob csoportba sorozták őket. Groene-

<sup>1)</sup> A denitrifikáció fogalmát el kell különítenünk a nitrátredukció fogalmától, bár mindkettő redukciós folyamat, a végső termék azonban az elsőnél szabad nitrogén, míg a másodiknál ammonia. Az első folyamatnál természetesen az energianyerés sokkal nagyobb, mint a másodiknál.



wege (1920.) vizsgálatai szerint azonban ez a folyamat két baktériumnak szimbiotikus együttműködése folytán jön létre, amelyek közül az egyik a nitrátot redukálja és a felszabaduló oxigént a másik ugyanúgy hasznosítja, mintha a levegő oxigénje volna. Ennélfogva ezeket mint külön csoportot a cellulózbontásnál el kell ejtenünk, annál is inkább, mert Groenewegenek sikerült mindkét baktériumot tiszta tenyészetben megfigyelni, amikor is a cellulózbontó baktérium aerobnak bizonyult. A bomlás végső termékei  $N_2$ ,  $CO_2$  és  $H_2O$ . Szerepük a talajban még nincsen egészen tisztázva.

**Vibriók.** A baktériumokkal közel egyenlő nagyságú félhold alakúan egyoldalt görbült szervezetek, amelyek a cellulózt festőanyagok egyidejű képződése mellett gelatinaszerű átlátszó anyaggá változtatják. A színképzés alapján öt fajtát különböztethetünk meg, amelyek a talajokban nagyon hatékonyak.

**Asugaras gombák** csoportjából kevés számú szervezet bizonyult cellulózbontónak és számottevő szerepet azok sem játszanak. A csoport fontosságát az újabban idesorolt, fent már említett *Mycococcus cytophagus* adja meg.

**Gombák.** A tiszta, tehát lignin anyagokkal nem inkrustált cellulózt elegendő N-tartalmú táplálék esetén nagyon erősen bontják az u. n. penészgombák, így az *Aspergillus*-fajok (*A. niger*, *A. Wentii*, *A. oryzae*), a *Penicillium*-fajok. Ezeken kívül egyéb gombáknak (főleg az *Ascomycetes*-ek és *Basidiomycetes*-ek osztályába tartozók) egész légiója ismeretes, amelyek a természetben parazita, vagy saprophyta módon a cellulózt bontják, amelyek közül az erdő talajában különös fontossággal bírnak a *Trichoderma*, *Monilia*, *Trichothecium* stb. fajok.

Az elfásodott cellulóz bontásakor kétféle folyamatot különböztetünk meg C. Wehmer és R. Falck után: a destrukciót és a korróziót. A destrukciót okozó főbb fajok a *Merulius*, *Coniophora*, *Lenzites*, *Poria* stb. A sejtfalakat a tér három irányában támadják meg és kémiaiilag egyenletesen megváltoztatják és a fának kockaalakban való szétesését okozzák. A fa szerkezete teljesen felbomlik; elsősorban a cellulóz tűnik el és a ligninanyagok maradnak meg. A korrózió esetében a gombafonalak az egész fát befonják és az inkrustáló anyagokat feloldják, illetőleg szétroncsolják; a fa állománya nem változik meg, szerkezete nem



esik össze, a súlyvesztés nem számottevő. Itt tehát először a ligninanyagok használatnak fel, míg a cellulóz visszamarad, amelyet azután a többi cellulózbontó organizmus tovább bont. A korróziót okozó gombák szintén javarészt a Basidiomycetesekhez tartoznak (*Fomes annosus*, *Trametes radiciperda*, *Telephora perdix*, *Trametes pini* stb.)

Röviden összefoglalva: az elfásodott anyagok elbontásának vegyi módja két úton mehet végbe: 1. átalakulás sötét, szénben gazdagabb vegyületekké, amelyeket huminanyagok néven foglalhatunk össze; 2. továbbá cellulózzá. Döntő befolyást gyakorol a gomba fajtája.

Mindkét folyamat rendkívül fontos a természet háztartásában, mivel segítségével az elfásodott anyagok visszakerülnek az anyagok körfolyamatába. Eddig ugyanis nem ismerünk még olyan baktériumokat teljes bizonyossággal, amelyek a cellulózt a ligninanyagok kötelékéből kioldani képesek lennének. A destrukciós folyamatot más néven humifikációs folyamatnak is nevezhetnők, mivel végső termékei kémiai sajátásaik alapján az eddig még közelebről meg nem határozott „humusz” gyűjtőnév alá tartoznak. A korrózió útján felszabadult cellulóz pedig a többi organizmusnak szolgálhat további energiaforrással.

A thermophyl baktériumokat a legutolsó években vizsgálták meg behatóbban. A legtöbb közülük 55–65° C között fejti ki a legintenzívebb működését. Általában legjobban anaerob körülmények között működnek, de aerob viszonyok mellett is megélnek, bár ez utóbbi esetben cellulózbontó képességük gyengébb. Tenyésztetők a földből, tehén- és lótrágyából 60° C-nál. A cellulóz bontásakor annál élénkebben működnek, minél kevesebb oxigénnel rendelkeznek, miután ilyenkor a cellulóz szétbontásakor felszabaduló oxigént használják el a lélekzésnél. A cellulóz bontásakor általában itt is  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ , azután zsírsavak (főképen ecet- és hangyasav) keletkeznek. Legújabbban Langwell és Hind egy cellulózbontó baktériumot találtak, amelyet legjobban lótrágyából lehet izolálni, de ügylátszik másutt is előfordul. Ezek a baktériumok szükség esetén szulfátokat is redukálnak. 60–65° C-nál tenyésznek a legjobban és a cellulóz bontásakor  $H_2$ -en, methanon és  $CO_2$ -on kívül még  $C_2H_5OH$ -t, ecet- és tejsavat is fejlesztenek. Egy tonna anyagból 30 m<sup>3</sup> gázt és 550 liter folyékony mellékterméket képeznek.

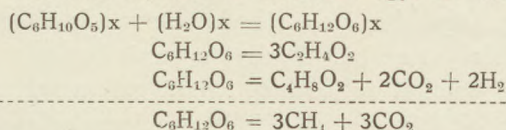
Ezeknek a baktériumoknak a jövőben valószínűleg a cellulózból való mesterséges zsírsav és alkohol gyártásnál is szerepük lesz.

Methanfejlesztő baktériumok. Ezek a baktériumok főleg akkor lépnek működésbe, amikor a cellulóz bom-

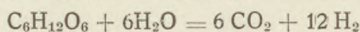


lása anaerob viszonyok között történik. Különösen jellemző ez a folyamat a cellulóznak víz alatt való bomlására. Ilyenkor a tejlődő metángáz buborék alakjában jut a víz felszínére. Ezeket a baktériumokat O m e l i a n s k y tanulmányozta behatóan. A methanos erjedéskor főképp methan,  $\text{CO}_2$ , zsírsavak (főleg vajsav, de amellet hangya-, ecet- és propionsav is) keletkeznek, amelyeknek arányszáma kb. a következő: 43'5%  $\text{CO}_2$ , 6'5% methan és 50% zsírsav.

A cellulóz methanos erjedése a következő egyenlet szerint történik:



vagy hidrogénfejlesztő baktériumok esetén:



Általában a methanfejlesztő mikroorganizmusokat a hidrogénfejlesztő baktériumoktól mesterséges kulturákban elég könnyen el lehet választani, ha pl. a tenyészeteket  $80^\circ\text{C}$ -ra melegítjük, mire a methanbaktériumok működése meggyöngül, vagy pedig egyszerűen úgy, ha az in vitro anaerob feltételek mellett létesített tenyészeteket ismételtén átoltjuk, amikor viszont a hidrogénbaktériumok maradnak fokozatosan el.

Az állatok bélrészeiben az odajutott cellulózt az újabb vizsgálatok szerint úgylátszik szintén baktériumok bontják, a tiszta fermentatív hatásoknak pedig nagyon kevés szerep jut. Ennélfogva tehát a növényevő állatok cellulóz emésztésének az oka úgyszólván kizárólag ezen állatok gyomrának és beleinek gazdag cellulózbontó baktériumflórája. Ilyen baktériumok pl. a *Bacillus methanigenes*, amely methan erjedést idéz elő és a *Bacillus flossicularum*, amely hidrogén erjedést idéz elő. Ebből a szempontból a leggazdagabb bél- és gyomorflórával a kérődző állatok rendelkeznek, míg a Carnivora-k és az ember belében úgyszólván teljesen hiányzanak és ezért ez utóbbiak ürülékében a cellulóz majdnem bontatlanul jut ki.

Hidrogénfejlesztő baktériumok. Ezek rendszert a methanbaktériumokkal közösen jelennek meg és őket



az előbb vázolt módokon lehet az előbbiektől elválasztani. Működésük a methanbaktériumoknál részletezett kémiai egyenletek szerint megy végbe. A hidrogén erjedéskor kb. 4%  $H_2$ , 29%  $CO_2$  és 62% zsírsav keletkezik.

Cuvine újabban az emberi bélből a *Bacillus cellulose dissolvens* nevű mikroorganizmust tenyésztette ki, amely a cellulózt  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $C_2H_5OH$ ,  $CH_3-COOH$ ,  $CH_3-CH_2-CH_2-COOH$  és még barna festőanyagra bontja. Általában e két baktériumfaj tiszta tenyésztése igen nehéz, miután valószínűleg a cellulózt csak több baktériumfaj közös működése képes felbontani. Különösen megnehezíti a tiszta tenyészeteket a nagymérvű savképződés, amelyet hosszabb ideig tartó kísérletek folyamán  $CaCO_3$ -al kell közömbösíteni.

A cellulóznak fermentek által való bontása. Újabb vizsgálatok bizonyítják, hogy a *Helix pomatia* nevű csiga emésztő szerveiben egy fermentum keletkezik, amely a csiga celluláz elnevezést nyerte, miután a természetes cellulózt in vitro felbontani képes. A csigák cellulóz emésztését ez a fermentum végzi. Ez a megállapítás még mindenestre felülvizsgálatra szorul steril kísérletek útján.

A cellulóz bontásának jelentősége a talaj biológiája szempontjából. Az előzők folyamán láttuk, hogy a cellulózbaktériumok tevékenysége és az egyéb mikroorganizmusok életműködése között szoros összefüggés van. Az előbbieket ugyanis az életműködésükhöz szükséges energiát szénhidrátok elégetése útján nyerik. Természetesen ebből a célból a legjobban felhasználható anyagok a különböző vízben oldódó cukrok lennének. Minthogy azonban cukrokkal a talaj csak a legkivételesebb esetekben rendelkezik, nyilvánvaló, hogy ezek a baktériumok energianyerés szempontjából azokat a szénhidrátokat fogják felhasználni, amelyeket a talajban a legnagyobb mennyiségben találják. Ez az anyag a bomlásnak indult cellulóz.

Amint tudjuk a természet háztartásában, valamint a talajok mesterséges trágyázásakor úgy a nitrifikáló, mint pedig a denitrifikáló baktériumok szerepe rendkívül fontos. A nitrifikáló baktériumok egyrészt a talajba mesterségesen juttatott ammoniasókat, másrészt pedig az organikus anyag bomlásakor fej-



lódó ammoniát nitrátokká oxydálják. De az ily módon keletkezett nitrátokat a denitrifikáló baktériumok különösen akkor, ha a talajban túlságos nedvesség következtében anaerob viszonyok uralkodnak, nitráttá, illetőleg szabad nitrogénné alakíthatják át, amely utóbbit a növény többé felhasználni nem tud. Ennek a két ellentétes folyamatnak közvetlen szabályozása mesterséges eszközökkel teljes mértékben még nem lehetséges. Azonban, amint tudjuk, a növény nitrogénfelvétele szempontjából még a levegő szabad nitrogénjét közvetlenül megkötő baktériumok is nagy fontossággal bírnak. Ezeknek a nitrogénkötő baktériumoknak egyik legfontosabb energiaforrása a talajban levő cellulóz. Minthogy azonban ezek a baktériumok a cellulózt közvetlenül felbontani nem tudják, valószínű, hogy akkor, amikor a cellulóznak más baktériumok által való bontásakor átmenetileg cukrok képződnek, ezeket használják fel energiaforrásul. Természetes dolog, hogy ez utóbbi esetben a cellulóznak az elbontása sokkal tökéletesebb és gyorsabb lesz, mint hogyha csak a cellulózbontó baktériumok végeznék az elbontáskor keletkező összes cukroknak utolsó fokig való bontását.

#### b) Egyéb szénhidrátok bontása.

A polysaccharidák mellett természetesen kisebb mennyiségben még más szerves anyagok is jutnak a talajba. Ezek között elsőhelyen kell megemlítenünk a különböző szénhidrátok közül a cukrokat. A cukroknak a felbontásában a legfontosabb szerepet kétségkívül az erjesztő gombák, a különböző *Saccharomyces*-fajok játsszák. Ezeknek a működését az erjedésről szóló fejezetben fogjuk részletesen tárgyalni és ugyanott terjeszkedünk ki a cukroknak és a hozzájuk rokon szénhidrátoknak és esetleg a velük együtt levő alkoholoknak a baktériumok által való bontására is.

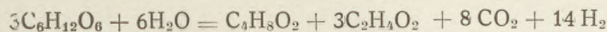
A talajra hulló keményítőt szintén a különböző erjesztő gombák támadják meg és ebben a folyamatban valószínűleg először enzimatisus hatásra, főleg a diasztáz hatására cukrokká alakul át. Schar dinger (1909.) egy különben a pektint bontó baktériumról a *Bac. macerans*-ról kimutatta, hogy ez a keményítőt közvetlenül is megtámadja és belőle kristályos, a Fehling-féle oldatot nem redukáló polysaccharidákat tud alkotni. A cellulózzal együtt szokott előfordulni a pektin is, amely a növény sejtfalának fontos alkotórészét képezi. Ezeket a pektinanyagokat azután egy külön baktériumcsoport bontja, amely baktériumokra jellemző, hogy a bontás műveletét általában a termelt pektináz enzim segítségével végzik el. Egy sereg baktérium, mint pl. a *Bact. coli*, *Bact. typhi*, *Bact. fluorescens*, *Bact. subtilis*, *Bact. mesentericus*, *Bact. mycoides*,



azután a *Bac. phytophthorus* és a *Bac. carotovorus* képesek arra, hogy a pektinanyagokat a pektináz közbejöttével elerjesszék. Ilyenkor a melléktermékek cukrok, amelyek közül leggyakoribbak a galaktóz és az arabinóz.

Amint tudjuk, a pektinanyagok a cellulózzal keveredve képezik a növények sejtfalát. Különösen az elsődleges falrészlet (primär membran) és a sejtek u. n. közép lemeze (Mittel Lamelle), amelyek az egymás mellett fekvő sejteket közvetlenül összekapcsolják, állanak túlnyomórészen a cellulóz molekulák közé berakódott pektin molekulákból. Ennek a falrészletnek a pektinlerjedés útján való oldása a növényi rostok (kender, len) mesterséges feldolgozásánál nagyon fontos szerepet játszik. Az illető növényi részeket ugyanis vízbe áztatják és ezáltal a pektint elerjesztik, amely vajsav, ecetsav,  $\text{CO}_2$  és  $\text{H}_2$  képződése mellett bomlik, azonban átmenetileg hidrolízis folytán cukorrá alakul át. Ugyanezen réteget bontják a mikro-technikában a sejtelemelek szétválasztásánál (maceráció)  $\text{KClO}_3$  és konc.  $\text{HNO}_3$ -al (Schultze-féle maceráció).

Ezen erjedési folyamat valószínű menetét a következő egyenlet mutatja (ha feltételezzük, hogy a hidrolízisnél galaktóz jelentkezett):

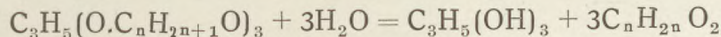


Erős pektinlerjesztő a *Granulobacter pectinovorum*.

A hemicellulóz bontása nagy vonásokban a cellulóznál mondottak alapján megy végbe.

#### c) Zsírok és zsírsavak bontása.

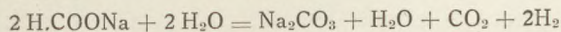
A szénhidrátokon kívül még a növényekben előforduló zsírok és zsíros olajokról is meg kell emlékeznünk. A zsírokat nagyon sok baktériumfaj, közöttük a *Micr. pyogenes*, *Bact. pyocyaneum*, *Bact. prodigiosum*, *Bact. indicum*, *Bact. fluorescens* bontják. Ezek a baktériumok az általuk termelt lipáz nevű enzim hatására a zsírokat először glicerinnre és szabad zsírsavakra bontják a következő egyenlet szerint:



Igy pl. tristearinból glicerinn és stearinsav keletkezik. A zsírsavakat azután szintén különböző baktériumfajok képesek felbontani, illetve elerjesztetni.

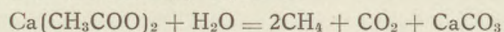
A keletkezett zsírsavak erjedése nagyjában a következő egyenletek szerint megy végbe:

1. A hangyasav ( $\text{H.COOH}$ ) erjedése:

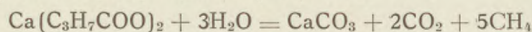




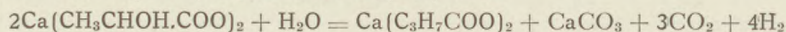
2. Az ecetsav ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) erjedése:



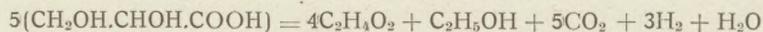
3. A vajsav ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ) erjedése:



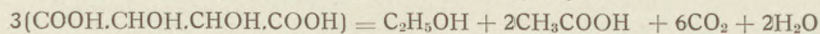
4. A tejsav ( $\text{CH}_3\text{CHOH.COOH}$ ) erjedése:



5. A glicerin-sav ( $\text{CH}_2\text{OH.CHOH.COOH}$ ) erjedése:



6. A borsav ( $\text{COOH.CHOH.CHOH.COOH}$ ) erjedése:



Az alanti táblázat az egyes baktérium fajoknak zsírsavbontó képességét mutatja:

Baktériumfaj	S a v a k													
	Hangyasav	Ecetsav	Propionsav	Oxyecetsav	Tejsav	$\alpha$ -Oxyvajsav	$\beta$ -Oxyvajsav	Glycerinsav	Oxálsav	Malonsav	Borkósav	Fumarsav	Maleinsav	Almasav
Bact. fluorescens	+	+	+	+	+	—	o	+	—	+	+	+	+	+
Bact. pyocyaneum	+	+	+	+	+	—	o	+	—	+	+	+	+	+
Bact. prodigiosum	+	—	—	—	—	—	o	+	—	+	+	+	+	+
Bact. syncyaneum	+	+	+	+	+	—	o	+	—	+	+	+	+	+
Bact. aerogenes	+	—	—	—	—	—	—	+	—	+	+	+	+	+
Bact. pneumoniae	+	—	—	—	—	—	—	+	—	+	+	+	+	+
Bact. coli	+	+	+	+	+	—	—	+	—	+	+	+	+	+
Bact. proteus	+	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—
Bact. enteritidis	+	+	+	—	+	—	—	+	—	—	—	—	—	—
Bact. typhi	+	—	—	—	+	—	—	+	—	—	—	—	—	—
Bac. subtilis	+	—	—	—	o	—	—	+	—	—	—	—	—	—
Bac. mesentericus	+	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—
Bac. anthracis	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Corynebact. diphtheriae	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Vibr. cholerae	—	—	—	—	+	—	—	+	—	—	+	—	—	—

+ = erősen, o = gyengén, — = egyáltalában nem

d) A fehérjék bomlása.

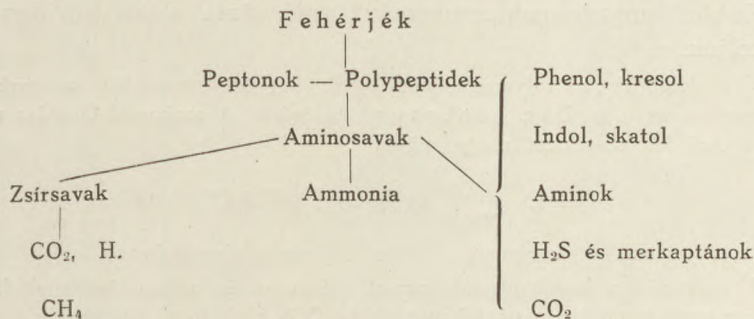
A fehérjék bomlása általában korhadás és rothadás útján szokott végbemenni, azonban ennél a folyamatnál nem lehet olyan éles határvonalat vonni a korhadás és rothadás folyamata között, mint ezt a cellulóz bontásánál megtehettük. Miután a fehérjéknek pontos kémiai összetételét sem ismerjük, úgy ter-



mészetenek ezeknek bomlásakor végbemenő kémiai folyamatokat sem ismerhetjük teljesen exakt pontossággal. A bomláskor általában különböző egyszerűbb és komplikáltabb vegyületek képződnek, amelyek között a legközönségesebbek a  $\text{CO}_2$ , a  $\text{NH}_3$ , a  $\text{SH}_2$ , a  $\text{P}_2\text{H}_5$ , a  $\text{CH}_4$ , azután egyes zsírsavak, aromatikusan savak, végül phenol, skatol, indol, azután putrescin, cadaverin stb..

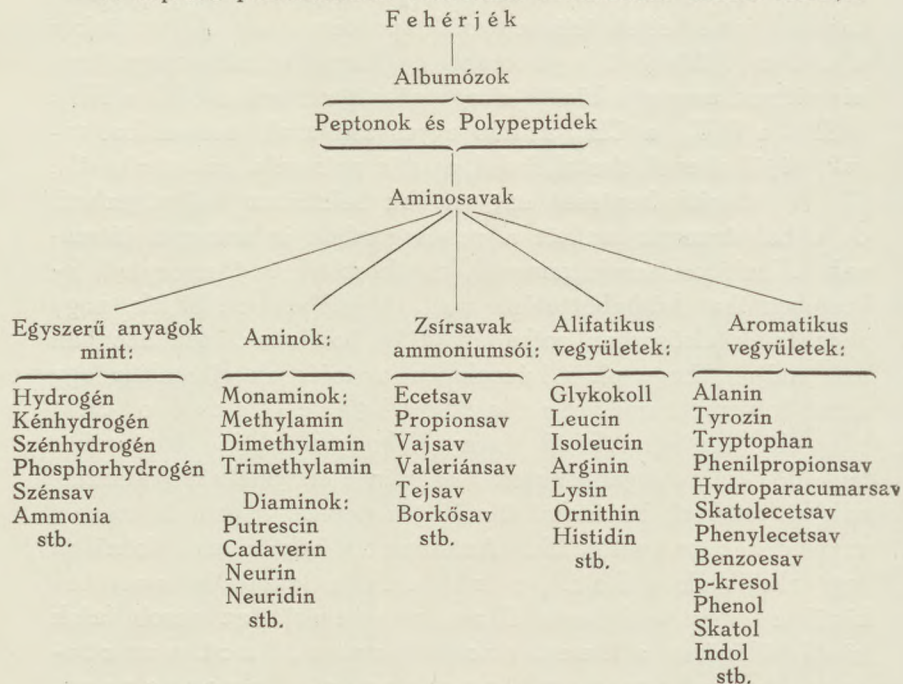
A fehérjék bontását nagyon sok baktérium faj végezheti, de a baktériumok mellett a penészgombák is szerepet játszanak. Általában aerob, anaerob, psychrophyl és thermophyl fehérjebontókat különböztetünk meg. Régebben azt hitték, hogy a fehérjék elsősorban rothadás útján bomlanak, ma azonban már tudjuk, hogy pl. a húsnak és a tojásnak elbomlása egy aerob folyamat, amelyet a *Bact. vulgare* (*Bac. proteus*) idéz elő. Az kétségtől bizonyos, hogy a fehérje bontásakor működő mikroorganizmusok szintén enzimeket választanak ki, amelyek hatásukat illetőleg a pepsin, tripsin és erepsin enzimekhez hasonlíthatók. Az anaerob baktériumok közül a leggyakoribbak a *Bac. putrificus*, a fakultatív anaerobok közül a *Bact. vulgare* (*Bac. proteus*), az aerob fajok közül különösen a *Bact. prodigiosum*, *Bact. punctatum*, *Pseudomonas fluorescens* és *pyocyaneus*, azután a *Bact. coli*, *Bac. subtilis*, *Bac. mycoides*, *Bac. tumescens*, *Bac. sporogenes* stb. A gombák közül pl. az *Oidium lactis* szintén képes a fehérje bontására.

A fehérjebontás menetét egészen nyersen a következő séma mutatja:



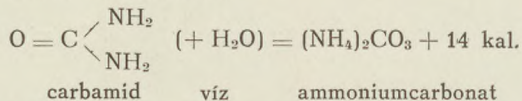


A képződő produktumokat részletesen a következő átnézet mutatja:



A fehérjékben levő N kétségtől végeredményben ammoniává lesz, csak nagyon kevés N marad aminosav alakjában vissza, de a természetben később ezek is ammoniává alakulnak. Éppen ezért a fehérjebomlás további fázisait nagy vonásokban úgy követjük a legjobban, hogyha a fehérje bomlásakor keletkezett különböző anyagoknak ammoniává való átalakulását röviden vázoljuk.

Ezeknek a folyamatoknak egyik legközönségesebbje a carbamid bomlása az u. n. Bac. probatus<sup>1)</sup> hatására. A carbamid bomlása a következő képlet szerint megy végbe:



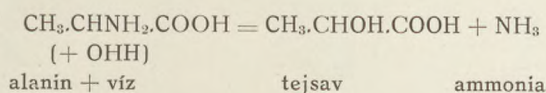
A carbamid a bomlási mód szerint szénsavvá és ammoniává alakul, ami természetesen ammoniumcarbonat  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  alakjában jelentkezik.

<sup>1)</sup> Ugyanezen baktériumfajt az egyes kutatók más és más névvel látták el, egyike a legközönségesebbeknek Urobacillus Pasteuri.

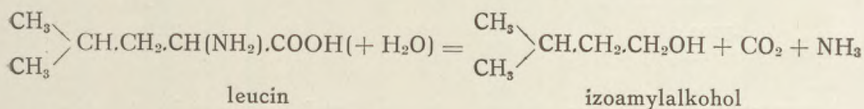


Hasonló módon bomlik az asparagin, amelynek bontását a *Pseudomonas pyocyaneus* hajtja végre, az eredmény asparaginsav és ammonia lesznek. Ezt a folyamatot általában dezamináció névvel jelöljük, miután egy ammonia molekula szokott ennél leválni. Hasonló dezaminációt találunk enzimatis hatásra egyes amidázoknál, ilyen pl. a guaninnak xanthinná való átváltozása a guanáz enzim hatására. Ezek az anyagok természetesen mint a nuklein savaknak bomlási termékei igen fontos szerepet játszanak.

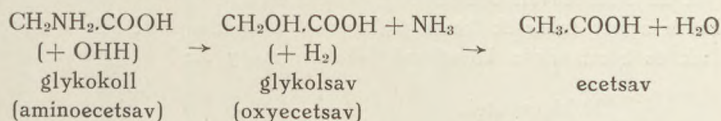
Az aminosavak dezaminációja általában a következő egyenlet szerint megy végbe:



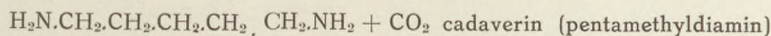
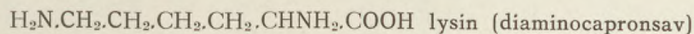
Az aminosavak dezaminációja oxydatív és reduktív úton mehet végbe. Oxydatív dezamináció pl. a leucin átváltozása izoamylalkohollá:



A reduktív dezamináció típusát pedig a glykokollnak ecetsavvá való változása illusztrálja a legjobban:



Az aminosavaknak egy másik rendkívül érdekes változása, amikor ezek aminosavakká alakulnak át. Ezek közül az aminosavak közül a fehérjék rothadásakor nagyon közönségesek az ismert ptomain, a hullamérgek, de különösen a cadaverin és a putrescin, amelyek minden fehérje rothadásakor fejlődnek. Tájékozásul közöljük a cadaverin keletkezését lysinből:



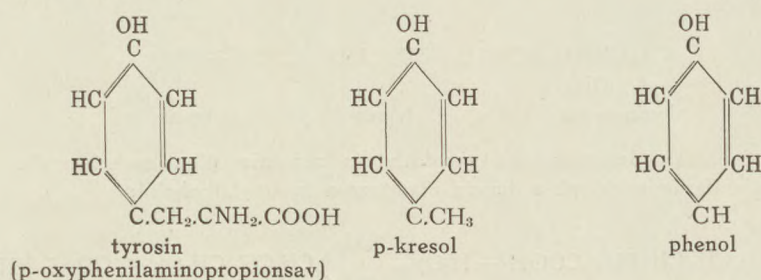
A putrescin viszont argininből keletkezik; átmenetileg carbamid és ornithin jelennek meg, a carbamidot tovább bontják a carbamidbontó baktériumok és az ornithin átalakul putrescinné.

Egy harmadik rendkívül jellemző aminosav, amely szintén az aminosavak bomlásakor keletkezik: a trimethylamin  $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ . A kén tartalmú fehérjék bomlásakor a kénhidrogén és merkaptánok szintén rendkívül közönségesek. A legközönségesebb kén tartalmú aminosavak egyike a cystin.



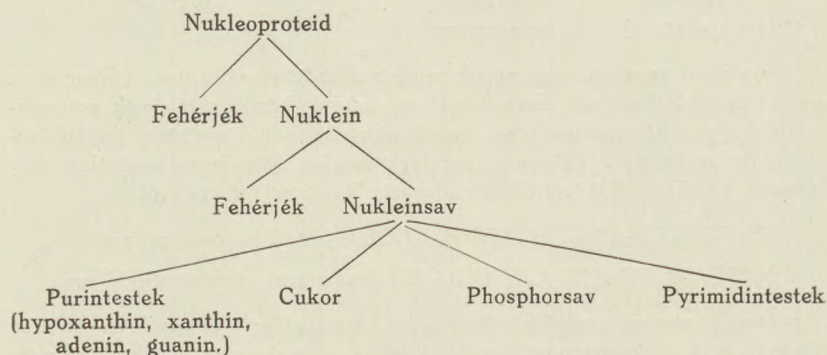
A kén tartalmú fehérjék rothadásakor rendszerint  $H_2S$  mellett methylmercaptán szokott jelentkezni. A phosphorból pedig mint végső termék phosphorhydrogén és phosphorsav keletkezik.

Rendkívül érdekes még az u. n. aromatikusan aminosavaknak a bomlása. Ezek közül a legközönségesebb a tyrosin és a tryptophan. Ezek szintén oxydatív vagy reduktív úton mennek át a dezamináción. A reduktív úton való dezamináció legközönségesebb képviselője a *Bac. putrificus* és a *Pseudomonas pyocyaneus*. Tájékoztatásul közöljük a tyrosin átalakulását:



A tryptophan bomlásakor viszont indol és skatol keletkeznek. A fehérjék bomlásakor keletkezett melléktermékek sorsa még nem ismeretes teljesen, épen úgy, mint a most mondottak csak nagy vonásokban nyújtanak felvilágosítást az aminosavak bomlásának mikéntjéről.

Az összetett fehérjék közül különösen a nukleoproteidok a leggyakoribbak és bomlásuk a következő fokokon megy át:

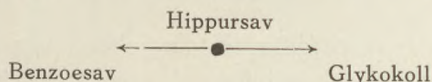


A szétbontást a talajbaktériumok különböző fajtái végzik.

Tájékoztatásul még néhány szót óhajtunk szólni a fehérjék bomlásakor keletkező néhány egyszerűbb termék bomlásáról. Ezek közül a guanin bomlását már részletesen ismertettük. Hasonlóan bomlik az adenin, a kreatin, és a xanthin stb. Ugyancsak tárgyaltuk már a savamidok



átalakulását is, most még néhány szóval a hippursav bomlását vázoljuk. A hippursavat, amely különösen a madarak és a növényevő emlősök vizeletével jut nagyobb tömegben a földre, szintén nagyon sok baktériumfaj támadja meg, ilyen pl. a *Micr. ureae*. A hippursavból benzoésav és glykokoll keletkeznek.

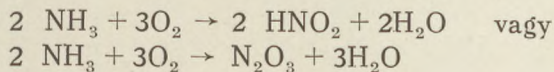


Ez utóbbiak azután tovább bomlanak ammoniára és  $\text{CO}_2$ -ra.

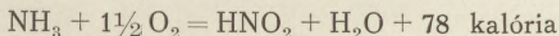
A fehérjék bomlásakor keletkezett ammoniát most már a növények közvetlenül felvenni, hasznosítani nem tudják, azért a természetnek gondoskodnia kellett arról, hogy az ammonia olyan alakra jusson, hogy a talajban a növények által felvehető legyen. Azt a biológiai folyamatot, amelynek kapcsán ez végbe megy, nitrifikációnak nevezzük.

A nitrifikáció kiindulását a fehérjék bomlásakor keletkező ammonia képezi. Ez az ammonia a talajban rendszerint közvetlen bejutása pillanatában a talajban levő más organikus vegyületekkel, főleg savgyökökkel közömbös vegyületeket alkot, amely közömbös vegyületek szolgálnak azután a nitrogénbaktériumok táplálékanyagául. A nitrogénbaktériumok ezeket az ammoniavegyületeket oxydálják és így az elégetéskor nyert hőenergiát használják fel abból a célból, hogy a levegő széndioxydjával asszimilációs úton szénhydrátokat képezzenek. Ezek tehát a többi baktériumtól eltérően tulajdonképpen autotroph növények, mert önálló asszimilálásra is képesek, de mégis különböznek a többi autotroph növénytől abban a sajátságukban, hogy ezek a hőenergiát nem a nap hőenergiaforrásából merítik, hanem a most tárgyalt oxydációs úton nyerik.

A nitrifikációnak rendszerint két fokozata van. Az első fokozat az ammoniának salétromsavvá való elégetése, amely általában a következő egyenlet szerint folyik le:



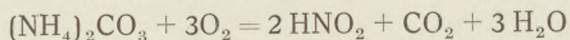
Energetikailag az egyenlet lefolyása a következőképpen fejezhető ki:



Mínthogy azonban a talajban az ammonia rendszerint nincs sza-

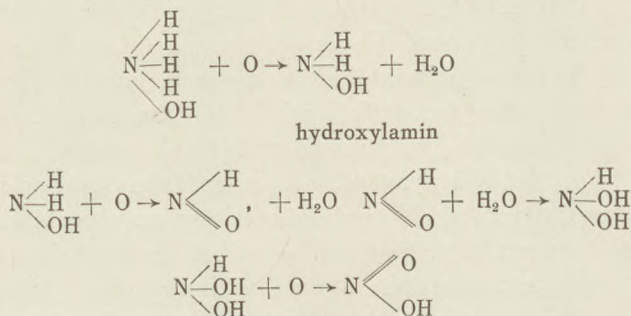


bad állapotban jelen, úgy ez többnyire a talaj vízében levő szén-savval ammoniumkarbonátot alkot. Ilyenkor a reakció lefolyása valószínűleg a következő:

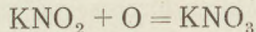


Ennek a folyamatnak ezidőszerint legjobban ismert előidézője a *Bacterium nitrosomonas*,<sup>1)</sup> amelyet 1892-ben Winogradsky fedezett fel. Egy másik alakja a *Nitrosomonas javanensis*, melyet Winogradsky Buitenzorgban tenyésztett ki.

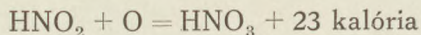
A folyamat lefolyása egyébként még nem áll teljesen tisztán előttünk, valószínű lefolyása Kluver és Donker szerint a következőképpen megy végbe:



A nitrifikációnak a második fokozata a nitriteknek nitráttokká való oxydálása. Az ezt előidéző mikroorganizmusoknak legjellemzőbb alakja a *Bacterium nitrobacter*, amelyet az amerikai irodalomban *Nitrobacter* néven ismernek. Ennek a folyamatnak a lefolyása viszont a következő:



Energetikai egyenlete pedig:



A nitrifikációnak az ellentétes folyamata azután a denitrifikáció, melyet más szóval röviden N-erjedés névvel is jelölnek. Ez a folyamat tipikus anaerob folyamat, amelynek folya-

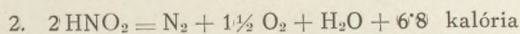
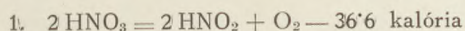
<sup>1)</sup> Az amerikai irodalomban *Nitrosomonas europaeus* néven ismeretes.



mán az u. n. denitrifikáló baktériumok a nitrátokat végeredményben szabad N és H gázzá redukálják, miközben a vegyületekben levő O-t felszabadítják és ezt az O-t a maguk oxydációs folyamataik számára felhasználják. A denitrifikációt tehát élesen el kell különíteni az u. n. nitrátredukciótól, amelynek a lényege viszont abban áll, hogy egyes baktériumok a nitrátokat nitritekké és ezeket ammoniákká képesek redukálni.

A tulajdonképeni denitrifikációs folyamat két fokozaton megy át. Az első fokozat a nitrátoknak nitritekké való redukciója, a második pedig a keletkezett nitriteknek szabad N-né való átalakítása.

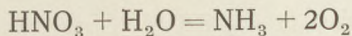
Kémiailag ezt a két folyamatot a következőképen fejezhetjük ki:



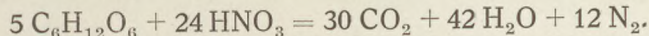
Ha feltételezzük, hogy 1 mol.  $\text{O}(\text{O}_2)$  112 kalóriát tud felszabadítani, úgy az első fokozatnak az energianyerése  $112 - 36.6 = 75.4$  kalória, a második egyenletnél pedig  $1\frac{1}{2} \cdot 112 + 6.8 = 174.8$  kalória.

Már ebből az összeállításból is láthatjuk, hogy tulajdonképen a N-né való redukálással kaphatják a denitrifikáló mikroorganizmusok a nagyobb energiamennyiséget, míg a nitritekké való redukálás aránylag kevés energiaszabadulással jár.

Ezt a két folyamatot azonban rendszerint két baktériumcsoport végzi, amelyek közül az egyik a nitrátot redukálja és az így felszabaduló O-t a másik rendelkezésére bocsátja, amely viszont az így nyert O-nel a cellulózt bontja és a denitrifikáló baktériumoknak a szükséges hőenergiát szolgáltatja. Ha ellenben a bontás ammoniáig történik, ebben az esetben a folyamatot a következő egyenlet fejezi ki:



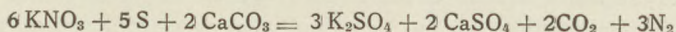
A cellulóznak, illetve a szénhidrátoknak felhasználásával történő denitrifikációt pedig a következő egyenlet fejezi ki:



Hasonlóképen a szulfitokat és a ként is fel tudják használni egyes baktériumfajok az anaerob lélekzés mellett való oxydáció céljaira egyidejű denitrifikáció mellett. Valószínűleg itt is két baktériumcsoport működik egymás mellett, amelyek közül az egyik felszabadítja a nitrátokból az O-t

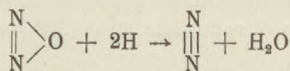
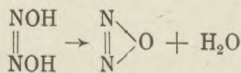
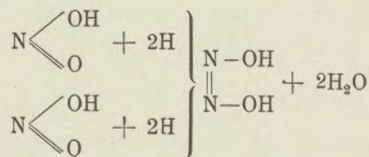
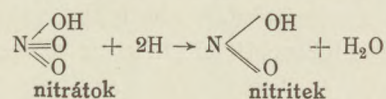


és átadja a másik csoportnak, amely az így felszabadított vegyület segítségével a szulfitokat és thioszulfátokat szulfátokká oxydálja és az így nyert energiát a denitrifikáló baktériumok rendelkezésére bocsátja. Ezen folyamatnak valószínű lefolyása Beijerinck szerint a következő:



Ennél a folyamatnál általában egy g redukált nitrátra 1 gramm kalória energiámennyiség esik.

A nitrátredukció lefolyása elméletileg a következőképpen képzelhető el:



A denitrifikáció a természet háztartása szempontjából általában káros folyamat és a talajban különösen ott jelentkezik, ahol legtöbb esetben a túlságos sok csapadék, vagy a talajnak egyébkénti vízbősége következtében a talajba elegendő O nem kerül, amikor azután az organikus anyagokat és a cellulózt bontó baktériumok az életműködésükhöz szükséges energiát csakis a denitrifikáló baktériumok működése folytán nyerik. A gyakorlati talajművelésnél, úgy a mező, mint az erdőgazdaságban természetesen megfelelő talajművelési módokkal gondoskodnak a talaj jó szellőztettségének fenntartásáról. A denitrifikáció kapcsán mindenesetre egy bizonyos mennyiségű szabad N elvész a természet háztartása számára, miután a növények tudvalevőleg a levegőben levő szabad N gázt nem képesek felvenni. Ezt a veszteséget helyrehozandó a növények egy jelentékeny része (Leguminosae-k, *Alnus*, *Elaeagnus*, *Myrica*, *Coriaria*, *Ceanothus* stb.) a gyökerein élő baktériumok



segítségével (*Bac. radicicola*, *Actinomyces alni*, *A. elaeagni* stb.) képes a levegő szabad N-jét felvenni. Másrészt ugyanakkor a talajban rendkívül sok olyan baktérium él, amelyek a levegő szabad N-jét közvetlenül képesek felvenni, abból fehérjevegyületeket felépíteni, amelyek természetesen ezen élőlények elhalása után a korhadás útján nitrátokká alakulnak és így a magasabbrendű növények gyökerei számára felvehetőkké válnak. Ilyen szabad N-kötő baktériumok pl. az *Azotobacter chroococcum*, *A. agile*.

Ami most már a nitrátredukáló és a denitrifikáló baktériumok egyes fajait illeti, úgy arra vonatkozólag röviden a következőket jegyezzük meg:

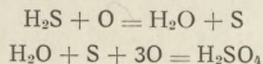
A nitrátokat nitráttá redukáló baktériumok közül a leggyakoribbak a következők: *Bact. coli*, *Bact. vulgare*, *Bact. prodigiosum*, *Bact. putidum*, *Bact. fluorescens*, *Bact. pyocyaneum*, *Bact. herbicola*, *Bac. subtilis*, *Bac. vulgatus*, *Bac. mycoides*, *Micr. pyogenes*, *Mycobact. phlei* és a *Mycobacterium* egyéb fajai.

A nitrátokat ammoniákká redukáló baktériumok közül fontosabbak: a *Bac. mycoides*, *Bac. subtilis* és a *Bac. mesentericus vulgatus*.

A nitrátoknak szabad N-né való redukálását pedig a következő mikroorganizmusok képesek végrehajtani: *Bact. denitrificans*, *Bact. Stutzeri*, *Bact. Künnemanni*, *Vibrio denitrificans*, *Bac. nitroxus*, *Bact. denitrificans agilis*, *Bact. ulpiani* stb.

A fehérjék bomlásakor ként tartalmazó vegyületek is jutnak a talajba. A kénnek a talajban való körforgása az eléggé ismert mikrobiológiai folyamatok közé tartozik. A kénhidrogénnek ( $\text{SH}_2$ ) oxydációját kénsavvá a különböző thio-baktérium fajok végzik el, amelyeket kénbaktériumoknak is nevezünk.

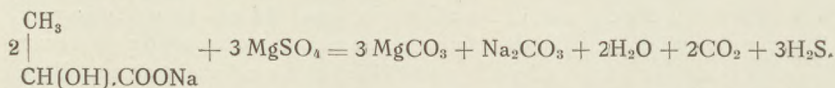
A szulfátokká való oxydáció folyamata, épen úgy, mint a N-nek az oxydációja a kénvegyületek különböző oxydációs fokain megy át. Ennek a folyamatnak a lényegét a következő két egyenlet fejezi ki:



A kénnek hasonló oxydációjára nagyon sok baktériumfaj képes. A legközönségesebbek a *Beggiatoa*, *Thiothrix* és a *Monas* fajok, azután a *Bact. bovista*, *Bac. thio-*



nes stb. A keletkezett kénsav természetesen in statu nascendi a talajban levő bázisokkal egyesül és a növények számára felvehető szulfátokká alakul át. A keletkezett szulfátok azonban nagyon gyakran a deszulfurációnak nevezett folyamaton mennek át, amely nagy vonásokban a denitrifikációnak felel meg. Ilyen deszulfo baktériumok pl. a *Bact. desulfuricans*, *Bact. hydrosulfureum*, *Bact. sulfureum*, *Spir. desulfuricans*, *Vibr. hydrosulfureus*. Ezek közül egyike a legérdekesebbeknek a Beijerinck által tanulmányozott *Spir. desulfuricans*, amely a szulfátból nyert O segítségével egyidőben szerves szénvegyületeket is oxydálni képes a következő egyenlet szerint:



A phosphor vegyületek átalakítását előidéző biológiai jelenségek ezidőszerint még teljesen felderítve nincsenek.

Ezekben a baktériumokon kívül a természet háztartásában még nagyon el vannak terjedve és nagyon fontos szerepet játszanak az u. n. vasbaktériumok is, amelyek különösen vastartalmú vizekben fordulnak elő. Előfordulnak azonkívül még nedvesebb talajokban, amelyek vasat és könnyen bomló szerves anyagokat, az u. n. ferrohúmatokat tartalmazzák. A vasbaktériumok közül egyik legközönségesebb és legjobban elterjedt baktérium faj az u. n. *Leptothrix ochracea*, amely rendszerint hosszú fonálalakú telepeket alkot, amely fonálalakú telepek az egyes baktériumok összeállása által képeztetnek. Ezt a fonálalakú kolóniát azután rendszerint egy kocsonyás hártya veszi körül. Egy másik ilyen ismert baktérium a Molisch által leírt *Chlamydothrix* faj, amely szintén fonálalakú kolóniákat alkot. Idetartoznak azután még a Molisch által *Siderocapsa* névvel jelölt kokkusz alakú mikroszervezetek, továbbá az Ehrenberg által leírt *Gallionella ferruginea*, azután az ismert *Clonothrix fusca* és *Crenothrix polyspora*. Mindezeknek a baktériumoknak közös sajátága, hogy kocsonyás hüvelyekben nagymennyiségű vas és mangán vegyületeket halmoznak fel. Winogradsky ide-



vonatkozó vizsgálatai szerint, a vasraktározás olyan módon jön létre, hogy a vastartalmú vizeknek vasoxydul ( $\text{FeO}_3$ ) tartalmát valószínűleg az élő baktériumtest protoplazmája vasoxyddá ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) oxydálja. Szerinte a vasbaktériumok élettani folyamataiban ezen oxydációs folyamatkor szabaddá váló melegenergia nagyon fontos szerepet játszik. Winogradsky nézetével ellentétes állást foglalt el Molisch, akinek először sikerült a *Leptothrix ochracea*-t tisztán tenyészteni. Szerinte ennek a mikroorganizmusnak életfolyamataihoz nem feltétlenül szükséges a vasnak és a mangánnak jelenléte és szerinte a vasnak a raktározása ezeknél a baktériumoknál egy másodlagos jelenség, amelynek élettani fontossága nincsen. Ujabban Lieske vizsgálatai bizonyos fokig Winogradskynak adnak igazat. A kérdés még nincsen teljesen eldöntve és dacára annak, hogy a vas oxydálása és raktározása, illetőleg ennek az élettani jelentősége még teljesen tisztázva nincsen, mégis ezeknek a baktériumoknak hatása a gyakorlati élet szempontjából rendkívül fontos. Tömeges fellépésükkel különösen a vízvezetékekben gyakran okoznak károkat azáltal, hogy kocsonyás burkaikkal ezeket teljesen eltömik. A *Leptothrix* viszont a vasoxydhydrátokat olyan nagy mértékben raktározhatja, hogy ezáltal különösen nedves helyeken gypvasérc keletkezik, amelyből vasat lehet nyerni. A vízvezetékekben a víznek vastól és mangántól való megszabadításával védekeznek ezek ellen a károk ellen.

### A talaj gombái.

A talajban a leggyakoribbak a *Phycomycetes*ekhez tartozó penészgombák. Ezeknek fellépése rendszerint a talaj elsavanyodását jelzi, azonban kisebb-nagyobb mértékben úgyszólván minden talajban meg lehet találni őket. Különösen az erdei talajokban rendkívül gyakoriak. A legközönségesebbek egyike a *Cladosporium humifaciens*, amely főleg a savanyú humuszos talajban fordul elő. Előfordulnak azután még a humuszban a *Trichoderma* és a *Cephalosporium* egyes fajai. Ezeken kívül nagyon közönségesek a talajban a *Mucor*-félék és az *Ascomycetes*ekhez tartozó *Penicil-*



lium és *Aspergillus* fajok. Ilyenek a *Mucor mucedo*, *M. racemosus*, *M. silvaticus*, *M. flavus*, *M. strictus*, *M. Ramannianus*, *Penicillium glaucum* és az *Aspergillus glaucus*.

A talajgombáknak egy másik csoportja, amely a *Basidiomycetes*ekhez tartozik, az erdei fák gyökereivel él szimbiózisban és ott az u. n. mycorrhizát alkotja. Ezt a mycorrhizát az I. kötetben anatómiai szempontból már részletesen ismertettük, élettani jelenségeit pedig az erdei fák táplálék felvételével kapcsolatban fogjuk megemlíteni.

A gombák szerepe a szerves anyag bontásánál úgy látszik szintén rendkívül fontos. A cellulóznak gombákkal való bontásáról már a cellulóz bontásánál részletesen szövegeztünk, de ezek a gombák ezenkívül valószínűleg még a N-tartalmú anyagok korhadásánál is fontos szerepet játszanak.

#### A talaj algái.

A talaj flórájához tartoznak a talajban található moszatok is. Az újabb vizsgálatok szerint a különböző talajokban rendkívül sokféle ilyen moszat fordul elő. Tájékozásul néhány jellemzőt megemlítünk. Pl. a *Schizophyták* közül a *Gloeocapsa*, *Chroococcus*, *Aphanocapsa*, *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Rivularia* stb. A *Diatomák* közül a *Melosira*, *Navicula*, *Hantzschia*, *Pinnularia* stb., *Conjugataek*: *Mesotaenium*, *Desmidiium*, *Penium* stb. Az *Euthallophyták* közül a *Chlorophyceae*ekhez tartozó *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*, *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Ulothrix*, *Protoderma*, *Cladophora*, *Protosiphon* stb.

Ezeknek a moszatoknak a talaj biokémiai folyamataiban elfoglalt szerepe rendkívül változatos. A legtermészetesebb működésük abban nyilvánul meg, hogy zöld chlorophyllt tartalmaznak s ilyen módon asszimilálásra képesek s az asszimilálás folyamata alatt részben a talaj szellőztetéséről gondoskodnak és a talajban élő baktériumokat szimbiotikus úton O-nel látják el, de másrészt a talajba jutó testeik korhadásakor a talajt szerves anyagokkal is gazdagítják, N-asszimilálásuk következtében pedig a talajba



N-ben gazdag vegyületeket is juttatnak. Az újabb vizsgálatok szerint úgy látszik, hogy közülök egyesek heterotroph életmódra is képesek és így a talajban levő szerves anyag bomlásakor is szerepet játszanak és nem lehetetlen, hogy a levegő szabad N-jének megkötésekor is közreműködnek. Az újabb vizsgálatok szerint ugyanis nem lehetetlen, hogy a moszatok közül sok a N-kötő baktériumokkal él symbiotikus viszonyban és asszimiláló képességüknél fogva ezeket szénhidrátokkal látják el. A szabad N-t megkötő képességüket úgy látszik, hogy nem sikerül bebizonyítani, azonban annál inkább bizonyossá válik symbiotikus képességük a N-kötő baktériumok életfolyamatainál. Egy rendkívül érdekes jelenség a moszatoknak lipid képző képessége.

### A talaj protozoái.

A talajban élő állatok közül elsősorban a talaj protozoáit tárgyaljuk. A talajban élő protozoák különösen az újabb talajbiológiai kutatások alkalmával széleskörű és kiterjedt vizsgálatoknak lettek alávetve. A talaj meglehetősen gazdag protozoa fajokban. Tájékozásul álljanak itt a legközönségesebbek: *Amoeba limax*, *A. guttula*, *A. terricola*, *A. proteus*, a *Diffugia* fajok, *Euglypha* fajok, *Cercomonas* fajok, *Monas guttula*, *Chilomonas paramoecium*, *Euglena* fajok, azután a Ciliáták közül *Uronema marina*, *Urotricha farcta*, *Amphileptus*, *Colpoda*, *Halteria*, *Gonostomum* fajok stb.

A protozoáknak élettani szerepe a talajban még nincsen teljesen tisztázva, de különösen nincsen még eldöntve az a kérdés, hogy azok ott vajjon hasznos vagy káros működést fejtenek-e ki. A leginkább elterjedt nézet szerint a protozoák annyiban károsak, hogy jórészen baktériumokkal táplálkoznak és ezáltal a talaj baktériumflóráját számbelileg természetesen csökkentik. Idevonatkozólag kísérleti adatok is állanak rendelkezésünkre. Másrészt azonban egyes vizsgálatok azt is bebizonyították, hogy a protozoák a baktériumok nélkül is képesek megélni és így életműködésükben nincsenek feltétlenül a baktériumok felfalására utalva. A protozoák bizonyos fokig valószínűleg saprophyta életmódot is folytathatnak a talajban és így a szerves anyag bontásánál is szerepet játszanak. Nem lehetetlen tehát, hogy ezek is ammoniát képeznek és így közvetve az ammonia átalakulása útján a talaj nitrát tartalmát is növelik. Az által pedig, hogy testeik a talajban elhalnak, kétségkívül elősegítik a talajnak szerves anyagokban való gazdagodását és így közvetve a baktériumok részére jó táplálótalajt is nyújtanak. A talaj baktériumtartalma és protozoatartalma között valószínűleg symbiotikus viszony áll fenn.



### A talaj faunája.

A talajban a már említett protozoákon kívül megtaláljuk még a földi gilisztákat, a rákok különböző fajait, a rovarok különböző fajait, azután az alacsonyabbrendű állatok közül a Rotatoriákat és a Nematodákat. Ezek közül a talaj fizikai megmunkálása szempontjából a legfontosabb szerepet kétségkívül a földi giliszták játsszák.

A földi giliszták a talajt elsősorban fizikailag alakítják át, főleg azért, hogy a talajban táplálék keresés közben hosszú alagútakat fúrnak és ezáltal természetesen a talaj levegőtartalmát és morzsás szerkezetét erősen befolyásolják. A leggyakoribbak a következők: *Eisenia rosea*, *Lumbricus terrestris*, *Lumbricus rubellus*, *Helodrilus octaedrus* stb. A földi giliszták a forró égöv alatt hatalmas példányokká fejlődnek ki, amelyek néha 1 m nagyságot is elérnek. Fizikai működésük mellett még kémiai hatást is fejtenek ki azért, hogy a korhadó humuszt a benne levő még el nem korhadt fehérjék és mikroorganizmusok kedvéért, amelyekkel táplálkoznak, felfalják és azután megdolgozva ürülék alakjában újra kiadják. Ez az ürülék holdankint 200—1000 kg-ot is kitehet és természetes, hogy ez a megdolgozott ürülék, amelynek koprolitikus humusz a neve, a növényzet számára kiváló táplálóanyagokat szolgáltat. Az ürülékben különösen a foszfor-sav és a mésztartalom magas. A legtöbb gilisztát a vályogos talajban találjuk, míg a homokos talajokban alig vannak és hasonlóképpen hiányzanak az erdei nyers humuszban is. Számuk általában meglehetősen jelentékeny. Morris a megmunkált talajokban 1,000.000 gilisztát talált acerenként (1 acre = 0'40,467 há), míg a meg nem munkált talajokban ez a szám 500.000-re csökkent. Ujabban Russel véleménye után az a nézet van kialakulóban, hogy kémiai működésük a fizikaival szemben háttérbe szorul és főjelentőségük elsősorban a talaj lazításában, felaprózásában és jó szellőződésében nyilvánul.

A Rotatoriák közül a legközönségesebbek a *Rotifer vulgaris*, *R. tardigradus*, *Adineta* vagy stb., amelyeknek szerepe még nincsen teljesen tisztázva.



A Nematodák különösen az erdei humuszban vannak elterjedve, a leggyakrabban előforduló nemzetségek a következők: *Iota*, *Isonchus*, *Dorylaimus*, *Tylenchus*, *Plectus*, *Cephalobus* stb. Ezek a fauna káros részét képviselik, különösen a gyökérzetet támadják meg, így a mezőgazdasági növények közül főképen a burgonyát és a búzát, pusztítják a talajbaktériumokat és a protozoákat. Közös rokonok a Nematodákkal az *Annelidák*, amelyek közül megemlítjük még az *Enchytraeidae*kat, amelyek különösen szerves anyagokban gazdag nedves talajokon jelentkeznek. Francé szerint a leggyakoribbak az *Enchytraeus*, *Fredericia* és *Anachaeta*-félék. Ezek szintén károsak a talajban.

A rákok közül a legközönségesebbek a *Moraria*, azután a *Canthocamptus*-félék és a *Corophium*-félék. A *Myriapodák* közül megemlítjük a *Glomeris*, *Julus* és *Schizophyllum* fajokat. Bizonyos fokig ezek is szerepet játszanak a talajok fizikai megmunkálásánál.

A rovarok közül különösen fontosak a hangyák és a termiták, amelyek a talaj szerkezeti megmunkálásában játszanak fontos szerepet. Morris 3,500.000 rovar is talált acrenkint. A humuszképződés körül a *Podura villosa* nevű rovar fejt ki igen értékes működést. A cserebogár pajorja ugyan káros, de bizonyos mértékig mégis javítja a talaj fizikai szerkezetét. A *Molluscák* közül a legközönségesebbek a *Carychium* és a *Helix* fajok, amelyek természetesen különösebb szerepet a talajban nem játszanak.

A magasabbrendű állatok közül az egerek, az üregi nyúl, a vakond és az egyes házi állatok játszanak fontosabb szerepet a talajban. Eltekintve az egerek káros működésétől, ezek bizonyos fokig a talaj szellőztetését jól befolyásolják. Az üregi nyúl természetesen káros, a vakond azonban azáltal, hogy a talajt áttúrja, porhanyítja, dacára annak, hogy csemetekertekben, veteményes kertekben gyakran nagy károkat okoz, hasznos működést fejt ki. A házi állatok legeltetése a talajra, de főképen az erdei talajra káros és különösen a mikroflórát és ezzel együtt a talaj táplálóanyagainak átalakítását nagyon kedvezőtlenül befolyásolja.



Ha most összevetjük az eddigieket és az edaphon szerepét átnézetileg vizsgáljuk, akkor arra az eredményre jutunk, hogy mindezek a talajban szerves összefüggésben, szimbiózisban állanak. A baktériumok és gombák mozdítják elő a moszatok N-táplálkozását, viszont ebből a háromféleségből táplálkoznak a protozoák, ezekkel táplálkoznak azután a Rotatoriák és Nematodák, ez utóbbiakat viszont az Amoebák, Myriapodák és rovarok pusztítják, amelyeknek elhalása után korhadó testeiket azután megint a baktériumok és gombák használják fel a korhadási folyamataiknál és így közvetve őket a növénytenyésztés szempontjából hasznosítják.

#### A talaj biológiájának mezőgazdasági jelentősége.

A mezőgazdasági termelés legfőbb tényezője a talaj. Annak jó termőerőben való megtartása a gazdaság legfontosabb feladatát képezi, hogy egyrészt az adott körülmények között állandóan a legnagyobb termést biztosítsa, másrészt a termények minőségét és ezzel versenyképességét emelje. Hogy ezt a célt a mezőgazdaság elérhesse, ismernie kell mindazokat a tényezőket, amelyek a fent említett termőerő létrejöttében résztvesznek. Ezeket a tényezőket két nagy csoportra oszthatjuk, az egyik a talaj kémiai és fizikai, a másik a talaj biológiai állapotának ismerete. A kettő egymást kölcsönösen befolyásolja és nem elegendő csak az egyik csoport változásának hatását vizsgálni a termelésre nézve, hanem ugyanekkor folyton szem előtt tartandó ennek a változásnak a másik tényezőre való hatása is.

Természetszerűleg felmerül annak a kérdése, mikor van egy talaj a maximális termőerőben, mikor alakul ki a fizikai-kémiai és a biológiai állapot között az a dinamikai egyensúly, amely ezt az ideális állapotot jellemezhetné. Ehhez csatlakozik az a követelmény, hogy ezt az állapotot meg is határozhassuk valamely módon. Az ideális talajállapot megismerése és meghatározási módjának és módszereinek felderítése az agrikultúrkémiának és a gazdasági mikrobiológiának legfőbb feladata és törekvése. De még meglehető-



sen távolinak látszik az az időpont, amikor ezekre exakt és teljesen kielégítő feleletet tudunk adni.

A mezőgazdasági termények általában tömegben termeltetnek és a termés nagysága a területegységre vonatkoztatott mennyiségben nyer kifejezést. Ezt terméshozamnak nevezzük és amikor azokat a tényezőket vizsgáljuk, amelyek azt létrehozzák, illetőleg ezeknek a tényezőknek változását és a változások hatását a terméshozamra, tulajdonképpen a t e r m é s h o z a m vagy egyszerűen a t e r m é s törvényszerűségeit akarjuk megállapítani (Ertragsgesetz).\*)

A terméstörvény tulajdonságainak felderítése, kutatása minden egyes gazdasági növényre külön-külön lehet a végső cél, amely a fenti kérdés megoldását meghozhatja, mert magában foglalja az összes termelési tényezők változásának hatását a termésre. Számos részletmunka, amely eddig napvilágot látott, igyekezett ezt a kérdést a megoldás felé vinni, de épen a tényezők számossága és ezek egymásra való hatásának vizsgálata annyira bonyolult, hogy a kérdéskomplexum a maga teljességében kísérletileg nehezen hozzáférhető.

A talaj biológiájának mezőgazdasági fontossága leginkább szembetűnik, ha szemügyre vesszük a talajban élő makro- és mikroszervezetek nagy tömegét. L ö h n i s szerint 1 ha szántóföldben élő baktériumok, gombák, protozoák, algák, alsóbbrendű rovarok átlag 10 q élősúlyt képviselnek. Ezek az élőlények rendkívül finom elosztásban vannak jelen és óriási felületet alkotnak, amely az anyagcsere körfolyamatának szolgálatába van állítva. Fentebb láttuk, hogy egyes baktériumok néhány óra vagy nap alatt testsúlyuk organikus anyagának 100-szoros, sőt 1000-szeres mennyiségét is képesek átalakítani. Ha az élőlények súlyát az őket magukba foglaló talaj súlyával összehasonlítjuk, úgy 1 súlyrész élőanyagra 5000 súlyrész talaj esik. Mivel átlag 2% organikus anyag van jelen a talajban, úgy ebben a viszonylatban az arány 1:100. Ebből az következik, hogy az organikus anyag maradék nélküli szétbontása mindig várható, ha a talaj fizikai-kémiai állapota a mikroorganizmusokra nézve kedvező.

\*) Rossz magyarsággal hozadéktörvénynek is mondják. A magyar nép termés alatt egyszersmind hozamot, mennyiséget is ért.



Kedvező feltételeket megadni, létesíteni a célja minden racionális talajművelésnek. A talajművelés, a trágyázás, a megmunkálás mind mélyreható változásokat idéznek elő a talaj fizikai-kémiai és biológiai állapotában, miért is a mélyreható kutatási munkát megérdemlik.

Ha a talajban előforduló mikroszervezetek egyes csoportjait vesszük vizsgálat alá, a legfontosabbak a baktériumok, amelyek a legnagyobb számban is fordulnak elő. Számuk 1 g szántóföldben nagyon változó (átlag 100—400 millió), amely állati trágyázás után még felemelkedik (600—1000 millió). Ezzel szemben a gombák száma 30—9000 között változik g-onként. Savanyú talajokban a gombák száma nagyon emelkedik. A protozoák száma ugyancsak 1 g földben 2—150 ezer között váltakozik. A szántóföldben aránylag kevés él, míg számuk a kerti-, szőlő-, különösen a melegágyi és üvegházi talajokban nagyon felszaporodhatik, úgyhogy a talajban a biológiai egyensúly megzavarása miatt az anyagcsere normális menete megszűnik és a talaj „megbetegszik”. E betegségen sterilizálással segítenek, amelyre szénkéneg, vízgőz, chloroform, toluol stb. könnyen párolgó antiszeptikus szereket használnak. A biológiai egyensúly megzavarása általában mindig a talaj megbetegedését idézi elő.

A baktériumok száma az év folyamán változásoknak van alávetve és a mezőgazdaságilag művelt talajokban a baktériumszám eltérőleg az erdei talajoktól, február és március hónapokban éri el maximumát Cohn vizsgálatai szerint. A baktériumok mélységi eloszlására több vizsgálattal rendelkezünk, általában azonban 1 m mélységben a talajélet már nem számottevő és a baktériumok száma minimálisnak mondható és ezentúl azután fokozatosan meg is szűnik. A baktériumok száma természetesen a talajban lefolyó biológiai folyamatok egy jelentékeny részére erős befolyással bír, amint azt majd az erdőtalaj biológiájának ismertetésekor látni fogjuk. Viszont más biológiai folyamatoknál, így pl. a talaj anyagcseréjénél inkább a baktériumok működése, illetőleg anyagcseréjük intenzitása irányadó és nem annyira ezeknek abszolút száma. A vélemények ebben a kérdésben ma még nagyon eltérőek. A talaj biológiai folyamatainál valószínűleg mindkét körülmény egyaránt szere-



pet játszik. Bizonyos körülmények között lehet azonban a baktériumszám a talajállapot kifejezője (pl. a lápoknál).

Nem elégséges azonban a termelés szempontjából, hogy csak a talaj mikroszervezeteinek a számával és különböző fajtáikkal legyünk tisztában, hanem ismernünk kell azokat az áthasonlításokat, amelyeket ezek létrehoznak. Számos fontos asszimilációs és disszimilációs folyamatot kell ismernünk, úgy egyes részleteiben, mint azok együttes hatásában. Beszélünk az organikus anyag elbomlásáról, a salétromképződésről stb., és sokan nem gondolnak arra, hogy ez nem magától bomlik, illetőleg képződik, hanem az élőlények működésének eredménye. Messzire vezetne azonban célunktól, ha a talajok teljes florisztikai vagy faunisztikai átkutatására törekednénk, amely a talajok sokfélesége miatt majdnem lehetetlenség számba megy és tisztán csak tudományos cél lehet, gazdasági szempontból minket inkább bizonyos csoportok érdekelnek, amelyek fiziológiai szempontok szerint elkülönülnek egymástól és amelyek bizonyos, a talajban korlátolt mennyiségben jelenlevő anyagok körfolyamatára hatással vannak.

Ezek közül a fiziológiai csoportok közül a legfontosabbak a következők:

A levegő szabad N-jét megkötő organizmusok, amelyek aerob és anaerob csoportokra oszlanak és meglehetősen szűk határok között fejtenek ki hatásos működést, amelynek biztosítása a trágyázás és a talajművelés feladata. Elég rámutatnunk arra a körülményre, hogy az évenként kedvező körülmények között ez úton megköthető N mennyisége ha-onként 30—40 kg-ot is elérhet, ami kb. 220—230 kg mészsálétrom műtrágya mennyiségnek felel meg. Átlag 1 g szénhidrát felhasználása által kb. 10 mg N megkötése lehetséges. A szükséges vegyületek a trágyázás útján jutnak a talajba, főként cellulóz alakjában, amelynek elbontása szintén a mikroorganizmusok munkája. A cellulózból képezett glukóz a N-kötő mikroorganizmusoknak közvetlenül táplálóanyagul szolgálhat.

Ebben az összefüggésben is láthatjuk miként fonódik egymásba az egyes csoportok munkája. Ezeknek a mikroszervezeteknek vízben oldható szénhidrátokkal — pl. cukorral — való



táplálása ökológiailag indokolt és vele célt is lehet érni, csak pénzügyi szempontból nem hasznothozó.

A mezőgazdasági bakteriológia munkásságának köszönhetjük, hogy annak a már a rómaiak által is ismert ténynek, hogy a hüvelyesek talajjavító hatással bírnak, ma már tudományos magyarázatát tudjuk adni, sőt a N megkötését végző és a hüvelyesekkel symbiózisban élő baktériumoknak biológiáját is már annyira ismerjük, hogy ezeket az ismereteket gazdaságilag ki is tudjuk aknázni.

A bakteriológiai kutatás vetett világosságot továbbá az annyira fontos u. n. nitrifikációs folyamatnak lefolyására és az ebben a folyamatban résztvevő mikroszervezetek szerepére. Későbbi munkák igazolták a nitrifikáció gazdasági jelentőségét, majd az ebben szereplő mikroszervezetek biológiája, a talajművelés és trágyázás közötti összefüggéseket állapították meg.

Nagy gyakorlati fontosságú a gazdasági irányú mikrobiológiának az a megállapítása, hogy a talajban bizonyos mikroszervezetek működése N-veszteségekre vezethet és ezáltal egyik legdrágább táplálóanyagától fosztja meg a talajt. Ma már ismerjük a denitrifikációs folyamat mibenlétét és talajműveléssel, a jó szellőztetés biztosításával meg is akadályozhatjuk bekövetkeztét, és egyuttal elegendő O biztosításával a nitrifikációt is elősegítjük.

Nem közömbös a gazdára nézve, hogy a vetésforgóként a szántóföldbe jutó istállótrágya és az évenként bent maradt gyökerek és szárképletek, amelyeknek közel fele cellulózból áll, miképpen kerülnek vissza az anyag körfolyamatába. A cellulózt a talajban csak a mikroszervezetek képesek elbontani és vízben oldható vegyületekké alakítani, amelyeket részint a saját testük felépítésére használnak fel, részint pedig a többi heterotroph mikroszervezetek táplálékául szolgálnak. A cellulóz elbontása alaptényezője a talajéletnek és ez tisztán biológiai folyamat. Résztvesznek benne leginkább a gombák, sugaras gombák és a baktériumok aránylag kevés fajjal, úgyhogy a cellulózbontás sajátos tulajdonságnak minősíthető. Az elbontáshoz nagy mennyiségű N használandó fel és a talajbiológia feladata annak a módszernek a kidolgozása, amely ezt úgy irányítja, hogy ez a fo-



lyamat a legkevesebb N-veszteséggel járjon. Kísérletek bizonyítják, hogy a gombák kb. háromszor annyi N-t használnak fel és vonnak el a magasabbrendű növényektől, mint a sugaras gombák és a baktériumok, ugyanazon effektív hatást feltételezve. A gyakorlati élet módszerének megállapítása, amely a két nagy csoport biológiájában az egyensúlyt a kedvező oldalra billenti, a jövő feladatai közé tartozik. A szalmatrágya alkalmazása esetében a N felhasználása és a termelt növénytől való elvonása a főoka annak, hogy a gazda az első évben a trágyázás ellenére terméscsökkenést kénytelen tapasztalni.

A talaj biológiájával szorosan összefügg az istállótrágya kezelésének problémája, hiszen nem lehet közömbös a talaj élőlényekre nézve, hogy milyen állapotban kerül a talajba. A lényeg a következő: Az istállótrágyát lehetőleg olyan állapotban kell a talajba hozni, hogy az a talaj mikroszervezeteinek működését ne hátráltassa, hanem elősegítse. Evégből 1. az istállótrágyát erjedni kell hagyni, hogy ezáltal a humifikációt már a telepen bevezessük, de csak egy bizonyos fokig érleljük. 2. Az erjedés alatt a N-veszteséget a minimumra kell redukálni. 3. A könnyen asszimilálható C-vegyületeket a minimumra kell csökkenteni. Továbbá szükséges, hogy 4. a cellulóz bontásnál a szervezetek felépítése útján a baktériumok vagy gombák testében megkötött és ezáltal vízben oldhatatlanná vált N-vegyületek mennyisége minimumra csökkenjék; 5. a trágya kihordásakor a salétromképződés károsodást ne szenvedjen és a N-asszimiláció folyamata a talajban ne lépjen fel nagy mértékben. Végül 6. minél kevesebb élőlényt tartalmazzon a talajba kerülő trágya-szer, hogy a már a talajban élő és az oda bevitt mikroorganizmusok között támadó létért való küzdelem az autochton florát károsan ne befolyásolja. Ezen ideális szempontok tudatos gyakorlati kivitelének megoldása a mezőgazdasági bakteriológiának egyik legszebb és legfontosabb feladata. A mikrobiológia módszereivel mutathatók ki pl. az eddig még legjobban ismert u. n. K a n t z-féle nemes trágyaerjedés előnyei a régebbi rendszerekkel szemben. Idetartozik a mesterségesen erjesztett u. n. szalmatrágyák készítési módjának és hatásának vizsgálata is.

Ha a zöldtrágyázás eredményeinek tudományos alátámasz-



tást akarunk adni, úgy a végzett kísérletek megfigyeléseinek értékeléseinél legmesszebbmenően figyelembe veendők a talaj mikrobiológiai állapota és azok a változások, amelyek a zöldtrágya hatására bekövetkeznek. A változások okainak felkutatása, megismerése és hasznosítása a legfontosabb tevékenység az ilyenmű kísérleteknél. Mivel ez többnyire nagy munkabefektetéssel jár, sokszor nagy költségbe kerül és nagy szakértelmet és felkészültséget kíván, gyakran tapasztalhatjuk, hogy exakt kutatások megkerülésével magyaráznak egyes jelenségeket és vannak le messzemenő végkövetkeztetéseket, amely merész állításoknak megdöntése sokszor komoly kutatók részéről több évi munkát igényelhet. Áll ez minden mikrobiológiai folyamatra és annak a hangsúlyozása, hogy a talajbiológiai kutatás és kísérletek kimerültek volna és már újat alkotni nem tudnak, csak egyesek elméleti alapok nélküli, pusztán gyakorlati megfigyeléseken alapuló, minden oknyomozó logikát félretevő munkásságának eredménye.

Távol áll azonban tőlünk a gyakorlati megfigyelések értékének leszállítása, ami nagyon sok adatot szolgáltat arra nézve, hogy kiinduló pontja lehessen a legfinomabb természettudományi módszerekkel dolgozó és a gyakorlati kérdéseknek speciális elméleti alapjait is kutató modern talaj-mikrobiológiának, amelynek még számos megoldatlan és nagy gyakorlati fontossággal bíró problémája van.

Meg kell még emlékeznünk arról a kérdésről, hogy vajjon a talaj mikrobiológiai állapota — ami természetesen előzetes vizsgálat megejtését követeli meg — és a talaj termékenysége között van-e valamely összefüggés, azaz a talaj biológiai állapotáról vonhatunk-e következtetéseket annak termékenységére.

A kutatás abban az irányban folyt, hogy a talaj mikrobiológiai állapotát elsősorban jellemző tényezők: a baktériumok száma, a  $\text{CO}_2$  termelés, az ammonifikáló, a cellulózbontó, a nitrifikáló képesség és a termés nagysága között megállapíthatók-e bizonyos összefüggések. Némely szerzők összefüggéseket állapítottak meg, míg mások ugyanezt kétségbevonják, vagy legalább is annak a nézetüknek adnak kifejezést, hogy a levont következtetések nem olyan értelemben állanak fenn, mint azt mások értelmezik. E kérdés tisztázására a kutatások folyamat-



ban vannak, így még korai volna a végleges állásfoglalás. Mint már fentebb említettük, először meg kellene határozni azt az ideális állapotot, amely azt az egyensúlyi helyzetet jellemzi, amikor a mikroszervezetek működése és egymásra való hatása a legnagyobb terméseredmény elérését engedi meg, nem is szólva ugyanazon állapot kémiai és fizikai tulajdonságainak egyidejű ismeretéről. A kutatás módszerei is még fejlődésre szorulnak. A végleges eredményt csak a fizikai-kémiai és biológiai állapotok egyidejű és rendszeres vizsgálata hozhatja meg.

Hozzávetőleges és a gyakorlatban használható gyors módszert dolgozott ki Christensen a talajok mészigényének a laboratóriumban való közvetlen kvalitatív kimutatására, míg Niklas ugyanezt a módszert a növények részére felvehető phosphorsav megfelelő mennyiségben való jelenlétének meghatározására alkalmazta. Mindkét eljárás egy mikroszervezet: az *Azotobacter chroococcum* azon tulajdonságán alapszik, hogy az csak bizonyos nagyságú ph mellett tenyészik és a phosphor iránt igen érzékeny. Ezek a módszerek a gyakorlat követelményeinek bizonyos megszorítások mellett megfelelőeknek látszanak.

Befejezésül meg kell még emlékeznünk azokról a törekvésekről, amelyek a talaj hasznos szervezeteinek számát mesterségesen fokozni óhajtják a talajok oltása útján, hogy ezáltal nagyobb termés eredményeket érhessünk el. Az ilyen készítmények száma — különösen Amerikában — igen nagy és minden gazdasági növénynek külön preparátumot ajánlanak. Az újabb vizsgálatok eredményeképpen a jelenlegi helyzet az, hogy csak a hüvelyesek oltásának van értelme és gyakorlati eredménye, főleg olyan talajokon, ahol ezek még nem, vagy nagyon régen termeltettek, és a talaj fizikai és kémiai állapota normális. Minden egyéb talajoltás gyakorlati eredménye nagyon csekély, mert a talaj mindenkor fizikai-kémiai állapota döntő arra nézve, hogy ezek a belehozott élő szervezetek tovább is élni tudnak, vagy pedig elpusztulnak. Meg kell gondolnunk továbbá, hogy eredményes oltásra igen nagy tömegben kellene a hasznos baktériumokat alkalmazni, hogy az oltás hatásos legyen, amely körülmény azonban nem lenne gazdaságos. Ha a talaj fizikai-



kémiai állapota kedvező, akkor meg hasznos szervezetek normális talajokon úgyis jelen vannak és meglehetősen elszaporodnak. Kivételt képezhetnek ebben a tekintetben hazánkban Bokor munkái alapján a javított szikes talajok, amelyek mikroorganizmusokban nagyon szegények és sok idő mulhatna el addig, míg a javítás következtében a hasznos mikroszervezetek belekerülnek és elszaporodnak.

A talaj biológiájának megismerése növényélettani szempontból is kiváló fontosságú, mert egyrészt szorosan összefügg a mikroszervezetek tevékenysége a növények táplálkozásával, másrészt az alsóbbrendű növények fiziológiájának kutatási munkája kísérletileg könnyebben hozzáférhető lévén, eredményei termékenyítőleg hatnak a magasabbrendű növények biológiájának kutatására.

#### **Az erdőtalaj biológiája és annak az erdő életét befolyásoló élettani jelentősége.**

Az erdőgazdaság többtermelési problémája, amely az erdőüzem tudatos szabályozását célozza, mindinkább előtérbe nyomul. Hartignak azon bölcs szavai, amelyek az 1878-ban megjelent munkája — „Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen” — előszavában éles előrelátásról tanuskodnak, mind nagyobb jelentőséggel bírnak. Alapgondolata, amely ma több súllyal bír, mint annak idején, a következőket tartalmazza:

„Valamint minden termelő iparág észszerű üzemének alapja és támasza az élet és a siker feltételeinek az ismerete, beleértve annak keletkezési és fejlődési folyamatát, épen olyan fontos különösen azon élőlények táplálkozási- és növekedési, valamint szaporodási- és kórtüneteinek élettani ismerete, amelyek a növény- és állattenyésztés tárgyát képezik.”

„A jelenlegi erdőművelés szabályai legnagyobb részben az erdőgazdaság üzemének gyakorlati eredményei, amelyek a vetésre és ültetésre oktatnak, továbbá az állomány védelmére és kihasználására, hogy a tapasztalatoknak megfelelő jó eredményt várhassunk. Egymagukban azonban ezek a tapasztalati szabályok, amelyeken a mai erdőgazdasági üzem felépült, megkötik



az ember kezét és azonnal cserben hagyják, amint még ki nem próbált termőhelyi-, állomány- és felhasználási viszonyokról van szó; sohasem biztosítják azt, hogy az üzem feltétlenül a legjobb és hogy a tapasztalat alapján elért jó eredménynél nincs-e még jobb. Nagyobb biztonság, az erdőgazdaság jövedelmezősége terén jobb eredmény, egyedül az állomány életjelenségeinek (biológia), alkotóanyagának (kémia) és alakbeli szerkezetének (anatómia, histológia) ismeretéből eredhet, amelyekben, illetőleg amelyek útján az életműködés megnyilvánul, épen úgy, mint az óra szerkezeti működésének megismeréséhez feltétlenül szükséges az óra szerkezetét képező kerek, rugók és láncszerkezetek anyagának és összeállításának ismerete."

Ennek a kérdésnek megoldásához azonban elsősorban az erdei fák élettani törvényszerűségeinek pontos biokémiai-biofizikai vizsgálata szükséges, azok kémiai összetételének az erdőtalaj biológiai és fizikai tulajdonságaival fennálló kölcsönhatását illetőleg.

Az erdőtalaj élettani törvényszerűségeinek biztos és kifogástalan vizsgálata azonban csak akkor veheti kezdetét, ha a talaj biokémiai életfolyamatainak problémája már teljes mértékben megoldást nyert.

Azok közül a termőhelyi tényezők közül, amelyek a fák életét, illetőleg növekedését döntően befolyásolják, elsősorban a következők állanak az újabb erdő-biológiai kutatás előterében: 1. Az erdő  $\text{CO}_2$  táplálkozása és a  $\text{CO}_2$  körfolyamata az erdő életében. 2. A fény biológiai szerepe az erdő életének fiziológiai befolyására. 3. Az erdőtalaj biológiája, annak állat- és növényvilága és ezeknek szerepe a humusz képződésében és a talaj táplálóanyagainak kialakulásában. 4. A talajsavanyúság biológiai szerepe az erdő életében és az erdőtalaj kémiai összetételének erre gyakorolt hatása. 5. A klimatikus növekedési faktorok szerepe. 6. A fenti tényezőknek kölcsönös összefüggése. 7. A gyakorlati gazdasági eljárásoknak az erdőtalaj biológiai faktoraival való kölcsönös összefüggése és ennek a növekedés fokozása céljából való felhasználása.

E kérdések megoldására a m. kir. bányamérnöki és erdőmérnöki főiskola Növénytani Intézetében már 1923. óta folynak



a sorozatos vizsgálatok, amelyeknek legnagyobb része még ma is folyamatban van.

Ezeknél a vizsgálatoknál a problémának minden oldalú kapcsolata és ckozati összefüggése figyelembe vétetett és pedig lehetőleg hosszabb időszak alatt. A részletekkel foglalkozó vizsgálatok ugyanis nem adnak olyan összefüggő képet és ennél fogva nem nyerhetünk általános érvényű törvényszerűségeket sem. Csakis az összes számbajövő élettani tényezőknek hosszú megfigyelési időszakon át folytatott, azok kölcsönös összefüggéseit illető viszonylatai adhatnak felvilágosítást, illetőleg nyújthatnak bepillantást az erdőtalaj bonyolult életfolyamataiba.

Az eddigi vizsgálatok három irányban terjedtek ki:

I. Az erdőtalaj állat- és növényvilágának (mikrofauna és mikroflora) vizsgálata.

II. Az erdő  $\text{CO}_2$ -táplálkozásának vizsgálata, egyrészt az erdőtalaj mikrobáinak működésével való összefüggését, másrészt a rá befolyással levő termőhelyi tényezőkkel való kapcsolatát illetőleg.

III. Az erdőtalaj N-anyagcseréjének vizsgálata.

### Az erdőtalaj mikroflórája.

Az ezirányú első vizsgálatokat B o k o r végezte, aki a szükséges tömegvizsgálatoknak megfelelően egy nagyon alkalmas és célszerű eljárást dolgozott ki, amely az elektív és hígítási eljárásokon alapszik, illetőleg azokat a célnak megfelelően egyesíti.

A vizsgálatok folyamán az alábbi tényezők lettek mérve:

1. A talajbaktériumok összmennyisége, még pedig a gélatina- és ágárlemezen összeolvasva, az utóbbin az aerob és anaerob baktériumok elkülönítésével.

2. A talajbaktériumok a fontosabb fiziológiai csoportok szerint elkülönítve az elektív- és hígítási eljárás szerint.

3. A talaj fontosabb biokémiai sajátosságai, és pedig:

- a) a talaj ph-tartalma,
- b) a talaj víztartalma,
- c) a talaj humusztartalma,
- d) a talaj  $\text{CaCO}_3$  tartalma,
- e) a talaj porozitása,
- f) a talaj abszolút vízkapacitása és az utóbbi kettő alapján



g) a talaj levegőkapacitása.

A megvizsgált kísérleti területek a következők voltak.

I., I/a. Teljes záródású, fiatalkorú lúcfenyő, vörösfenyő és fekete-fenyő szálerdő mély agyagtalajon, aljnövényzet nélkül, alomtakaróval.

II. Fiatal gyertyán sarjerdő beültetve lúcs- és jegenyefenyővel, homokos agyagtalajon, sűrű aljnövényzettel.

III. 0'8 záródású, vágható korú gyertyán sarjerdő üde homokos agyagtalajon, vastag alomtakaróval.

IV. Teljes záródású, középkorú lúcfenyő szálerdő agyagtalajon, aljnövényzet nélkül.

V. 0'7 záródású, középkorú lúcfenyőerdő mély homokos agyagtalajon, aljnövényzettel.

VI. Ákác legelőerdő mély kavicsos agyagtalajon, fűtakaróval.

VIII. 0'8 záródású, középkorú kocsányostölgy, csertölgy és gyertyán sarjerdő homokos agyagtalajon, aljnövényzettel.

X. Teljes záródású, középkorú lúcfenyőerdő nyers humusztakaróval, aljnövényzet nélkül.

XV. 0'9 záródású, vágható korú gyertyán sarjerdő, homokos agyagtalajon, kevés aljnövényzettel.

XVI. 0'9 záródású, középkorú bükk és gyertyán sarjerdő homokos talajon, kevés aljnövényzettel.

XVIII. 0'2 záródású, fiatalkorú erdeifenyőerdő kavicsos talajon, amely Calluna vulgaris-szal van sűrűn benőve.

Az eredményeket a 172—173 oldalon levő táblázat tartalmazza.

Ezekon kívül az I/a számú kísérleti területen a baktériumok talajmélység szerinti eloszlása is meg lett állapítva. Az eredmények a 174. oldalon levő táblázatban vannak feltüntetve.

A vizsgálatok főbb eredményeit a következőkben foglaljuk össze:

1. Az erdőtalajok baktériumflórája számszerint mélyen alatta marad a trágyázott és mezőgazdaságilag művelt talajok baktériumtartalmának. Ez a különbség azonban az egyes baktériumfajok mennyiségét illetően világosan nem figyelhető meg.

2. A talajbaktériumok számaránya főleg a reakciótól, azaz a talaj ph-tartalmától függ. Ugyanazon ph-tartalom mellett a baktériumtartalom részarányosan növekszik a talaj organikus anyagtartalmával, azaz a humusztartalommal és a talaj levegőkapacitásával.

3. A levegő szabad N-jét megkötő baktériumok az erdőtalajban magasabb savanyúságot, azaz sokkal kisebb ph-tartalmat bírnak, mint a mezőgazdaságilag művelt talajban.



Folyó szám	A talaj fizikai és kémiai tulajdonságai Baktériumcsoportok	I.	I/a.	II.	III.
1.	A talaj reakciója	savanyú	savanyú	savanyú	gyengén savanyú
2.	Cseresavanyúság ph-értékben	4'8	4'8	4'8	5'6
3.	Aktiv savanyúság ph-értékben	6'0	6'0	4'2	6'6
4.	Víztartalom a nedves föld súly %-ában	13'5	12'5	19'5	9'0
5.	Humusztartalom %-ban	4'0	3'1	2'2	2'8
6.	Szénsavas mész (CaCO <sub>3</sub> ) %-ban	0	0	0	0
7.	Porozitás térfogat %-ban	49'8	—	47'0	51'3
8.	Abszolút vízkapacitás térfogat %-ban	28'8	—	33'3	33'2
9.	Abszolút levegőkapacitás térfogat %-ban	21'0	—	13'7	17'1
10.	Ágárlemezen tenyésztett baktériumok száma	4,500.000	1,500.000	3,100.000	2,100.000
11.	Gelatinalamezen tenyésztett baktériumok száma	1,200.000	400.000	500.000	950.000
12.	Anaerob cukorágáron tenyésztett baktériumok száma	1,000.000	1,300.000	200.000	400.000
13.	A levegő szabad N-jét megkötő aerob bakt. száma	0'1	0'1	0	10
14.	A levegő szabad N-jét megkötő anaerob bakt. száma	10.000	10.000	0	10.000
15.	Nitrifikáló baktériumok száma	1.000	10.000	100	1
16.	Denitrifikáló bakt. száma	10.000	10.000	10.000	1.000
17.	Anaerob cellulózbontó baktériumok száma	10	1.000	10	1.000
18.	Aerob cellulózbontó baktériumok száma	1.000	1.000	6.000	100
19.	Fehérjebontó bakt. száma	120.000	10.000	100.000	10.000
20.	Aerob pektinbontó baktériumok száma	100	100.000	1.000	10.000
21.	Anaerob pektinbontó baktériumok száma	1.000	100.000	10.000	1.000
22.	Aerob karbamidbontó baktériumok száma	100.000	100.000	10.000	10.000
23.	Anaerob vajsavas erjedést okozó baktériumok száma	100.000	10.000	20.000	10.000

Az adatok 1 gramm nedves földre vonatkoznak.



IV.	V.	VI.	VIII.	X.	XV.	XVI.	XVIII.
gyengén savanyú	savanyú	alkalikus	savanyú	közel neutrális	savanyú	savanyú	savanyú
5'6	4'2	7'5	4'3	6'8	4'9	4'8	4'4
6'6	6'2	7'0	6'4	6'8	6'4	6'2	6'8
10'2	15'8	13'6	10'5	13'8	11'5	20'8	24'0
—	0'9	6'5	2'3	11'3	1'8	0	—
0	0	15'5	0	0'7	0	0	0
44'6	42'0	43'0	46'9	42'2	61'6	—	48'9
35'3	30'0	36'1	29'2	36'1	30'7	—	20'3
9'3	12'0	6'9	17'7	6'1	30'9	—	28'6
3,150.000	300.000	800.000	600.000	2,500.000	350.000	1,000.000	380.000
1,000.000	50.000	150.000	500.000	2,000.000	200.000	600.000	60.000
1,540.000	200.000	10.000	200.000	900.000	90.000	600.000	35.000
10	0	100	0	10	0'1	0	0
100.000	0	0	0	10.000	1.000	10.000	0
10.000	100	1.000	1.000	100	1.000	100	0
10.000	1.000	1.000	100	0	10.000	1.000	0
100.000	1.000	50	100	10.000	1.000	1.000	100
100	1.000	3.000	4.000	5.000	14.000	1.000	0
100.000	10.000	10.000	25.000	1.000	100	10.000	10.000
1.000	1.000	10.000	50.000	0	10.000	10.000	10
100.000	10.000	10.000	10.000	100.000	5.000	10.000	100
190.000	50.000	100.000	10.000	100.000	100.000	200.000	0
200.000	10.000	10.000	1.000	200.000	10.000	10.000	1.000



# A baktériumok talajmélység szerinti eloszlása.

Folyó szám	Reakció, humusztartalom stb. Baktériumcsoportok	M é l y s é g					
		2—5 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm
1.	A talaj reakciója	savanyú	savanyú	savanyú	savanyú	savanyú	savanyú
2.	Cserehasanyúság ph.	4·8	4·6	4·8	4·9	5·0	5·1
3.	Humusztartalom ‰	3·1	1·0	0·4	0	0	0
4.	Ágárlemezeken tenyésztett baktériumok száma	2,500,000	1,500,000	800,000	500,000	60,000	6,000
5.	Gelatinalamezen tenyésztett baktériumok száma	1,000,000	900,000	650,000	90,000	40,000	3,500
6.	Anaerob cukorágáron tenyésztett baktériumok száma	1,300,000	1,800,000	2,000,000	900,000	100,000	2,000
7.	Aerob N-kötő baktériumok	0	0	0	0	0	0
8.	Anaerob N-kötő baktériumok	10,000	1,000	1,000	100	0	0
9.	Nitrifikáló baktériumok	10,000	1,000	1,000	0	0	0
10.	Denitrifikáló baktériumok	10,000	10,000	10,000	100	0·1	0
11.	Anaerob cellulózbontó bakt.	1,000	1,000	1,000	100,000	0·5	0·1
12.	Aerob cellulózbontó bakt.	1,000	1,000	100	0	0	0
13.	Fehérjebontó baktériumok	10,000	1,000	0	0	0	0
14.	Aerob pektinbontó bakt.	100,000	10,000	10,000	0	0	0
15.	Anaerob pektinbontó bakt.	100,000	10,000	100,000	100,000	1,000	100
16.	Aerob carbanidbontó bakt.	100,000	10,000	1,000	100	0	0
17.	Anaerob vajsavas erjedést okozó baktériumok	10,000	100,000	1,000,000	100,000	10,000	100

Szénsavas mész (CaCO<sub>3</sub>) tartalom: 0.

Az adatok 1 g nedves földre vonatkoznak.



4. Az erdőállomány összetétele alapján a baktériumok száma a következő sorrendben emelkedik:

Elegyetlen tülevelű állomány < elegyetlen lomblevelű állomány < tű- és lomblevelű elegyes állomány.

Ez a körülmény valószínűleg a fenti erdőtípusoknál ugyanilyen sorrendben emelkedő humusztartalommal és levegőkapacitással van összefüggésben.

5. A teljesen zárt állományok talaja mutatja a legkisebb ph-tartalmat, vagyis a legnagyobb aciditást és a legkevesebb baktériummennyiséget. A baktériumflóra kifejlődésére kedvező hatással van a zárlatnak 0'9-ra való lecsökkentése. Viszont kisebb 0'7—0'4 zárlatban az ezzel járó nagyobb fényintenzitás következtében csökken a baktériumszám, kivéve ha a fénynek ezt a káros hatását a több világosság hatására buján kifejlődött talajtakaró aljnövényzet ellensúlyozni tudja.

6. Egyenlő fiziológiai körülmények mellett a baktériumok összmennyiségét közvetve befolyásolja a 0'01 mm-nél kisebb átmérőjű talajrészecskék százalékos száma. Ez utóbbi emelkedésével apad a baktériumok száma, túlsúlyra emelkedve pedig kedvezően hat az anaerob baktériumok fejlődésére, valamint közvetve az erdőtalaj aciditásának emelkedésére.

7. A pektin- és cellulózbontó anaerob baktériumok száma fordított viszonyban van a talaj abszolút levegőkapacitásával.

8. Az erdőtalaj nitrifikáló baktériumainak száma valószínűleg a talaj savanyú reakciója következtében igen csekély és azt a denitrifikáló baktériumok tömege rendszerint messze túlszárnyalja.

9. Az erdőtalajban 50—60 cm mélységig igen élénk baktériumélet megy végbe.

#### **Az erdőtalaj mikrofaunája.**

Az ezirányú vizsgálatok elsősorban a talaj protozoa-faunájára terjedtek ki. Ezeket a vizsgálatokat Fehér és Varga végezték a következő kísérleti területeken:

1. Középkorú lúcfenyőerdő a Sopron melletti Várison, agyagtalajon, 2. lúccsoport a főiskola botanikus kertjében, agyagtalajon, gazdag aljnövényzettel, 3. a főiskola tanulmányi erdőgondnokságában levő teljes záródású, fiatalkorú lúcfenyőerdő, mély, kissé televényes ho-



mokos agyagtalajon és 4. a közvetlen szomszédságában levő sarjerdő.

A vizsgálat tárgyát a következő tényezők képezték: 1. A talajprotozoák, 2. a talaj összes baktérium száma, 3. a talajgombák száma, 4. a pH-érték, 5. a levegő- és talajhőmérséklet, 6. a légnyomás, 7. a légnedveség, 8. a fényintenzitás, 9. a talaj humusztartalma, 10. vízkapacitása és 11. porozitása.

Ezeknek a vizsgálatoknak eredményeit a 20., 21. és 22. sz. képek és a 180. oldalon levő táblázat tartalmazza.

Ezeknek a vizsgálatoknak fontosabb eredményei a következők:

1. Az erdőtalajban nagy mennyiségű protozoa él, amelynek száma azonban jóval alatta marad a kerti vagy mezőgazdaságilag megművelt talajok protozoa számának.

2. A protozoák legnagyobb tömegét a Rhizopodák és pedig az Amoebák adják.

3. Az erdőtalajban a protozoák két időszakban érnek el egy-egy számbeli maximumot: az egyik késő ősszel (nov.-dec.) a másik pedig a nyári hónapok elején áll be. Ez utóbbi maximum azonban nem annyira kifejezett, mint az első.

4. A protozoa fauna kifejlődésében mint legfontosabb faktor a talaj víztartalma szerepel. A többi organikus faktor (talajhőmérséklet, léghőmérséklet, humusztartalom, pH-értékek, levegőnedvesség stb.) alárendeltebb jelentőséggel bír, csak a tél derekán beálló erős hőmérsékletcsökkenés hat károsan a protozoák fejlődésére.

5. Az erdőtalajban a protozoák nagy mennyisége betokozódott állapotban található meg.

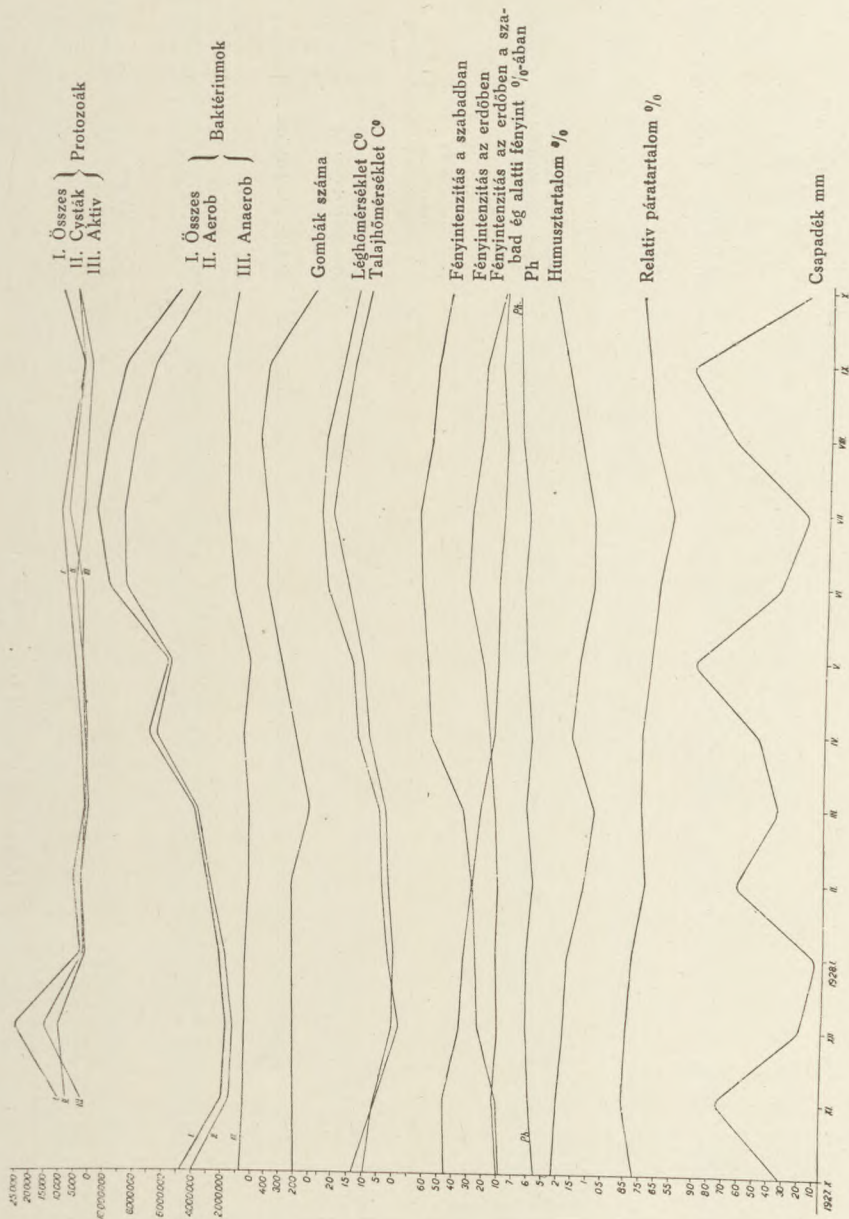
6. Az erdőtalajban az erdő táplálkozása szempontjából a baktériumok kétségkívül nagyobb fontossággal bírnak, mint a protozoák.

7. A talajbaktériumok és a talajprotozoák között látszólag nincsen semmi összefüggés.

8. A talajprotozoák nagy része egész éven keresztül megtalálható és tenyészthető, vannak azonban olyan fajok is, amelyek csak elvétve, vagy pedig meghatározott évszakban jelentkeznek.

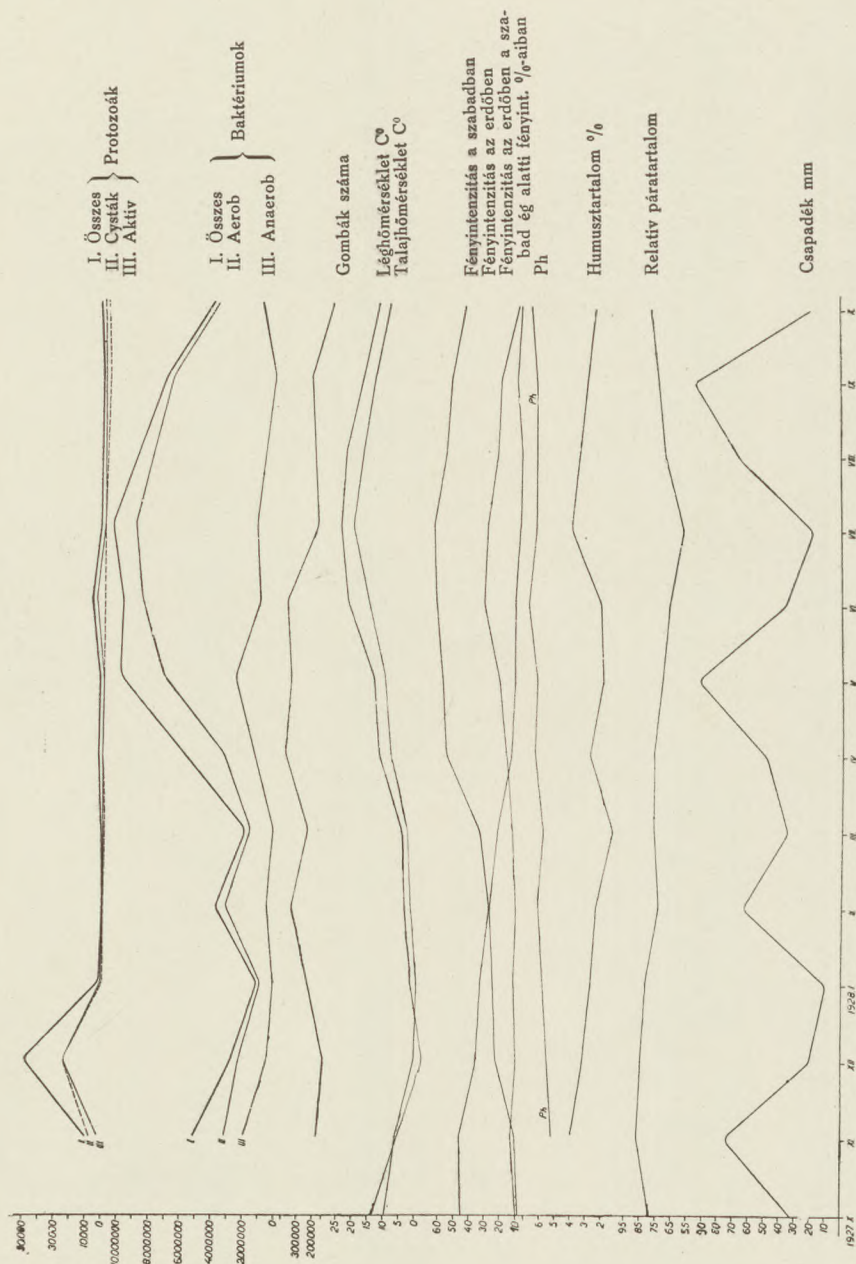
9. A talaj protozoa-faunáját tekintve egyelőre nem lehet nagy különbséget tenni a fenyőerdő és a lomberdő talaja között.





20. kép.  
Főiskolai lúccsoport. E.

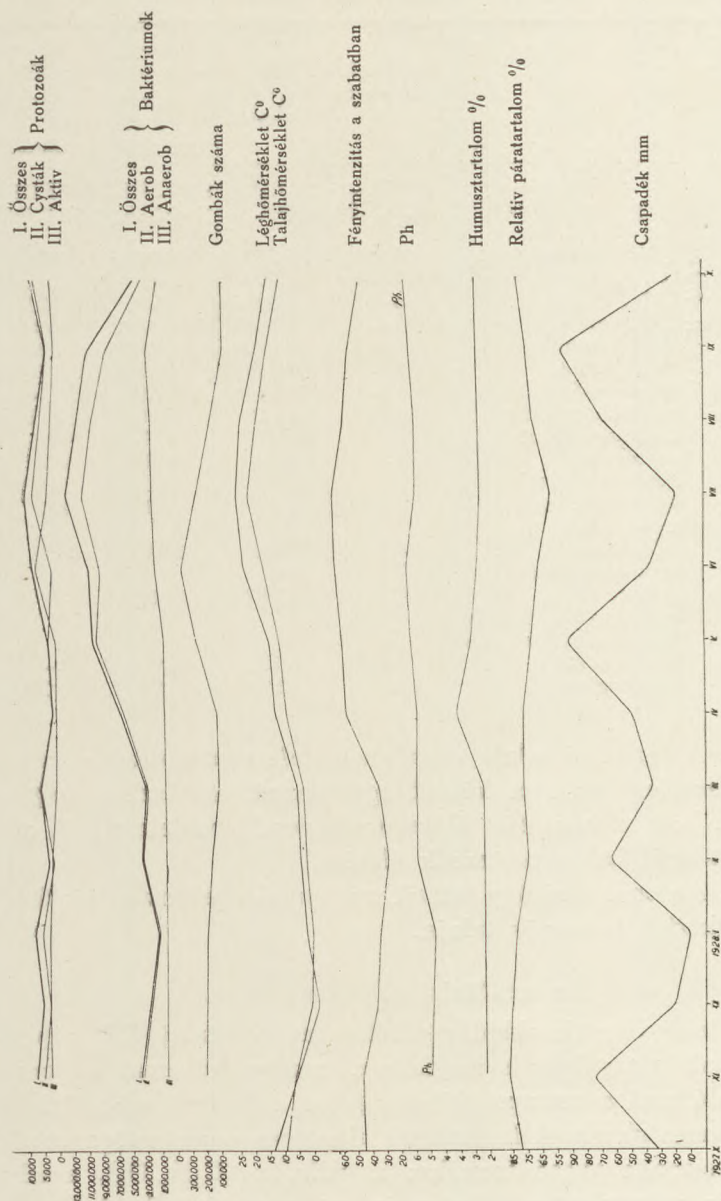




21. kép.

Lútfenyőerdő a főiskola tanulmányi erdejében. E.





22. kép.  
Sarlódó a főiskola tanulmányi erdejében. E.



## A protozoavizsgálatok eredményei.

Folyó szám		Várisi lúcfenyő- erdő	Lúc- csoport a főiskolán	Lúc- fenyőerdő	Sarj- erdő	
				a főiskolai tanulmányerdőben		
	Megfigyelési időszak	1927 XI. 1- 1928 X. 30.	1927 XI. 1- 1928 X. 30.	1927 XI. 1- 1928 X. 30.	1927 XI. 1- 1928 X. 30.	
1.	Proto- zoák {	Összesen	6.250	7.275	9.042	5.372
2.		Cysták	2.438	4.000	3.885	3.041
3.		Aktívák	4.357	3.930	5.227	3.525
4.	Baktéri- umok {	Aerob	—	4.825.000	4.971.666	5.786.710
5.		Anaerob	—	877.000	1.072.727	870.000
6.		Összes	—	5.687.300	6.178.363	6.654.375
7.	Gombák száma	—	261.530	260.000	169.166	
8.	Levegőhőmérséklet	12°18	12°18	12°18	12°18	
9.	Talajhőmérséklet	9°22	9°22	9°22	9°22	
10.	Ph-értékek	—	6°24	6°12	5°73	
11.	Humusztartalom	—	1°67	2°81	2°68	
12.	Csapadékmennyiség	47°3	47°3	47°3	47°3	
13.	Fényintenzitás a szabadban	52°4	52°4	52°4	52°4	
14.	Fényintenzitás az erdőben	17°82	17°82	17°82	—	
15.	Fényintenzitás az erdő- ben, a szabadban mért fény % -ában	15°30	15°30	15°30	—	
16.	Légnedvesség	75°22	75°22	75°22	75°22	

10. A sarjerdő talaja azonban, a talajprotozoák életműködését illetőleg lényeges különbséget mutat, ami azzal magyarázható, hogy a nem zárt állomány kevesebb védelmet ad, ami kedvezőtlenül hat a protozoák életére.

11. Az erdőtalaj úgy látszik szegényebb protozoa-fajokban, mint a kertek és mezők talaja.

Az erdőtalaj CO<sub>2</sub> termelése.

A fenti vizsgálatokkal egyidőben az erdőtalaj CO<sub>2</sub> táplálkozásának vizsgálata is megindult, amely folyamat az erdei fák táplálkozása szempontjából egyike a legfontosabb fiziológiai folyamatoknak. A fa testének alapanyaga, az erdőgazdasági növénytermelés végső terméke: a cellulóz (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>), amelynek már mennyiségénél fogva is legfontosabb alkotórésze a carbon. Összetétele a következő:



	Tiszta cellulóz%	Elfásodott cellulóz%
C	44'4	50'0
H	66'2	6'5
O	49'4	42'0
N	—	0'5—1'0
Hamualkotórészek	—	1'0

A növény a cellulózt a levegő  $\text{CO}_2$ -jából és a talaj  $\text{H}_2\text{O}$ -éből az asszimiláció útján építi fel, és a vizsgálatok kétségkívül bebizonyították, hogy az erdőtalaj  $\text{CO}_2$  termelése és ezzel kapcsolatban a levegő  $\text{CO}_2$  tartalma az erdő életében nagyon fontos biológiai szerepet játszik.

A mai extenzív erdőgazdasági viszonyok mellett a szerves anyagok bomlási folyamata és az erdőtalaj  $\text{CO}_2$ -produkciója a növény táplálkozása szempontjából a legfontosabb élettani tényezők. Eltekintve a talaj ásványi alkotórészeitől, a fontosabb szervetlen alkotórészek a szerves anyagok bomlásából származnak. Az asszimiláció részére szükséges  $\text{CO}_2$ -mennyiséget legnagyobb részben a talajlélekzés szolgáltatja.

Az erdőtalaj mikroszervezetei, amelyek a talajban végbe-menő biokémiai bomlási folyamatokat megindítják, intenzív működésükkel állandóan  $\text{CO}_2$ -t termelnek, amely  $\text{CO}_2$  azután felfelé diffundál és az asszimiláció folyamán legnagyobb részben elhasználdik, míg az asszimiláció útján el nem használt  $\text{CO}_2$ -mennyiség az erdei levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmát növeli.

Világos tehát, hogyha a fák  $\text{CO}_2$ -asszimilációja az erdei levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmának növelésével fokozható volna, úgy az erdei állományok tömegnövekedésének emelése is minden további nélkül keresztülvihető lenne. Ha tehát az erdő  $\text{CO}_2$ -táplálkozásának lefolyását teljesen tisztázni akarjuk, úgy elsősorban ezen biokémiai folyamat általános vonatkozásait kell felderíteni.

Hazánkban az idevonatkozó vizsgálatokat F e h é r és V á g i 1924. nyarán kezdték meg. Ezen vizsgálatok során, bár azok sok tekintetben nagyon érdekes eredményekre vezettek, nem sikerült a kérdést a maga teljes összefüggésében és törvényszerűségeivel felderíteni.



Ezeknél a vizsgálatoknál a következő fontosabb tényezők lettek mérve: 1. Az erdő levegőjének  $\text{CO}_2$ -tartalma, 2. az erdő talajának  $\text{CO}_2$ -termelése, mindkettő meghatározása a Lundegårdh-féle volumetrikus készülékkel történt (l. 23. kép), 3. a talaj és levegő hőmérséklete, 4. a talaj nedvessége, 5. a fényintenzitás nagysága, 6. a szél erőssége, 7. a talaj baktérium tartalma fiziológiai csoportok szerint és az összes baktérium számra nézve, 8. a talaj reakciója, 9. a talaj humusztartalma és víztartalma.

A vizsgálatok a következő három Hallands-Väderöben fekvő kísérleti területen lettek lefolytatva:



23. kép.

A talajlélekzés és a levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmának mérése.

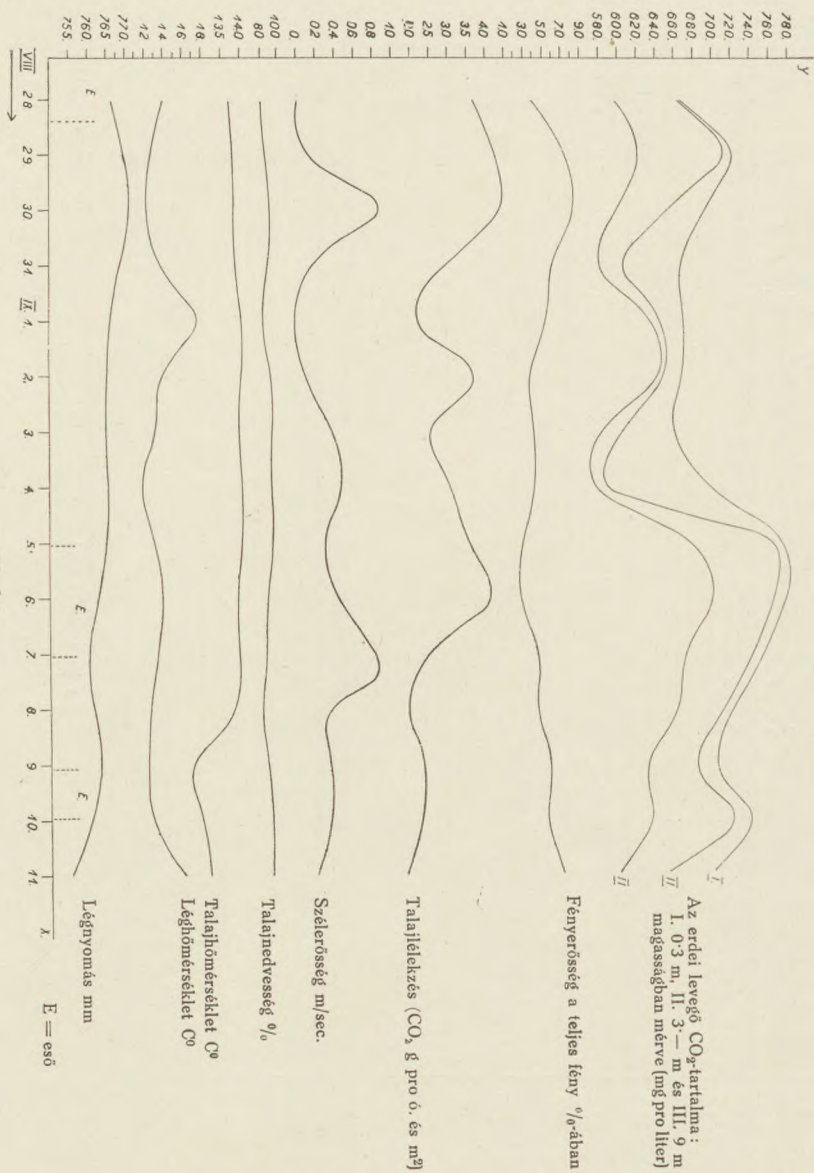
1. Idősebb korú 0'7—0'8 záródású égererdő, amelynek talaja tözegesedésnek indult. 2. Vágható korú, 0'9 záródású elegyetlen bükkerdő, amelynek talaját vastag lombtakaró borítja és csak szórványosan fordul elő aljnövényzet. 3. Idős korú 0'7—0'8 záródású elegyetlen erdeifenyőerdő, amelynek talaja jórészt aljnövényzettel van borítva.

E vizsgálatok eredményeit összefoglalóan a túloldali táblázat tartalmazza, míg a bükkerdőben és az erdeifenyőerdőben végzett mérések eredményeit részletesen a 24. és 25. kép tünteti fel.











Folyó szám	A talajbaktériumcsoportok biogén tulajdonságai*)	Bükkerdő Humusz- talaj	Égererdő Humusz- talaj	Erdei- fenyőerdő Homok- talaj
1.	A talaj reakciója	gyengén savanyú	savanyú	savanyú
2.	A talaj reakciója a talaj felszínén	5'2	4'0—4'1	4'2
	Cseresavanyúság ph = 20—30 cm	5'2	4'3—4'4	4'3
	Cseresavanyúság ph = 30—50 cm	4'8	4'4—4'6	4'4
	Cseresavanyúság ph = talaj felsz.	6'2	4'3	5'2
3.	Aktivsavanyúság ph = 20—30 cm	6'5	4'0	5'4
	Aktivsavanyúság ph = 30—50 cm	6'5	5'2—5'4	5'6
4.	Víztartalom súlyszázalékban	34%	56%	2'1%
5.	Humusztartalom súlyszázalékban	4'2%	8'6%	0'5%
6.	Ágárlemezen tenyésztő baktériumok	5,500.000	3,200.000	1,650.000
7.	Gelatinalemezen tenyésztő bakt.	6,000.000	2,500.000	1,300.000
8.	Anaerob cukorágáron tenyésztő baktériumok	3,000.000	5,000.000	500.000
9.	Aerob a levegő szabad N-jét meg- kötő baktériumok	10	—	—
10.	Anaerob a levegő szabad N-jét megkötő baktériumok	10.000	1.000	100
11.	Nitrifikáló baktériumok	10	10	—
12.	Denitrifikáló baktériumok	10.000	10.000	10.000
13.	Anaerob cellulózbontó baktériumok	10.000	1.000	1.000
14.	Aerob cellulózbontó baktériumok	1.000	100	1.000
15.	Aerob fehérjebontó baktériumok	100.000	10.000	10.000
16.	Aerob pektinbontó baktériumok	100.000	10.000	10.000
17.	Anaerob pektinbontó baktériumok	1,000.000	100.000	10.000
18.	Karbamidbontó baktériumok	1,000.000	100.000	10.000
19.	Anaerob vajsavas erjedést előidéző baktériumok	1,000.000	100.000	10.000
20.	CO <sub>2</sub> termelés óránként és m <sup>2</sup> -enkint g.-okban	8'7	2'37	2'98

Ezek a vizsgálatok, amelyeknek folyamán az erdőtalaj életébe mélyebb bepillantást nyertünk, általában a következő biológiai összefüggéseket tárták fel:

1. A talajlélekzés és a CO<sub>2</sub>-tartalom között, amint ez várható is volt, szoros összefüggés van. Az erdei levegő CO<sub>2</sub>-tartalma a mindenkor talajlélekzéstől függ.

2. Az egymás felett elhelyezkedő levegőrétegek CO<sub>2</sub> tartalma között szintén okozati összefüggés van és pedig olyan képen, hogy a CO<sub>2</sub>-koncentráció alulról fölfelé fokozatosan csökken. A diffúziós esés a megvizsgált erdőalakoknál megközelítőleg egyenlő volt.

\*) Az adatok 1 g nedves földre vonatkoznak.



3. A talajlélekzést és az erdei levegőnek azzal szorosan összefüggő  $\text{CO}_2$ -tartalmát az erdőtalaj savanyúsága lényegesen befolyásolja. A savanyúság emelésével, illetőleg a pH-értékek csökkenésével a talajlélekzés intenzitása és ezzel együtt az erdei levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma állandóan kisebbedik.

4. A savanyúságnak ez a hatása valószínűleg ennek az erdőtalaj mikroorganizmusaira gyakorolt hatásában keresendő.

5. Az erdei levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma az eléggé jelentékeny talajlélekzés dacára is annak optimális értékei mellett, nevezetesen 3 és 9 m magasságban, aránylag csekély értéket mutat, úgyhogy a  $\text{CO}_2$ -tényező is ennek megfelelően nagyon alacsony.

6. Az előző vizsgálatokkal egyezően ezek a vizsgálatok is beigazolták, hogy oly erdőtalajokban, amelyek a  $\text{CO}_2$ -termelés szempontjából viszonylag jó állapotban vannak, a levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmát normális erdőgazdasági eljárásokkal nagyon nehezen növelhetjük.

7. Erősen savanyú erdőtalajok javítása az állomány széndioxid-táplálkozását is kedvezően befolyásolhatja. Ennek a kérdésnek megítélésénél éles különbséget kell tennünk jó és rossz erdőtalaj között.

8. A talaj javítása és az ezzel összefüggő talajlélekzés a gyakorlati erdőgazdaságban, különösen a természetes felújítási módoknál, nevezetesen a fiatal állományok széndioxid-táplálkozásánál, amelyek a viszonylag  $\text{CO}_2$ -ben gazdagabb alsó levegőrétegben tenyésznek, játszik fontos szerepet.

9. A klimatikus tényezők közül különösen az esős időszakok hatását lehetett az erdő  $\text{CO}_2$  viszonyaira kimutatni. A talajlélekzés és a  $\text{CO}_2$ -tartalom optímuma rendszerint az esős időszakokba esik.

10. Nagy általánosságban a levegő hőmérsékletének és a szélnek fokozódó befolyását is ki lehetett mutatni.

11. A talaj hőmérséklete a nyári időszakban viszonylag csekély ingadozásoknak van kitéve s rendszerint erősebb hatás nélkül marad. Az egyes klímafaktorok hatásának megítélésénél nagy körültekintéssel kell eljárunk, miután ezek a tényezők egymásra kölcsönösen erős befolyást gyakorolnak, amiáltal kölcsönös vonatkozásuk erősen bonyolulttá válik.



12. A  $\text{CO}_2$ -termelés legnagyobb intenzitású a maximális baktériumszám mellett, ha ezek között az aerob baktériumok túlsúlyban vannak.

13. Föltétlenül szükséges, hogy a nagy baktériumszám mellett a talaj jól át legyen szellőződve és O elegendő mennyiségben álljon rendelkezésére. A mocsaras égererdő nagy baktériumszámot mutat ugyan, de a  $\text{CO}_2$ -termelés értékei alacsonyak maradnak, mivel a viszonylag nagy víztartalom (56%) miatt az anaerob baktériumok túlsúlyban vannak.

14. Az aerob cellulózbontó baktériumok száma arányos a talaj  $\text{CO}_2$ -termelésével.

15. Az erdőtalaj  $\text{CO}_2$ -termelése céljából az erdő termelésének fokozása érdekében nagyfontosságú, hogy a gyakorlati mezőgazdasági eljárásoknál a talaj átszellőzését is figyelembe vegyük és azt megfelelő talajmunkálással lehetőleg fokozzuk.

A fenti vizsgálatok lezárása után az ezirányú kísérletek a magyar erdőkben lettek folytatva. Ugyanis a lefolytatott vizsgálatok eredményeinek összehasonlítása és tárgyilagos megítélése céljából szükségessé vált újabb, az eddiginél is kiterjedtebb vizsgálatokat foganatosítani és a főleg Svédország déli részén lefolytatott vizsgálatokat Közép-Európa erdeire, így a mai magyarországi erdőkre is kiterjeszteni. Ha ugyanis az ilyen különböző és jelentékenyen eltérő termőhelyi viszonyok mellett lefolytatott vizsgálatok eredményei egymást megerősítik, akkor ezek a törvényszerűségek általánosíthatók lesznek.

Természetesen ezek a vizsgálatok is, mint az eddigiek, igyekeztek az erdő  $\text{CO}_2$ -táplálkozásának problémáját a maga teljes biológiai összefüggésében felölelni, úgyhogy az összes számbajöhető fontos biológiai tényezők beható kutatásnak lettek alávetve. Ezek a megmért biológiai tényezők a már felsoroltakon kívül (l. 182. oldal) a következők voltak: 10. a légnyomás, 11. a légnedvesség, 12. a talaj porozitása, levegő- és vízkapacitása, 13. a talaj gombáinak és protozáinak száma, 14. a talaj összes-nitrogén és nitrát-nitrogén tartalma.

A vizsgálatok folyamán a fenti elgondolás alapján a következő erdő-részletek lettek beható vizsgálat alá véve:

1. Középkorú, 0'7 záródású kocsányos tölgyerdő Kiskomáromban, homoktalajon. 2. Fiatalkorú, 0'8 záródású erdeifenyőerdő Kiskomáromban, ugyancsak homokon telepítve. Azonkívül még lettek vizsgálva 3. a Sopron melletti Várison levő lúcfenyőerdő, 4. a főiskola bota-



nikus kertjében levő lúccsoport, 5. a főiskola tanulmányi erdőgondnokságában levő lúcfenyőerdő és 6. sarjerdő (l. 175. oldal).

Ezek a vizsgálatok minden kétséget kizárólag beigazolták, hogy a talaj baktériumszáma különösen erősen függ a hőmérséklettől és ez utóbbi tényezőnek hatása különösen akkor érvényesül, ha a hőmérséklet a  $0^{\circ}$  felé közeledik. A talajlélekzés minimuma összevág a talaj baktériumszámának minimumával és a téli hónapoknak arra az időszakára esik, amikor a hőmérséklet  $0^{\circ}$  alá száll és eléri minimumát. Az alsóbb talajrétegek, amelyek magasabb hőmérséklettel bírnak, termelnek ugyan  $\text{CO}_2$ -t, azonban azáltal, hogy a talajban levő víz megfagy, a  $\text{CO}_2$  diffúziója teljesen lehetetlenné válik, így tehát a talaj  $\text{CO}_2$ -termelése teljesen megszűnik. Tehát a talaj  $\text{CO}_2$ -termelése akkor éri el minimumát, ha a talajhőmérséklet  $0^{\circ}$  alá száll.

A talaj mikrobiológiai tevékenysége a hőmérséklettel együtt csökken. Így pl. 1927. november elején 1,990.000 volt a talajbaktériumok száma, amely szám december végén 160.000-re csökkent.

Ezek a vizsgálatok a svéd erdőkben lefolytatott vizsgálatok eredményeit megerősítették és beigazolták a következő törvényszerűségek helyes voltát:

1. A talajlélekzés által termelt  $\text{CO}_2$ -mennyiség közvetlenül befolyásolja az erdő levegőjének  $\text{CO}_2$ -tartalmát és e kettőnek a változása kölcsönösen és szorosan összefügg.

2. Alulról felfelé haladva az erdei levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma a koronában történő fokozatos felhasználás következtében fokozatosan csökken.

3. A talaj lélekzését elsősorban a talaj mikroflórája és mikrofaunája működésének kell tulajdonítani, amelyben főszerepet az erdőtalajban élő baktériumok, gombák és protozoák játszzák.

4. Ha a baktériumok közül az aerob baktériumok vannak túlsúlyban, akkor a baktériumszám emelkedésével a talaj  $\text{CO}_2$ -termelése is emelkedik.

5. Ebből a körülményből kifolyólag a talaj állapotának jókarban való tartására, így a talaj szellőzésére különös figyelem fordítandó.



6. A talajhőmérséklet a nyári időszakban, amikor az aránylag kisebb méretű ingadozásoknak van alávetve, nem gyakorol érezhető befolyást a talajlélekzés menetére, azonban ősszel és télen, amikor a talajhőmérséklet nagy ingadozásokat mutat, hatása erősen érvényesül. Minden kétséget kizáróan beigazolható volt, hogy amikor a talajhőmérséklet eléri a fagypontot és ez alá száll, a talajlélekzés és a talaj mikrobiológiai tevékenysége úgyszólván teljesen megszűnik.

7. A  $\text{CO}_2$ -termelés kisebbedését és megszűnését a baktériumszám rohamos fogyása idézi elő, amely minimális értékeit december és január hónapokban éri el.

8. A levegő hőmérséklete részben azáltal hat, hogy a talaj hőmérsékletére befolyást gyakorol, részben pedig azáltal fejt ki hatást, hogy emelkedésével a  $\text{CO}_2$  felfelé való áramlása gyorsabbodik, nagyobb lesz a diffúziós esés, aminek következményeképpen fokozottabb  $\text{CO}_2$ -termelés jelentkezik. A többi hőmérsékleti tényező közül főképp a csapadéknak a jótékony hatását lehetett kimutatni.

9. A szél hatása, minthogy a zárt állományokban erősen megkissebbedik, nem volt kimutatható.

10. A fák koronájában lefolyó asszimiláció szintén erősen érezteti hatását, amennyiben nyáron a nagyobb fény mennyiség élvezetében és magasabb hőmérséklet mellett a fák sokkal több  $\text{CO}_2$ -t fogyasztanak, mint az őszi időszakban. Éppen ezért az erdei levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma nyáron viszonylag nagyobb  $\text{CO}_2$ -termelés mellett is kisebb lesz, mint ősszel aránylag kisebb  $\text{CO}_2$ -termelés mellett.

11. Télen, amikor a talaj  $\text{CO}_2$ -termelése 0-ra száll alá, az erdei levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma is a környező szabad légréteg normális  $\text{CO}_2$  nivójára süllyed.

12. Amint már a korábbi idevonatkozó vizsgálatok folyamán is rámutattunk, az erdei levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmának fokozása és ezzel együtt a nagyobb fatömegnövekedés elérése, a már amúgy is jó állapotban levő erdőknél, amelyeknek talaja kellő táplálóanyagokkal rendelkezik, nincs elsavanyodva és jól át van szellőzve, csak költséges és a mai erdőgazdaság rentabilitásán kívül eső gazdasági eljárásokkal volna lehetséges. Ellenben rossz



állapotban levő erdőtalajok javítása nagyon fontos fiziológiai és erdőgazdasági jelentőséggel bír.

13. Különösen fontos az erdei levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmának optimumban való tartása a természetes felújításkor, ahol az anyállomány védelme alatt növekedő csemeték hosszú évekig az alacsonyabb és a  $\text{CO}_2$ -ben gazdagabb légrétegekben alacsony fényintenzitás mellett élnek és így ez utóbbi körülmény ezeknek növekedésére is előnnyel fog járni.

14. A ph-értékek a mikroflóra kialakulását csak akkor befolyásolják, ha ezek az értékek  $\text{ph} = 5$  alá süllyednek. Ebben az esetben a talajsavanyúság a mikroflóra számát és annak tevékenységét erősen csökkenti.

E kutatások alatt mindinkább világossá vált, hogy a fontosabb termőhelyi tényezőknek a befolyása csak akkor ismerhető meg tisztán és kifogástalanul, ha az idevonatkozó jelenségek lehetőleg mind a négy tenyészeti időszakban rendszeres megfigyeléseknek lesznek alávetve. Az eddigi vizsgálatok ugyanis csak rövid megfigyelési időszakokra szorítkoztak és épen ezért az itt elért eredmények sem szolgáltatnak minden tekintetben oly pontos felvilágosításokat, amelyek exakt tudományos szempontból kielégítőek lennének. Ennél az oknál fogva vizsgálatainkat a fent említett tényezőknek egy éven keresztül tartó rendszeres megfigyelésével folytattuk.

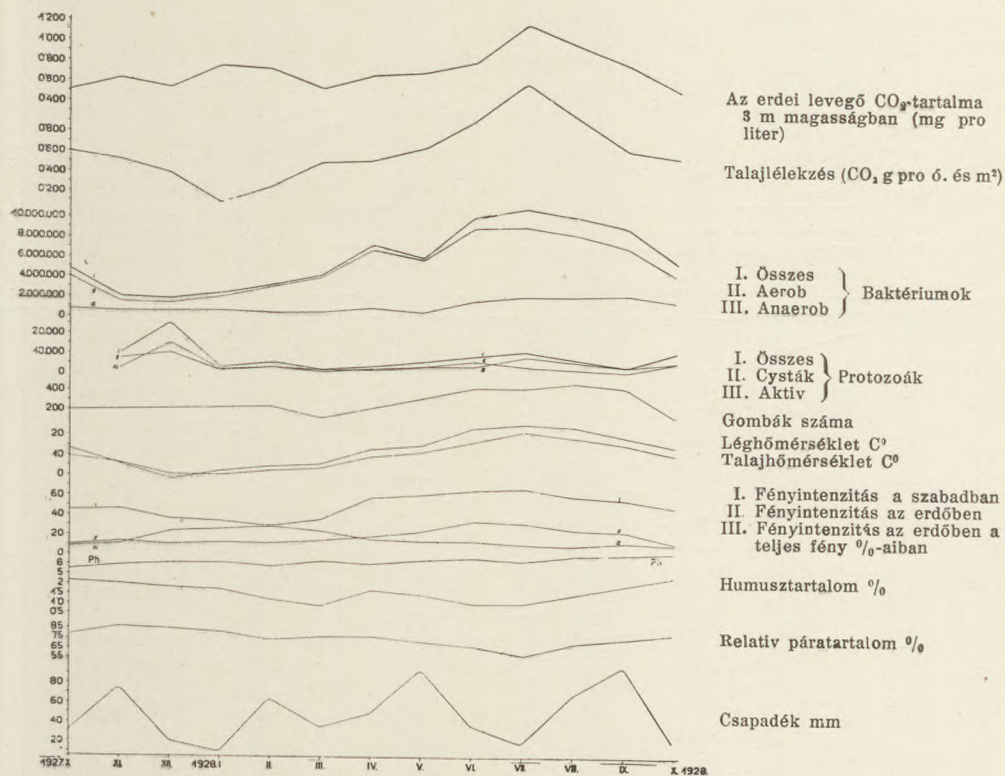
Ezeket a vizsgálatokat három kísérleti területen folytattuk le és pedig 1. a főiskola botanikus kertjében levő lúccsoportban, 2. a főiskola tanulmányi erdejében levő lúccfenyőerdőben és 3. az ezzel szomszédos sarjerdőben.

A vizsgálati módszerek ugyanazok voltak, mint amelyeket az eddigi vizsgálatainknál alkalmaztunk. Az eredményeket a 26., 27. és 28. sz. képek és a következő táblázat tartalmazza.

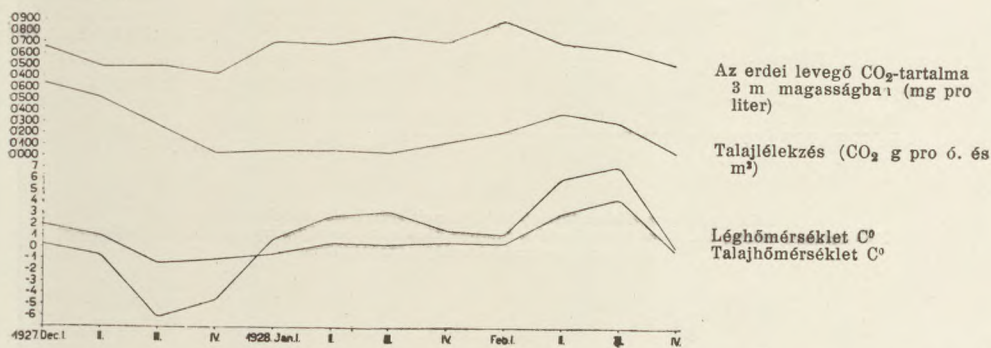
Ezeknél a vizsgálatoknál a talajlélekzést, a talajhőmérsékletet három különböző mélységben és pedig a talaj felszínén, 0'5 m és 1'0 mélységben, azután a levegőhőmérsékletet, a szélerősséget és a fényintenzitást naponként mértük, illetőleg a lég hőmérséklet és a légnedvesség regisztráló műszerekkel állandóan lettek jegyezve.

A baktériumok, gombák, protozoák száma az ezekkel járó tömegvizsgálatok miatt, csak havonként egyszer lett megállapítva, azonban a kritikus hónapokban: decemberben, januárban és februárban az összes baktériumszám kéthetenként is meg lett határozva.





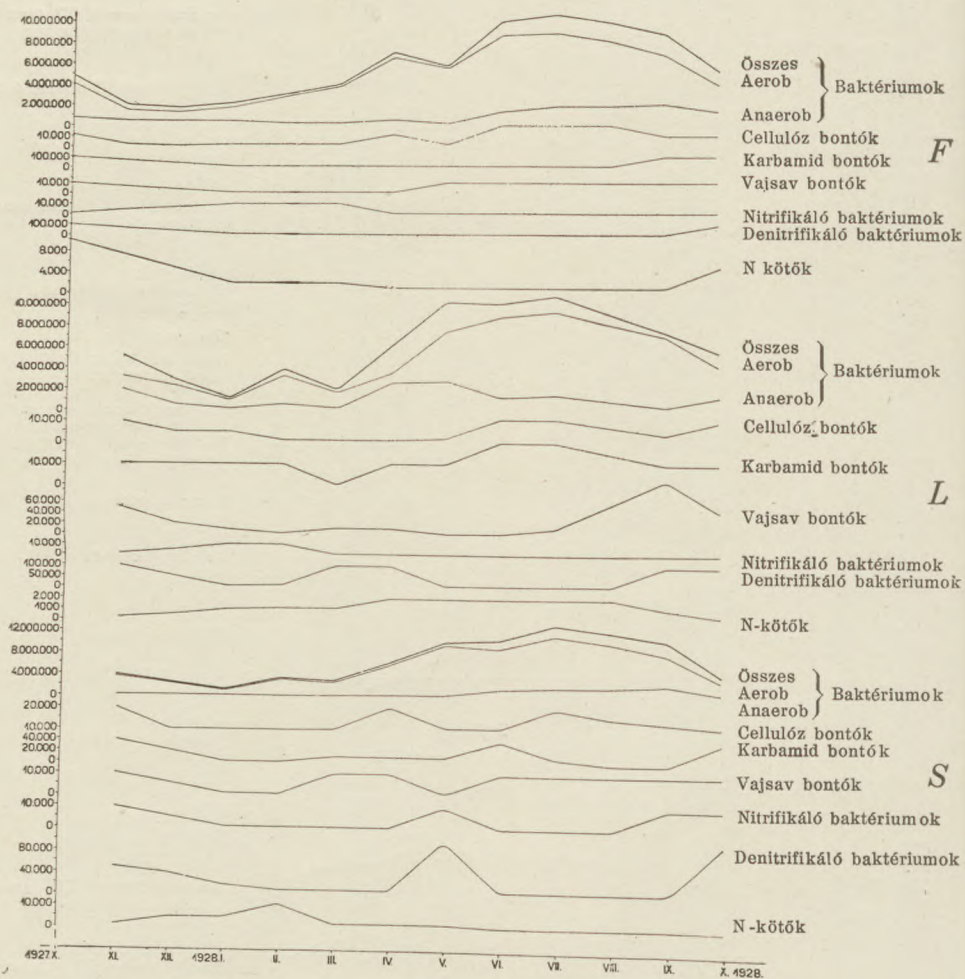
26. kép.  
Főiskolai lúcesoport. E.



27. kép.

A talajlélekzés heti átlagokban december, január és február hónapokban a főiskolai lúcesoportban. E.





28. kép.

A fiziológiai csoportokhoz tartozó baktériumok számának időbeli változása. E. F = főiskolai lúccsoport, L = lúccenyőerdő a főiskola tanulmányi erdőgondnokságában, S = sarjerdő a főiskola tanulmányi erdőgondnokságában.



Összehasonlító táblázat az évi átlagadatok alapján.

Kísérleti terület	Baktériumok 1 g nedves földben			CO <sub>2</sub> termelés ml és m <sup>3</sup>	A levegő CO <sub>2</sub> tartalma mg/liter			Humusz-tartalom %	ph	Megfigyelési idő a CO <sub>2</sub> mérésre vonatkozólag
	Aerob	Anaerob	Összesen		0'3 m	3'0 m	9'0 m			
Kiskomáromi tölgyerdő	36,000.000	8,800.000	44,800.000	1'056	0'843	0'732	0'478	0'73	5'2	1927. VII. 15. — 1927. VII. 25.
Kiskomáromi erdeifenyves	9,000.000	2,000.000	11,000.000	0'878	0'901	0'717	0'628	0'81	5'4	1927. VII. 26. — 1827. VIII. 7.
Lúcfenyőerdő a főisk. tanulm. erdőgazdálkodásában	4,971.000	1,208.330	6,179.330	0'652	0'876	0'788 2'0m mag.	0'646	2'81	6'12	1927. IX. 1. — 1927. IX. 10.
Sarjerdő a főisk. tanulm. erdőgazdálkodásában	5,786.710	870.000	6,656.710	0'555		0'940		2'68	5'73	1927. IX. 11. — 1927. IX. 13.
Várasi lúcfenyőerdő	4,500.000	900.000	5,400.000	0'583	0'775	0'762 2'0m mag.	0'700	11'3	6'8	1927. IX. 13. — 1927. IX. 16.
Főiskolai lúccsoport	4,825.000	877.000	5,702.000	9'097		0'582		1'67	6'24	1927. X. 24. — 1927. XI. 2.
Hallands-váderői bükkös	11,500.000	3,000.000	14,500.000	0'87	0'779	0'748	0'669	4'2	5'2	1926. VII. 14. — 1926. VIII. 3.
Hallands-váderői erdeifeny.	2,950.000	500.000	3,450.000	0'298	0'707	0'677	0'627	0'5	4'2	1926. VIII. 28. — 1926. IX. 11.
Hallands-váderői égererdő	5,700.000	5,000.000	10,700.000	0'287	0'641	0'537	0'537	8'6	4'1	1926. VI. 9. — 1926. VII. 7.



E vizsgálatok fontosabb eredményei röviden összefoglalva a következők:

1. Amint már a korábbi vizsgálatok folyamán is sikerült kimutatni, úgy ezek a vizsgálatok is megerősítik azt a törvényszerűséget, hogy az erdő talajában élő baktériumok száma és tevékenysége, továbbá az ezen baktériumok életműködése folyamán képződő  $\text{CO}_2$ -mennyisége között okozati összefüggés van, amelyeknek közelebbi összefüggései a következők:

a) A talajbaktériumok biológiai tevékenysége szoros összefüggésben van a nap hőenergiájával, amely a talaj- és levegő-hőmérséklet és a fényintenzitás adataiban jut kifejezésre.

b) A talaj összes baktérium száma a megvizsgált kísérleti erdőterületeken a hőmérséklet és a fényintenzitás értékeivel együtt a téli hónapokban éri el minimumát, ezután fokozatosan emelkedik és fejlődésének teljes maximumát június és július hónapjának folyamán éri el. Ezalatt a fejlődési fokozat alatt azonban tavasszal egy a nyári maximumnál kisebb másodlagos maximumot is képez.

c) Ha a levegő hőmérséklete  $0^\circ$  alá süllyed, a talajlélekzés úgyszólván teljesen megszűnik, dacára annak, hogy a talaj ennél az alacsony hőmérsékletnél is számbavehető baktériumflórával rendelkezik. A talajlélekzésnek ez a megszűnése akkor is bekövetkezik, ha az alsóbb talajrétegek hőmérséklete magasabb. Ennek oka abban keresendő, hogy az alacsony hőmérséklet következtében a talaj hajszálcsöveiben az ott lévő víz megfagy és ezáltal a képződött  $\text{CO}_2$ -mennyiség diffúziója lehetetlenné válik.

d) A talaj által termelt  $\text{CO}_2$ -mennyiséget, tehát a talajlélekzés mérvét elsősorban az összes baktériumszám és az aerob baktériumok számának kifejlődése befolyásolja; míg az anaerob baktériumok, habár szintén mutatnak egy téli minimumot és egy nyári, illetőleg tavaszi maximumot, mégis szűk határok között mozognak és mennyiségük viszonylagos minimuma a nyári baktériumszám maximumával és viszonylagos maximumuk a téli baktériumszám minimumával esik össze.

e) A talajprotozoák száma és kifejlődésének mérve a talajlélekzés menetére befolyást nem gyakorol.



f) Az erdei levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmát a talajlélekzésen kívül az asszimiláció mérve is befolyásolja, nevezetesen: ősszel, a talajlélekzés csökkenésével egy bizonyos fokig, amíg a koronák asszimilációja a talajlélekzés által termelt  $\text{CO}_2$ -mennyiség jelentékeny részét elhasználja, a levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma is csökken. Mihelyt azonban a téli hónapokban ez az asszimiláció az alacsony hőmérséklet következtében megszűnik, a levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma nem süllyed tovább, hanem bizonyos fokig emelkedő értéket mutat egészen a tavaszi hónapokig, amikor a beállott asszimiláció következtében átmenetileg csökken ugyan, azonban később a talajlélekzés görbéjének menetével teljesen egyöntetű lefolyást mutat.

g) A gombák száma általában az összes baktériumszám kifejlődésével egyezik azzal az eltéréssel, hogy maximumát bizonyos mértékben a július és augusztus hónapok folyamán beálló szárazság kedvezőtlenül befolyásolja.

#### Az erdőtalaj N-anyagcseréje.

A különböző erdő- és mezőgazdasági talajok N-nel való gazdálkodására vonatkozólag az újabb irodalom nagyon sok vizsgálatot és kutatást mutat fel. Korábban kitűzött célunknak megfelelően a fák  $\text{CO}_2$ -táplálkozásának vizsgálatával egyidőben a fák N-gazdálkodásának vizsgálatát is megkezdettük, amelynek első lépése az erdőtalaj N-anyagcseréjének kutatása volt, annak a különböző szerves és szervetlen tényezőkkel való összefüggésében.

A vizsgálat folyamán a következő tényezők lettek rendszeresen mérve:

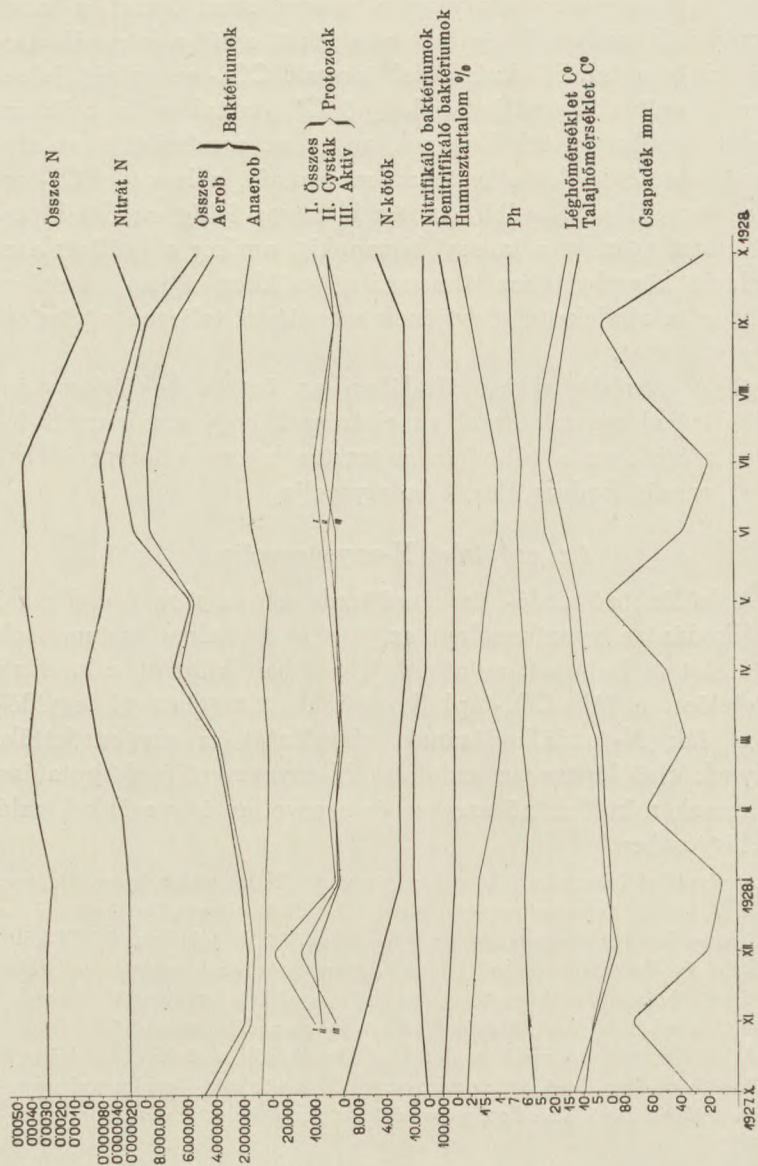
1. A talaj összes-nitrogéntartalma, 2. nitrát-nitrogéntartalma, 3. a talaj összes baktériumszáma és protozoaszáma, 4. a talajban élő N-kötő, nitrifikáló és denitrifikáló baktériumok száma, és ezek számának változása, 5. egyéb talaj- és klimatikus tényezők mint talajsavanyúság, humusztartalom, talajhőmérséklet, léghőmérséklet és csapadékmennyiség.

A megvizsgált kísérleti területek a következők voltak: 1. a főiskola botanikus kertjében levő lúccsoport, 2. a főiskola tanulmányi erdő-gondnokságában levő lúcfenyőerdő és 3. a vele szomszédos sarjerdő.

A vizsgálatok eredményeit a 29., 30. és 31. sz. képek tartalmazzák.

Fehér eddigi kutatásai alapján megállapította a következőket:

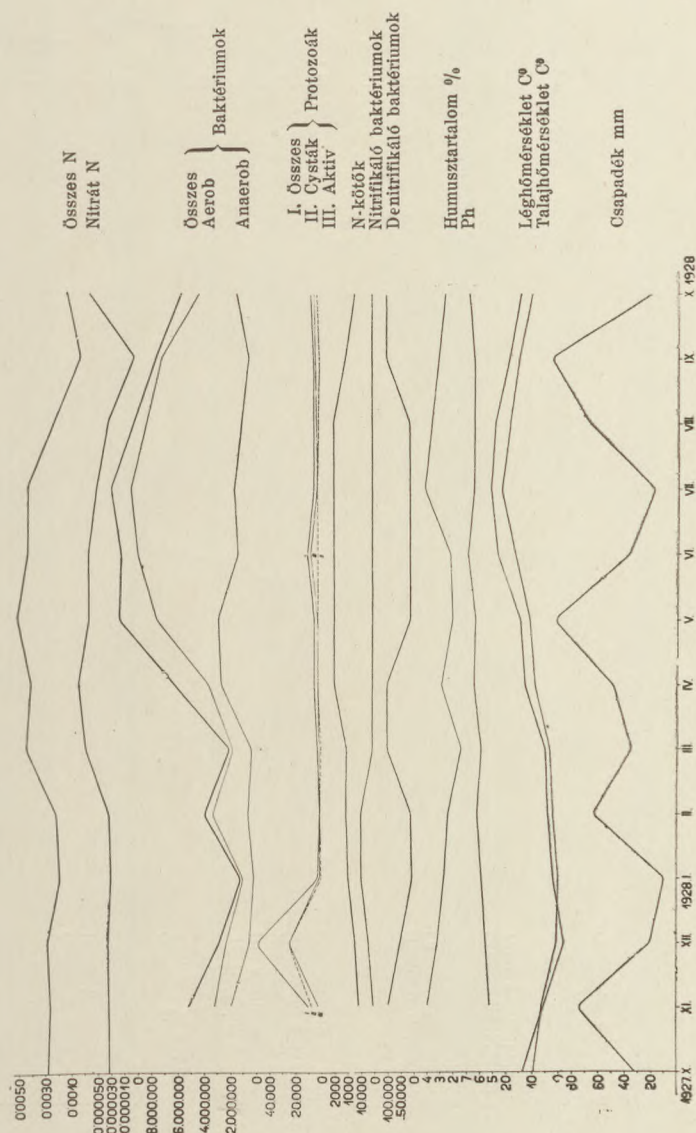




29. kép.

Lúcesport a főiskolai botanikus kertben, E.

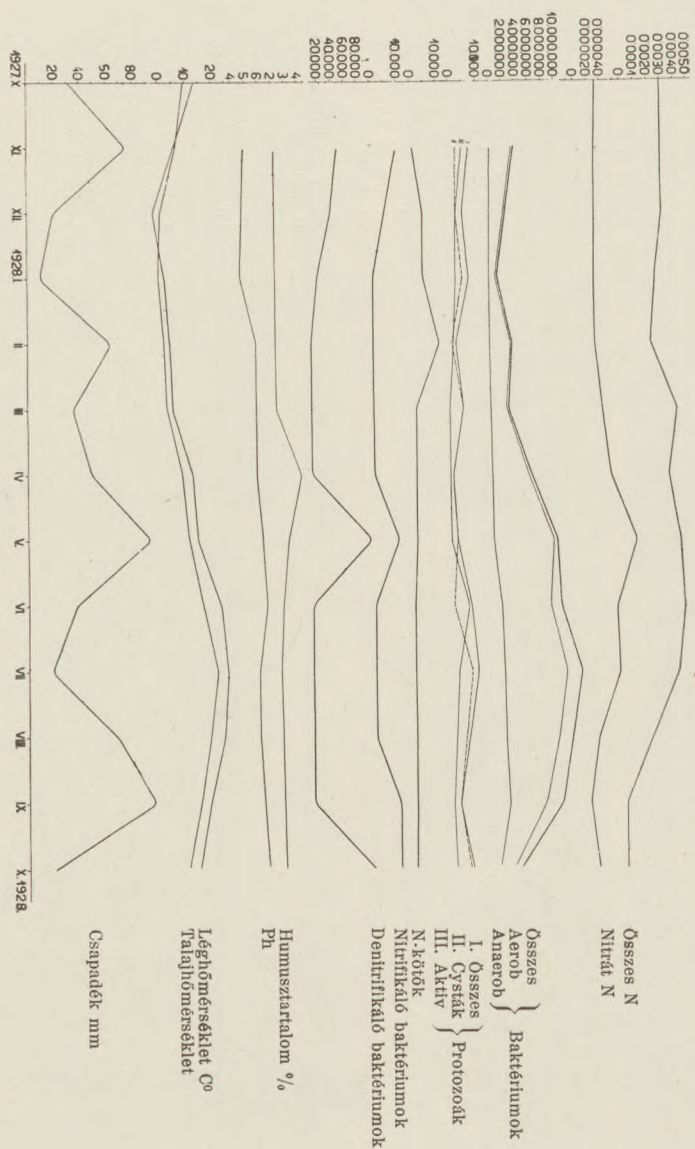




30. kép.

Lüdenyőrdő a földalati tanulmányi erdőgondnokságban. E.





31. kép.  
Sarierdő a főiskolai tanulmányi erdőgondnokságban. F.



1. Az erdőtalaj N-anyagcseréje kifejezett időszakai változásokat mutat.

2. Az erdőtalaj összes-N-tartalma maximális értékeit a tavaszi hónapokban éri el, ősssel rohamosan esik és minimuma mind a három kísérleti területen szeptember hó folyamán volt észlelhető. Egy második minimum február hónapban mutatkozik.

3. A nitrát-N-tartalom változásának lefolyása közel hasonló, azzal az eltéréssel, hogy két maximumot mutat fel és pedig az egyiket tavasszal, a másikat pedig a mi klímánk alatt október—november hónapokban.

4. A két N-görbe általános lefolyása a következőképpen magyarázható:

A N-tartalom főforrása tudvalevőleg az évenként megismétlődő lombhullás. A lombhullás ősssel történik, amikor a lehullott anyagot az őszi és téli alacsonyabb hőmérséklet következtében a baktériumok nem tudják kellőképpen feldolgozni. Tehát elsősorban nem a N-baktériumok számára, hanem azok életműködésére van a hőmérséklet hatással, miután a nitrifikáló baktériumok a kedvező nedvességi viszonyok következtében éppen ősssel érik el számbeli maximumukat.

A tavaszi és őszi hőmérséklet emelkedése maga után vonja azután a baktériumok fokozottabb működését. Ezzel a jelenséggel párhuzamosan azonban a fák fokozottabb életműködése is megindul, aminek következtében a nitrát-N-tartalom természetesen elhasználódik. A nitrát-N-mennyiséget azután a nitrifikáló baktériumok az összes-N-tartalomból kiegészítik. A késő nyári és kora őszi hónapokban azután az összes-N-tartalom is teljesen elhasználódik és mind a három erdőtípusban egyöntetűen az összes-N-tartalom és a nitrát-N-tartalom minimális értékeit szeptember hó folyamán éri el.

Az október hó folyamán újra bekövetkező lombhullás következtében a N-baktériumok ismét bőséges táplálóanyaghoz jutnak, és minthogy október hó folyamán a hőmérséklet aránylag még elég magas, úgy a N-baktériumok a talaj N-készletét megint kiegészítik. Ez a N-mennyiség a tél folyamán kb. ugyanazon nívón marad és csak tavasszal indul meg ismét az összes-N-tartalom és a nitrát-N-tartalom fent vázolt folyamata.



### A humusz.

A mikroflóra működésével közvetlen kapcsolatban van a humusz kialakulása, amely főleg az erdőgazdaságban bír nagy fontossággal. A korhadás folyamata alatt ugyanis különösen akkor, ha a korhadás mellé anaerob rothadási folyamatok is járulnak, amelyeknek kapcsán sok  $\text{CH}_4$  keletkezik és amely kisebb mértékben az erdőtalajokban mindig megvan, fokozatosan több C-t tartalmazó sötétebb színű ún. humuszanyagok keletkeznek. A humusz tehát közbenső termék a korhadás kezdeti és végső stádiuma között. Rammann szerint a humuszanyagok nagyon változó összetételű kolloidtömegek, amelyek a növény változatlan kolloidanyagaiból és carbonban dúsabb bomlási termékeiből állanak.

A humusz képződésére a legtipikusabb példát az erdő talajában találhatjuk meg. Az erdőtalajban ugyanis a legteljesebb és legzavartalanabb a szerves és a szervesetlen anyagoknak kölcsönös körfolyamata. A lehullott levelekből a bennük lévő anorganikus táplálósókat mindenekelőtt a csapadékvíz mossza ki és viszi be a talajba. A lehullott szerves anyagot most már az erdők talajában élő baktériumok támadják meg, különösen azoknak könnyebben bomló részeit, míg a nehezebben korhadó cellulózváz többé-kevésbé hosszabb ideig érintetlen marad. Ezt az anyagot a giliszták felfalják és ürülékükkel összekeverve kiadják. Az ilyen módon megdolgozott anyagot azután ismét megtámadják a baktériumok és a gombák és tovább korhasztják. Ennek a folyamatnak az eredménye lesz azután egy egyenemű, sötétszínű anyag, amely kolloidális sajátságokkal bír, a sókat adszorbeálja és kolloidális oldataiból elektrolytekkel ki-csapható.

Ha most már az ilyen humusz az elkorhadt részek anorganikus alkotórészeit teljesen adszorbeálja, akkor a telített vagy az ún. szelíd humusz-ról szólunk. Ez a telített humusz a növény táplálkozására kiválóan alkalmas, mert közömbös reakciót mutat, gyorsan elkorhad, úgyhogy a benne lévő N-t a baktériumok csakhamar feldolgozhatják. A telített humusz olyan erdőtalajokon keletkezik, amely talajok nincsenek erősen kilúgozva és bennük elegendő anorganikus só marad.



Ha azonban a talajokban a Na, Ca és K sók ki vannak lúgozva, ebben az esetben a humusz nem telítődhetik és ilyenkor az ú. n. telítetlen vagy nyers humusz keletkezik. A nyers humusz keletkezése tehát kizárólag a talajnak szervesetlen sókban való gazdagságától függ és keletkezéséhez nem okvetlen szükséges a talajban az O hiánya. A nyers humusz erősen kolloidális sajátságú és fekete-barna színű. Ez a nyers humusz azután már sokkal nehezebben bomlik és különösen mészből szegény talajokon mint sok C-t tartalmazó sötétfekete tömeg marad vissza. A talajnak meszezésével a nyers humuszt könnyen javíthatjuk, miután ilyenkor a humuszsavak Ca-mal telítődnek és méshumátok keletkeznek.

A humusz keletkezése általában az éghajlati tényezőkkel van szoros összefüggésben. Főleg tehát olyan helyeken képződhetik, ahol a talaj dús vegetációval van borítva (pl. erdők, steppék), ahol a talajra hulló anyag az éghajlati tényezők kedvezőtlen volta következtében nem tud tökéletesen elkorhadni. Humusz keletkezhetik tehát alacsony hőmérsékletű száraz éghajlat alatt, vagy alacsony hőmérsékletű túl nedves éghajlat alatt, míg a forró égőv alatt a magas hőmérséklet hatására olyan élénk a baktériumtevékenység és a korhadás olyan gyorsan megy végbe, hogy dacára a nagy csapadékmennyiségnek, humusz alig képződhetik. Különösen sok humusz halmozódott fel az oroszországi feketeföldön, a tschernosemen, a félig arid éghajlat alatt. Igen érdekes, hogy száraz éghajlattal bíró talajokon, amelyekben sok NaCl és  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  van, szintén képződhetik humusz, miután ezekben a talajokban viszont e sók hatására a baktériumflóra erősen megkisebbedik, úgyhogy a korhadás nem válhatik teljessé.

A humusz kémiai összetételét még nem ismerjük teljesen, aminek az oka főleg az, hogy a humusz összetétele rendkívül erős változásoknak van alávetve a talaj és az éghajlati tényezők változásai szerint. A kémiai vizsgálatok folyamata alatt bizonyos fokig alakilag eltérő, még közelebbről ismeretlen vegyületcsoportokat sikerült elválasztani, amelyek közül a legfontosabbak a huminsav és a humin.

Huminsav alatt a humusz ama részeit értjük, amelyeket ak-



kor nyerünk, ha a humuszt alkáliákkal kivonatoljuk és az így nyert kivonatot savakkal kicsapjuk. A humusznak azután azt a részét, amely alkáliákban nem oldható, nevezzük huminnak. A huminsavak vízben nehezen oldódnak és csak annyit tudunk róluk, hogy C-ből, O-ból, N-ből és H-ből állanak. C-tartalmuk nagyobb, azonban H- és O-tartalmuk viszonylag kisebb, mint a cellulozé. Svén O d é n szerint ezeket a huminsavakat a természetben a mikroorganizmusok a szerves anyag elkorhasztásakor állítják elő. Ő laboratóriumában is előállította őket, még pedig úgy, hogy organikus anyagokat savak és lúgok hatásának tett ki.

Strache és Laut viszont a humuszanyagokat természetes huminsavakra, humuszszenekre, mesterséges huminsavakra és mesterséges huminokra osztják. A természetes huminsavak növényi maradványok korhadásakor keletkeznek és szénsavas alkáliákban jól oldódnak. A humuszszenek szintén korhadáskor keletkeznek, sötét színű amorph anyagok, amelyek úgy alkáliákban, mint vízben és benzolban oldhatatlanok. A huminok szintén növényi maradványok természetes korhadásánál keletkeznek, szénsavas alkáliákban nem oldódnak, de ha hosszabb ideig erősebb lúgokkal főzzük őket, feloldódnak. A mesterséges huminsavak kémiai reakciókkal előállított barna amorph anyagok. A mesterséges huminok szintén kémiai reakciónál keletkeznek.

A humusz N-tartalma 1—6% között váltakozik és valószínűleg C-hoz, O-hez és H-hez van kötve és minthogy a N csak a humuszanyagok teljes elkorhadása után szabadul fel, úgy a humusz hosszú ideig konzerválja a növényeknek a N-t. A humusz általában szegény P-ban. Jellemző a talajban lévő foszfátokra, hogy a nyers humusz feloldja őket. A nyers humusz a növénytermesztésre rossz hatással van, a természetes felújítást akadályozza. A humusznak különböző formái vannak, amelyek közül a legfontosabbak a következők:

Ha az elhalt növényi maradványok csak rövid ideig korhadnak, úgyhogy a szerkezet még jól kivehető, a keletkezett termék a t ő z e g. Ha most az ilyen növényi hulladékot a földben élő állatok mechanikailag megmunkálják, úgyhogy az al-



kötő növényi részek szerkezete már nem vehető ki, akkor ennek *moder* a neve. A giliszták által jobban megmunkált humuszanyag, amely azután a giliszták ürülékeként kerül a talajba, adja a mullt, amely, eltekintve a mechanikai változásoktól, erős kémiai változásokon is keresztül ment.

A tőzeget általában két nagy csoportra osztjuk, aszerint amint száraz talajban, vagy vízben képződnek. A szárazföldi tőzeg nagy összefüggő erdőterületeken, különösen a mérsékelt és hideg égöv alatt képződik, rendszerint bükk-, lúç- és égerállományok alatt. Idetartoznak az északeurópai fenyérek (Heide) is. Ha ellenben vizes területeken a vízbe hulló sás és nád O-hiány következtében rothadáson megy keresztül, keletkeznek a réti lápok. Ha most a réti lápok keletkezéséhez hasonlóan mohok is résztvesznek vizes területeken a tőzeg keletkezésében, keletkeznek a *magassági lápok*. A lápokot tehát felosztjuk réti lápokra és moha- vagy magassági lápokra.

Az organikus növényi maradványok egy különleges alakja az *alpesi humusz*. Ez magas hegységekben a klíma hatására keletkezik. Sokszor több m vastagságú lehet, igen szép bükk-, lúç- és jegegyefenyő állományok tenyésznek rajta.

Tőzeges és lápos területeken, különösen Észak-Európában a humid éghajlat alatt keletkező savanyú humusz hatására a talaj bizonyos mélységében egy erősen kötött, vízáthatatlan réteg alakul ki, amely humuszsavak által összekötött kvarchomokból áll, kökeménységű lesz, úgyhogy a fás növények gyökerei nem tudnak rajta keresztülhatolni. Ezt a réteget nevezzük *kőfoknak* (Ortstein). A kőfok képződésének főfeltétele az, hogy a feltalajból az altalajba nagymennyiségű víz szívároгjon, amely a humuszsavakat az altalajba mossa. Azonfelül kimossa a feltalajból a könnyen oldódó alkálisókat is, sőt a korhadáskor keletkező  $\text{CO}_2$  hatására még a  $\text{CaCO}_3$ -t is az alsóbb rétegbe viszi. Az elektrolitek hiánya következtében lemosódnak azután az alsóbb rétegekbe a kolloidális anyagrészecskék és végül a feltalajból az altalajba mosódnak mindazon szervesetlen sók, amelyek a humuszsavakat közömbösíteni tudnák. Ezért a feltalaj humusza savanyú, telítetlen humusszá alakul, mely vízben kolloidális oldatot képez és mint védő kolloid megakadályozza a



finom anyagnak, továbbá a kolloidális  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -nak a koagulálását, illetőleg kicsapódását. Ilymódon azután a kolloidális humusz is az altalajba kerül, ahol azután az oda lemosott szervesen sók megint közömbösítik, illetőleg kicsapják, ezáltal védő sajátságát elveszíti, úgyhogy most már a kolloidális anyag és a kolloidális  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  is kicsapódnak és a homokszemek között mint kötőanyag szerepelnek.

Tőlgycastleományok alatt kőfok csak a legritkább esetben képződhetik, bükkállandományok alatt előfordul, lúcs- és erdeifejnyő állományokban nagyon gyakori, a leggyakoribb azonban a fenyérekben.

#### A talajok elsavanyodása és annak biológiai jelentősége.

A talaj savanyúságának meghatározásakor a pH-értékek mérését a kémiában kétféle módon végzik. Az egyik a reagensekkel való eljárás, ez az ú. n. kolorimetrikus módszer, a másik pedig az elektrometrikus eljárás, amely az erre a célra összeállított különböző műszerekkel dolgozik. Ezeknek egyik legjobban elterjedt fajtája a chinhydronos eljárás. Általában úgy a kolorimetrikus, mint pedig az elektrometrikus eljárással az ú. n. aktuális H-ion koncentrációt kapjuk meg, ha ellenben az oldathoz KCl-t adunk, ebben az esetben az egész (ú. n. potenciális) kicserélődési savanyúságot is megkapjuk.

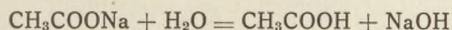
A talajok elsavanyodásának kérdését tulajdonképpen a mezőgazdasági növénytermesztés vetette fel, miután itt jelentkezett az a növénytermesztésre gyakorolt káros hatásban legelőször a műtrágyázás folyamánként s csak a mezőgazdasági kísérletügy terén lefolytatott vizsgálatok terelték rá azután a figyelmet az erdőtalajok hasonló vizsgálatára.

A mezőgazdasági kutatások alapján tudjuk, hogy a talajok elsavanyodása főleg négy alakban jelentkezik: 1. A hidrolitikus savanyúság, 2. a cseresavanyúság, 3. a közömbös sók szétbontásában megnyilvánuló savanyúság és végül 4. az aktív savanyúság.

A hidrolitikus savanyúság a növény életére kevésbé ártalmas forma. Ez tulajdonképpen az elsavanyodás leggyengébb



megnyilvánulása és csak akkor jelentkezik, ha a gyengén el-savanyodott talaj hidrolitikus úton könnyen szétbontható sókkal, például ecetsavas nátriummal jut érintkezésbe. Az ecet-savasnátrium vizes oldatában a talajban hidrolízis alakul



egyenlet szerint. Miután pedig a keletkezett ecetsav alig van ionokra bontva, az oldatokba a felszabaduló és erősen disszociált nátronlúg OH-ionjai jutnak bele, amelyeket a savanyú talaj szabad H-ionjai fokozatosan lekötnek, úgyhogy végül szabad ecetsav marad vissza, amit ki lehet mutatni.

Már ennél valamivel kellemetlenebb fiziológiai hatással bír az aciditásnak második alakja, a cseresavanyúság, amely abban nyilvánul meg, hogy a mészben már meglehetősen szegény talajba jutó közömbös sók, pl. a  $\text{KNO}_3$  vagy  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  stb. lúgos alkotórészeit a talaj szilikátjai, az ú. n. zeolitok a növényzet gyökerei számára adszorbeálják, a visszamaradó  $\text{NO}_3$  vagy  $\text{SO}_4$  savgyök közömbösítésére nem rendelkeznek már elegendő mészvegyülettel és e helyett a szilikátokban lévő aluminium- vagy vassókkal lépnek kémiai vegyületbe, nitrátokat és szulfátokat képezve. Minthogy pedig az Al és Fe gyenge lúgokat adnak, azért az így keletkezett sók hidrolitikus úton szétbomlnak és az így keletkezett erős savak szabad H ionjai már a talajban kimutathatókká lesznek. Ezt az aciditás alakot rendszerint a káli és ammonium trágyák okozzák. Kezdetben ugyanis a talajban levő szilikátok elég mésszel rendelkeznek a felszabaduló savgyökök lekötésére, idővel azonban a képződött Ca-sókat a csapadék az altalajba mossa és ezáltal ezeknek a talajoknak mészben való fokozatos elszegényedése a fenti forma kifejlődésére vezet. Az erdőtalajban természetesen a fenti sók nem jöhetnek tekintetbe, itt elsősorban a humusz befolyását kell tekintetbe vennünk. A humuszképződésnél ugyanis a keletkezett humuszsavakat, a szénsavat és a salétromsavat a talajban levő mész köti le. E folyamat kapcsán könnyen oldható mészsók keletkeznek, amelyeket az esővíz mos le az altalajba. Az erdei talajokban a mész elvonásával különösen a savanyú humuszban tömegesen keletkező  $\text{CO}_2$  válhatik kellemetlenné.



A most tárgyalt két forma tehát elsősorban a talajban levő zeolitok: Ca, Al és esetleg Fe tartalmú szilikátok működésével van összefüggésben. Ezek ugyanis, amint láttuk, a növények gyökerei számára fontos K és  $\text{NH}_4$  lúgyököket megkötik és helyettük a fennmaradó savgyököket a bennük levő Ca-al közzömbösítik, amely ilyen módon vízben oldható Ca sók alakjában felszabadul és a vízkimosás folytán az altalajba lúgódik át.

Ennek a most tárgyalt két alaknak keletkezését Kappen és Ganssen elméletileg a zeolitok molekuláris összetételével kapcsolatosan a következőképpen képzelik el:

Zeolit 3  $\text{SiO}_2$  : 1  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 1 mol. lúg közömbös

Zeolit 3  $\text{SiO}_2$  : 1  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 1—0.5 mol. lúg hidrolitikus savanyúság

Zeolit 3  $\text{SiO}_2$  : 1  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 0.5 lúg cseresavanyúság.

Amíg a most tárgyalt két forma a savanyú humuszos erdei talajban és a mezőgazdaságilag művelt és trágyázott ásványi talajokban egyaránt jeleníthatók, addig a savanyúság harmadik és negyedik alakja csak a savanyú korhadás útján keletkezett tőzegezes savanyú talajokon van meg.

A harmadik alak akkor jelentkezik, amikor ilyen savanyú tőzegezes talajokat közömbös sókkal trágyáznak. Ilyenkor a tőzegetalajokban levő humuszsavak a lúgyököket lekötik és ennek következtében a talajban visszamaradó szabad H ionok jelentékeny savanyúságot idéznek elő.

Az aciditás negyedik faja csak a nyers tőzegetalajokon jelentkezik, amelyeknek savanyúsága már ezeknek a talajoknak a vizes oldatában titrálással kimutatható. Ennek a formának az előidézője a nyers tőzegezes talajokban a szerves kéntartalmú növényi részek bomlásakor keletkező kénsav, amely mész hiányában hidrolitikus és savanyúan reagáló vas- vagy alumíniumsókat alkot. Ez a két utóbbi forma mészjavítás nélkül a növényi életet teljesen lehetetlenné teheti.

A mezőgazdasági növényeknek a talaj elsavanyodásával szemben való viselkedése meglehetősen részletesen ki van derítve. Általában, ha a pH értéke 3.6 alá süllyed, a talaj a legtöbb gazdasági növény termesztésére lehetetlenné válik. Amint különösen Albert és Hartmann, továbbá Nemeček és



Kvapi legújabb vizsgálatai mutatják, az erdei fák a mezőgazdasági növényekkel ellentétben a talaj savanyúságával szemben rendkívül nagy ellenállóképességet mutatnak.

A következő összeállítás néhány fontosabb fafaj, cserje és aljnövényzet ph-értékeit tartalmazza:

I.  $ph = 4-5.5$ . Tülevelűek: *Abies alba*, *Larix europaea*, *Picea excelsa*, *Pinus nigra*, *Pinus silvestris*. — Lombfák: *Alnus glutinosa*, *Betula alba*, *Carpinus betulus*, *Fagus silvatica*, *Populus tremula*, *Prunus avium*, *Quercus ceris*, *Qu. pedunculata*, *Qu. sessiliflora*, *Robinia pseudacacia*, *Tilia parvifolia*. — Cserjék: *Cornus mas*, *Cytisus nigricans*, *Evonymus europaeus*, *Ligustrum vulgare*, *Rubus idaeus*, *R. caesius*, *Sambucus nigra*, *Viburnum opulus*. — Aljnövényzet: *Ajuga reptans*, *Asperula odorata*, *Calluna vulgaris*, *Caltha palustris*, *Cirsium oleraceum*, *Convallaria majalis*, *Cyclamen europaeum*, *Epilobium hirsutum*, *Erodium cicutarium*, *Euphorbia amygdaloides*, *Fragaria vesca*, *Galeopsis pubescens*, *Galium silvaticum*, *Glechoma hederaceum*, *Knautia arvensis*, *Lamium maculatum*, *Lathyrus vernus*, *Lysimachia nummularia*, *Majanthemum bifolium*, *Melittis melissophyllum*, *Melampyrum pratense*, *Orchis maculata*, *Oxalis acetosella*, *Polygonatum officinale*, *Pulmonaria officinalis*, *Scrophularia nodosa*, *Senecio Fuchsii*, *Sonchus oleraceus*, *Symphytum officinale*, *Vaccinium myrtillus*, *Valeriana officinalis*, *Viola silvestris*.

II.  $ph = 5.5-6.5$ . Tülevelűek: *Larix europaea*, *Picea excelsa*, *Pinus silvestris*. — Lombfák: *Fagus silvatica*, *Quercus sessiliflora*, *Robinia pseudacacia*. — Aljnövényzet: *Aegopodium podagraria*, *Campanula rotundifolia*, *Convallaria majalis*, *Pulmonaria officinalis*, *Senecio Fuchsii*, *Sonchus oleraceus*, *Stachys silvatica*, *Stellaria media*, *Vaccinium myrtillus*.

III.  $ph = 6.5-7.5$ . Tülevelűek: *Larix europaea*, *Picea excelsa*. — Lombfák: *Robinia pseudacacia*. — Aljnövényzet: *Achillea millefolium*, *Lamium album*, *Leontodon autumnale*, *Malva silvestris*, *Marrubium vulgare*, *Plantago lanceolata*, *Sonchus oleraceus*, *Trifolium pratense*.

Amint ez az átnézet mutatja (amely egyébként több száz mérés átlagául tekintendő) az erdei fák érzékenysége a talaj savanyúságával szemben tág határok között mozog. Különösen szembetűnővé válik ez akkor,



ha a fenti adatokat a fontosabb gazdasági növények tenyészetének ph értékeivel hasonlítjuk össze, amelyet Arrhenius idevonatkozó vizsgálatai alapján az alábbiakban közlünk:

Tavaszi buza	ph = 7—8
Őszi buza	ph = 7—7'8
Rozs	ph = 5—6
Cukorrépa	ph = 7'5
Burgonya	ph = 4'6—5'5
Zab	ph = 5—6
Lucerna	ph = 7'5—8
Árpa	ph = 7—8
Lóhere	ph = 5'8—6'8

A fenti adatok mutatják, hogy a fontosabb gazdasági növényeink közül csak a burgonya, a rozs és a zab tűrik el a talaj mérsékelt savanyúságát, míg a többiek már a ph-nak 6-on aluli értékénél beszüntetik működésüket. Ezzel szemben pl., amint Hartmann adatai mutatják, az erdeifenyő még  $ph = 3'9$  értéknél is növekedik.

A mezőgazdaságban a talajok elsavanyodása ellen meszezéssel védekeznek, amely eljárás, amint ezt a mezőgazdasági kísérletek eredményei világosan mutatják, a legtöbb esetben kitűnő eredménnyel jár.

A fenti összehasonlítás azonban világosan mutatja azt a gyakorlati szempontból kiválóan fontos valóságot, hogy az erdei fák életviszonyaikban az idők folyamán a talaj savanyúságához alkalmazkodnak és a talaj nagymértvű savanyúságát nemcsak, hogy eltűrik, de úgy látszik ezt bizonyos mértékben meg is kívánják.

Általában azonban a talaj savanyúságának elbírálásánál nem szabad figyelmen kívül hagynunk a talajok egyéb sajátosságainak megítélését sem. A finoman szemecskés szerkezetű gneisz és agyagtalajokon a növények jóval nagyobb savanyúsági fokot bírnak el, mint a durvább szerkezetű homoktalajokon. Az előbbiek ugyanis a talajreakció változásaival szemben kevésbé érzékenyek, mint az utóbbiak.

Az erdőtalaj táplálóanyagait általában a humusz korhadása szolgáltatja és ez a folyamat kifejezetten az edaphon befolyására jön létre. Amíg a fák életfeltételére bizonyos határokon



belül a talajok elsavanyodása nem igen látszik lényegesebb befolyást gyakorolni, addig a humuszképződés vegyi folyamatát indukáló mikroorganizmusok összessége az edaphon életére és működésére már ugyancsak döntő befolyással bír.

Amint Waksman, Düggeli, Brooks, Christensen, Yamagata, Itano, Rippel stb. kutatásai bizonyítják, a ph értéke itt meglehetősen szűk határok között mozog. Dániában pl. újabban Christensen egy eljárást dolgozott ki, amelynek segítségével a N-t megkötő *Azotobacter* nevű baktérium kultúráinak tenyésztéséből következtet a ph értékére.

A következő táblázat az edaphon tenyésztésre befolyással bíró ph-értékeket tartalmazza, az edaphont alkotó mikroorganizmusok csoportjai szerint elkülönítve:

Mikroorganizmusok megnevezése	ph.	1 g talajban baktériumszám	A kutató megnevezése
Különböző gombák	4	100.000	} Waksman
	5·6	37.000	
	6·6	26.000	
Súgaras gombák	6·2	6,100.000	} Waksman
	5·6	6,500.000	
	5·1	1,200.000	
	4·8	900.000	
Összes baktériumszám	6·2	13,600.000	} Waksman
	5·6	12,600.000	
	5·1	4,800.000	
	4·8	4,000.000	
Összes baktériumszám	6·8	5,515.000	} Bokor
	5·6	3,462.000	
	4·8	2,300.000	
	4·3	1,315.000	
	4·2	603.110	
	4·1	470.000	
<i>Bacillus subtilis</i>	6·8	növekedési optimum	Brooks



Mikroorganizmusok megnevezése	ph.	1 g talajban baktériumszám	A kutató megnevezése
Nitritbaktériumok	7·8	növekedési optimum	Cjarder- Hagern
Nitritképzők	7·1	"	"
<i>Azotobacter chroococcum</i>	7·46 7·60	"	Yamagata- Itano
<i>Azotobacter Beijerincki</i>	6·65 6·75	"	"

Ezek az adatok világosan mutatják, hogy a humusz életében fontos szerepet játszó mikroorganizmusok közül csak a talajban élő gombák tűrik el a savanyú reakciót, míg a nitrifikáló baktériumok optimális növekedése szűk határok között mozog és inkább az alkalikus reakció felé hajlik.

Ebből a szempontból természetesen a talaj savanyúságának az ismerete és erdőművelési beavatkozásokkal való szabályozása a gyakorlati erdőgazdaság szempontjából kiváló fontossággal bír, miután a mai extenzív erdőgazdálkodás mellett a humuszképződés folyamata az egyetlen forrás, amely az erdő táplálóanyagait szolgáltatja, ezt pedig, amint láttuk, a talaj ph-értéke ugyancsak jelentékenyen befolyásolja.

A vázolt exakt kémiai eljárásokon kívül természetesen nem hiányzanak törekvések, amelyek a talajt jellemző növényekben keresnek útmutatást a talaj savanyúsági fokának megítélésére. Különösen a dán Olsen (1921) végzett idevonatkozólag beható vizsgálatokat. Az ő összeállítására szerint a közönségesebb erdőnövények a talajok különböző savanyúsági foka szerint a következőképpen csoportosíthatók:

ph = 3·5—4·4. Erősen savanyú talajok: *Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*, *Luzula pilosa*, *Carex pilulifera*, *Convallaria majalis*, *Majanthemum bifolium*, *Trientalis europaea*.



ph = 4'5—6'0. Közepesen savanyú talajok: *Melica multiflora*, *Asperula odorata*, *Milium effusum*, *Oxalis acetosella*.

ph = 6'0—alkalikus. Gyengén savanyú és közömbös talajok: *Hordeum europaeum*, *Mercurialis perennis*, *Allium ursinum*, *Aegopodium podagraria*, *Brachypodium silvaticum*, *Geum urbanum*, *Hepatica triloba*, *Sanicula europaea*.

A talajjellemző növények segítségével való első tájékozódást kétségtől, főleg gyakorlati szempontból fontosnak kell tartanunk. Azonban végleges megoldásnak és biztos alapnak nem tekinthetjük, miután egyrészt ezeknek előfordulása, amint részben a saját tapasztalataink is mutatják, sokszor ugyancsak tág határok között mozog és tenyészetükre a talaj savanyúságán kívül még más biológiai faktorok: a talaj víztartalma, a fényelosztás, stb. is befolyást gyakorolnak, másrészt pedig csak a talaj legfelső szintjéről adnak felvilágosítást.

Amint Fehér legutóbbi vizsgálatai (1930.) mutatják, a ph értékek és a talaj humusztartalma nem állandóak, hanem a csapadék és a talaj víztartalmának korrelatív befolyására évszakok szerint állandó és szabályszerű változásoknak vannak alávetve. A humusztartalom legnagyobb értékeit a lombhullás után ősszel éri el, míg legkisebb értékei a nyári hónapokra esnek, a ph pedig legmagasabb értékeit a nyár folyamán éri el és legalacsonyabbak az értékei késő őszi és téli folyamán.

### A diffúzió, ozmózis és turgor.

Az előzőekben megismerkedtünk a növények táplálóanyag forrásaival és azokkal a módokkal, amelyek kapcsán ezek a táplálóanyag források kialakulnak és kifejlődnek. A következőkben most már foglalkozni fogunk azzal a móddal, ahogy a növények táplálóanyagaikat a talajból felveszik. A növény táplálóanyagainak szállítóanyaga a víz, ezért tehát mindenekelőtt a növénynek vízzel való gazdálkodásával kell tisztába jönnünk, és meg kell ismerkednünk a diffúzió, az ozmózis és a turgor jelenségeivel, amely törvényszerűségek a víznek a növényekben való szállításánál rendkívül fontos szerepet játszanak.



Diffúzió alatt különböző anyagok molekuláinak egymással való egyenletes elegyedését értjük anélkül, hogy közöttük vegyi összeköttetés jönne létre. Ez az elegyedés létrejöhet oldott és gáznemű testek között. A különbség csak abban áll, hogy általában az oldatban levő anyagok molekuláinak diffúziója rendszerint lassabban megy végbe, mint a gázneműeké, amely jelenséget az oldatban levő molekulák viszonylag kisebb mozgási sebessége magyaráz meg.

A diffúzió tehát egymással keveredő cseppfolyós vagy gáznemű anyagok molekuláinak elegyedésén alapszik. A diffúzió egyik legfontosabb alaptörvénye most már abban áll, hogy a diffúzió gyorsasága a két egymással diffundáló folyadék vagy gáz töménységének illetőleg koncentrációjának különbségével egyenesen arányos és tart mindaddig, amíg ez a koncentráció különbség teljesen ki nem egyenlítődik.

Ha két különböző cseppfolyós anyagot egy közös edénybe öntünk, úgy a két anyag részecskéi egymás között el fognak oszlan, vagyis a két anyag elegyedik egymással, feltéve, hogy olyan anyagokat használunk, amelyek között nem jön létre cserebomlás, továbbá amelyek elegyedésre is alkalmasak. Ugyanígy viselkedik két gáz is egyazon zárt edényben.

A folyékony vagy gáznemű anyagok részecskéinek egymással való elegyedése, ha külső tényezők nem avatkoznak be, folytonosan, de lassan következik be és pedig az előbbieké lassabban mint az utóbbiakké. Két folyadék egymással való elegyedése, diffundálása annál lassabban történik meg, minél tömöttebb, sűrűbb az oldat. De végre is a két folyadék elegyedése teljes lesz.

Ellenben, ha szilárd test és folyadék jut egymással érintkezésbe, úgy a folyadék részecskéi behatolnak a szilárd test részecskéi közé, természetesen csak akkor, ha a szilárd test a vele érintkező folyadék részecskéinek felvételére alkalmas. Az ilyen szilárd test a folyadék részecskéinek felvétele által térfogatában gyarapodik, de halmazállapota nem változik meg. Az ilyen folyadék felvétele által való térfogatváltozást a gáznak mondjuk. Ilyen esettel találkozunk épen a sejtfal és a plazma anyagában és más szerves anyagokban, amelyeket épen ezért



imbibálisnak és dagadásra képeseknek mondunk. A dagadás módja tudvalevőleg függ úgy a szilárd anyagtól, mint a folyadéktól.

Igy a sejtfalak megdagadnak vízben, de nem alkoholban, vagy terpentinolajban. Viszont azután vannak szilárd anyagok, amelyeknek dagadását a folyadék részecskék mennyiségének szaporodtával az anyag oldása követ, mint aminők bizonyos nyálkás anyagok.

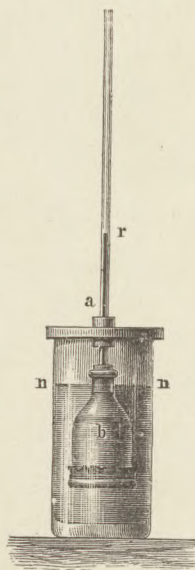
A szerves testek dagadó képessége vízben meglehetősen tág határok között mozog. Nevezetesen, amíg a parásodott sejtfalak alig, vagy csak keveset dagadnak meg, addig a *Nostoc*-félék nyálkaszerű sejt falában egy rész szilárd részre 200 és még több rész víz jut, ellenben a fásodott sejtek száraz fala 48—51% vizet vesz fel, a protoplazma víztartalma pedig 60—90% lehet.

A szerves testeknek ez a dagadóképessége szorosan összefügg a testek belső szerkezetével, amely még inkább kitűnik az ozmotikus folyamatoknál.

Nevezetesen ha a diffundálásra alkalmas két folyadék mennyiségét alkalmas módon valamely állati vagy növényi, sőt likacsos szervetlen hártyával választjuk el egymástól, azért a két folyadék egymásba való elegyedését nem gátoljuk meg csak lassítjuk és pedig a különböző folyadékok természetének megfelelő fokozatban. Azonban némely különös alkotású folyadékanyagra nézve meg is akasztjuk.

A hártya által elválasztott két folyadék egymással való elegyedése sem egyéb mint diffúzió és épen ezért a diffúziónak ezt a módját *ozmózisnak*, *átszivárgásnak* mondjuk. A hártyán át az átszivárgás sokkal lassabban történik, mint a szabad átömlés.

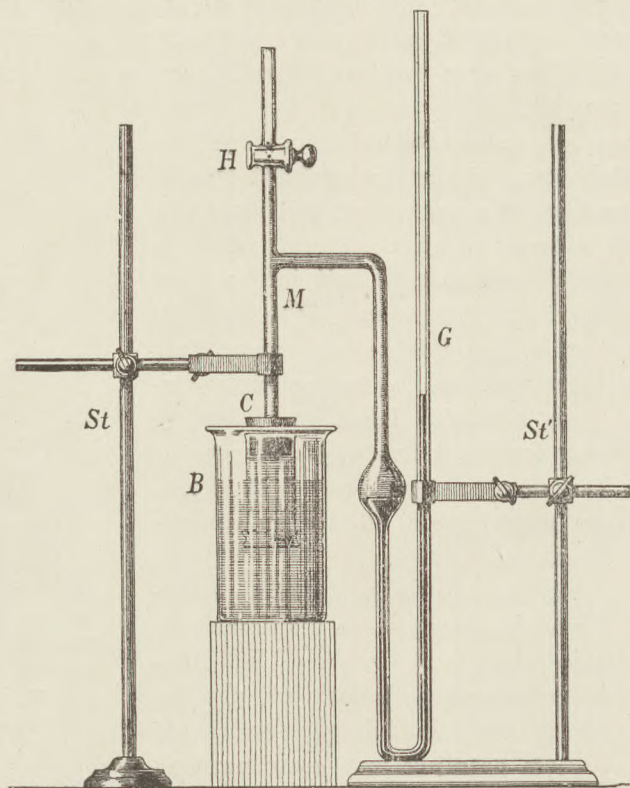
Az ozmózisra kétségtelenül hatással van maga a hártya minősége, de az átszivárgó folyadék is. Ennek bemutatására hasz-



32. kép.  
Endoszmométer.  
Johnson után.



nálhatjuk az endozmométernek nevezett készüléket (l. 32. kép), amely egy edényből ( $n\ n$ ) és ennek fedelén levő nyílásba ( $a$ ) nyúló csőből áll ( $r$ ); a cső alsó vége bele van erősítve a ( $b$ ) üvegharangba. A harang szája állati hártyával (pl. disznóhó-



33. kép.

Ozmométer az ozmotikus nyomás kimutatására szolgáló készülékkel. A vízzel telt  $B$  edényben van a disznóhólyaggal elzárt és telített cukoroldattal telt kisebb edény, amelynek nyílásába  $C$  kaucsukdugóval van beerősítve a manométer csőnek egy csappal is elzárható  $H$  ága. Az  $St$  és  $St'$  állványok tartják a higanyos manométert, amelynek egyik ága ( $G$ ) 60 cm hosszú. A csapon át cukoroldatot öntünk a csővekbe, úgyhogy a higany és a kisebb edény cukortartalma között ne legyen levegő. Rövid idő múlva a víz át fog jutni a cukoroldathoz olyan erővel, hogy a higanyoszlopot még 40 cm-nyire is felemeli. — De t m e r után.

lyaggal) vagy pergamenpapirossal van elzárva. Ha a harangba pl. rézszulfátoldatot öntünk, a harangot körülfogó nagyobb edénybe pedig vizet, úgy azt fogjuk tapasztalni, hogy a harang oldata lassabban fog a hártyán átszivárogni, mint az edény vize, aminél fogva a harangban a folyadék mennyisége gyarapodni és



a csőben emelkedni fog. (l. 33 kép.) A két folyadék eltérő ozmotikus viselkedése a két folyadékot elválasztó hártya hatásában is rejlik. Ugyanis ugyanazon jelenség áll elő, ha a rézszulfát helyett alkoholt használunk. Ellenben ha például vékony kaucsuklemez használunk hártyául és rézszulfát helyett alkoholt használunk, akkor több alkohol fog átszivárogni, mint víz és a csőben nem fog emelkedni a folyadék. Ezekből a tényekből sokan arra is következtettek, hogy a hártyának átbocsátó képessége összefüggésben áll a hártyának az illető átbocsátott oldattól való dagadásával, illetőleg oldó képességével.

Az átszivárgás pedig mindaddig tartani fog, amíg az elválasztó hártya két oldalán levő folyadék teljesen megegyező lesz.

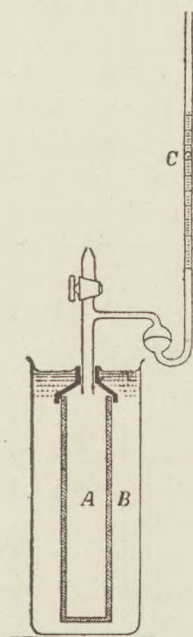
A vázoltakból kitűnik, hogy az ozmotikus folyamatokban úgy a folyadékok sajátsága, mint a hártya alkotása is szerepel bír. A növények elemi alkotórésze, a sejt, a sejtfallal van körülvéve, amely nemcsak vizet képes felvenni részecskéi közé és ennek folytán meg is dagad, hanem képes ezt a vizet a saját testén áteresztetni. A sejtfal a vízen kívül átereszt még a sóoldatokat is, úgyhogy hasonlóképen viselkedik, mint az endozométerben alkalmazott elválasztó hártya vagy lemez, sőt erre a viselkedésre sajátságos alkotásánál fogva alkalmas is.

Minden növényi sejt belsejébe ennél fogva csak olyan folyadék és olyan oldott anyagok juthatnak, amelyeket a sejtfal imbibálhat, illetőleg amelyek a sejtfalon át ozmotikusan átvándorolhatnak. Sok test és anyag azonban csak a protoplazmáig juthat el, mert a vízzel átitatott sejtfal sokkal nagyobb áteresztőképességgel bír, mint a plazma, illetőleg ennek hártyás rétege, amely sok, a sejtfalon átszivárgó anyagot egyáltalában nem bocsát át.

A jelenség illetén való bekövetkezésének az az oka, hogy a protoplazma ozmotikus tulajdonságai a sejtfalétól elütnek és Pfeffer tanúsága szerint megegyeznek az u. n. szemipermeábilis vagy hemipermeábilis hártyákkal. Ezek a félig áteresztő hártyák olyanok, amelyek sok anyagot pl. sok sót, cukrot egyáltalában nem bocsátanak magukon át, ellenben a víz könnyen áthatolhat rajtuk. Ha az előbb említett endozométerben az állati hártya helyett ilyen szemipermeábilis hár-



tyát alkalmaznánk, úgy a víz átmenne a rézszulfátoldathoz, el-  
 lenben az utóbbiból még csak nyomok sem jutnának a vízbe,  
 amiért is az ilyen félig áteresztő hárták elválasztotta oldatok  
 igen sok esetben egyáltalában nem elegyedhetnek egymással.  
 Az ilyen szemipermeábilis hárták az élő szervezetben nagyon  
 gyakoriak. Hasonló módon viselkedik számos amorph-csapadék-  
 ból képződő hártya is, mint aminő pl. az enyv, a cersav vegyü-  
 lete, a cinkferrociánid, a kupriferrociánid. Ezekből az anyagok-



34. kép.  
 A Pfeffer-féle ozmo-  
 tizáló készülék vázlata.  
 T h a n után.

ból azonban felette bajos a kísérletre alkal-  
 mas hártát készíteni, különben is nagyon tö-  
 rékenyek, miért is Pfeffer — akinek az  
 ozmózisra vonatkozó fontos vizsgálatokat kö-  
 szönhetjük — kísérleteihez a szemipermeá-  
 bilis hártát úgy állította elő, hogy az elek-  
 tromos elemnél, nevezetesen a Daniell-féle  
 elemnél használatos likacsos agyagedény fa-  
 lába vagy a falára kicsapódott kupriferro-  
 ciánid-hártát használta, amely az agyag-  
 edény által szilárdabb lett és a kísérlethez  
 olyanformán használható, mint azt a mellé-  
 kelt 34. kép tünteti fel, ahol A az agyag-  
 edény, B a vízzel telt edény és c a mano-  
 meter cső. A Pfeffer használta eszköz  
 hasonló szerkezetű, de a kísérletek pontos-  
 sága végett bonyolultabb összetételű volt.  
 Töltsük meg az agyagedényt 10%-os nádcu-  
 koroldattal, amely a kupriferrociánid-hár-  
 tyán nem képes áthatolni és állítsuk, az  
 agyagedényt a vízzel telt B edénybe, akkor  
 a víz a hártán át fog szívárogni és a cu-  
 koroldat a manometercsőben emelkedni fog

a manometercső higánya nyomásával szemben, míg az időegy-  
 ségben az agyagedénybe beáramló víz mennyisége megegyező  
 lesz a higany nyomása által kiszorított víz mennyiségével, ami-  
 kor is beáll az egyensúlyi helyzet. Az agyagedényben ilyen  
 módon beálló nyomás az ozmotikus nyomás.

Az ehhez a kísérlethez használt eszköz többé-kevésbé ha-



sonlít a növényi sejthez. Nevezetesen az agyagedény megfelel a sejtfalnak, a kupriferrociánid-hártya a protoplazmának, a cukoroldat pedig a vakuola tartalmának.

Ha az ilyen sejtet vízbe mártjuk, akkor a víz a sejtfalon és a protoplazmán át a vakuolába jut, amely ezáltal térfogatában gyarapodik, ami által a sejtfalat is megnyúlásra kényszeríti. A megnyúlt sejtfal azonban összehuzódási törekvésénél fogva nyomást gyakorol a vakuola víztartalmára és azt kiszorítani iparkodik, vagy ki is szorítja, míg azután itt is az egyensúlyi helyzet nem áll helyre. A vakuola ozmotikus nyomásának mértéke a sejtfal feszültsége, illetőleg megnyúlása. A jelenség lényegén az nem változtat, hogy a protoplazma tulajdonképpen a nevezett szemipermeábilis hártýáktól elüt és inkább folyadékhoz hasonlít, mint szilárd testhez és pedig azért nem, mert egyrészt ismerünk folyadékokat is, amelyek más folyadékot nem eresztenek át, például a víz az aethert áteresztí, a benzolt nem, másrészt a protoplazma legkülső rétege, a hártýaréteg is, ha nem is szilárd, de a leginkább tömött rétege a plazmának és így többé-kevésbbé pótolhatja a szilárd testeket.

A protoplazma permeabilitását megvizsgálhatjuk akár azáltal, hogy meghatározni iparkodunk, mely anyagok jutnak ki a vakuolából (*exozmózis*), akár azáltal, hogy meghatározni iparkodunk, mely anyagok jutnak be ozmózis útján a sejt bel-sejébe (*endozmózis*).

Az endozmózis tanulmányozásával könnyebben juthatunk célhoz. Minden nehézség nélkül határozhatjuk meg azokat az oldatokat, amelyekre nézve a protoplazma permeábilis vagy impermeábilis. A protoplazma impermeabilitásáról leginkább meggyőződhetünk a plazmolízis útján.

A plazmolízis egyszerűen abból áll, hogy a sejtnedvnek, vagyis a vakuolában levő víznek a sejtfalat, illetőleg a plazmát a sejtfalhoz szorító mennyiségét csökkentjük olyképen, hogy bizonyos részét vízelvonó folyadékok által felszívadjuk. Alkalmask erre a célra igen gyenge salétrom-, kősó-, sőt cukoroldatok, glicerín és alkohol is. Ezeknek az alkalmazásával a vakuola vízmennyisége csökken és a protoplazma fokozatosan elhuzódik a sejtfaltól és mind összébb és összébb huzódik, míg



vége a vakuola teljes eltűnésével a sejtüreg közepén gömb-szerű tömeggé gyűlik össze. Ha a plazmolyzist megszakítva ismét vizet juttatunk a sejtbe, a plazma ismét elfoglalja eredeti helyét.

Ha a plazmolyzált sejtből a vizet tartósan elvonjuk, végre is elpusztul, ellenben ha még idejekorán vizet juttatunk ismét bele, úgy a plazmolyzis megszűnik és a sejt minden látható károsodás nélkül tovább fog élni. Ily módon a plazmolyzissal könnyű megállapítani, hogy mely anyagok plazmolyzálják a sejtet és így a plazma mely anyagokra impermeábilis, ha az illető oldat pl. nádcukor, konyhasó, kálsalétrom oldata megfelelő tömötségű. Az oldat tömötségét tapasztalati úton kell meghatározni és pedig olyképen, hogy az az oldat lesz alkalmas a sejt plazmolyzálására, illetőleg az exozmózis előidézésére, amely a plazmának a sejtfalettől való elválása nyomait idézi elő. De Vries vizsgálataival bebizonyította, hogy az ozmotikus hatás nem az anyag súlyától, hanem a folyadékban oldott molekulák számától függ. A molekulák egyenlő számát megkapjuk, ha a vegyületeket molekulásúlyuknak megfelelő arányban oldjuk. Az illető vegyületből annyi grammnyi mennyiséget oldunk egy liter vízben, mint amennyi a molekulásúlyának megfelel, akkor a grammmolekulát egy literben, a molli-tert, vagy egyszerűen molt nyerjük. A nádcukorból tehát 342 g, káliumchloridból 74 g, nátriumchloridból 58 g oldandó egy liter vízben, ha egy molos oldatot akarunk készíteni. A vízben oldható szerves fémmentes vegyületek egy molja ugyanazon ozmotikus hatással bír. Az ekvimolos oldatok izozmotikusak. Ez azonban nem vonatkozik valamennyi vegyületre. Nevezetesen 101 g káliumnitrát körülbelül úgy hat, mint 1'5 molos nádcukoroldat, vagyis vannak oldatok, amelyek az ekvimolos cukoroldatnál nagyobb ozmotikus hatásúak. A számok, amelyek bizonyos oldatok hatását tüntetik fel, az izozmotikus koefficiensek. Ezek azonban csak híg oldatokra nézve érvényesek. A kémia újabb tanítása szerint a híg sóoldatokban a molekulák részben alkotórészeikre, az ionokra esnek szét, disszociálnak. Mindegyik szabad ion ozmotikusan ugyanazon jelentőséggel bír, mint az egész molekula. A disszociáció foka függ



egyrészt az oldat hígítottságától, másrészt az oldott vegyület sajátságától. Ez magyarázza meg tehát a híg oldatok ozmotikus hatását.

Ha két oldat ozmotikus határértéke különbözik egymástól, abban az esetben az alacsonyabb ozmotikus értékkel bíró oldatra azt mondjuk, hogy ez a magasabb értékkel bíró oldathoz viszonyítva hypotonikus, viszont a magasabb ozmotikus értékekkel bíró oldat az alacsonyabb értékűhöz viszonyítva hypertotonikus.

Az elektrolitikus szervetlen sók nagyobb ozmotikus hatása tehát kétségkívül az ionoknak elektrolitikus disszociációjával van összefüggésben. Így pl. 101 g káliumnitrát 100 cm<sup>3</sup> vízben ugyanazt az ozmotikus nyomást kellene hogy adja, mint 342 g nádcukor. A valóságban azonban a káliumnitrát 1'4-szer nagyobb ozmotikus nyomást ad, mint a nádcukor. Idevonatkozólag De Vries végzett alapvető vizsgálatokat, aki az eredményeket úgy egyszerűsítette, hogy a cukoroldat ozmotikus nyomását 2-vel vette egyenlőnek és a többi oldat nagyobb ozmotikus nyomását erre vonatkoztatta. Ezeket a tényezőket nevezte azután ő izozmotikus koefficienseknek. Az izozmotikus koefficiensek rendszerint 2, 3, 4, 5, értékek között váltakoznak és mutatják, hogy hányszor nagyobb egy adott oldatnak az ozmotikus nyomása a cukoréhoz viszonyítva.

Az ozmotikus nyomás mérése régebben rendszerint a plazmolyzissal történt. Meghatározták ugyanis különböző ismert töménységű oldatok hozzáadásával azt a pillanatot, amikor a protoplazma plazmolyzissal a sejtfaltól elvál. Ezt az értéket nevezték a határplazmolyzissal ozmotikus értékének. Ez az érték azonban csakis meglehetősen szilárd és nem nyújtható sejtfalakkal ad megfelelő eredményeket. A fiatal, nyújtható sejtfallal bíró sejteknél ez az ozmotikus érték kb. ugyanolyan mértékben lesz nagyobb a vízzel telített állapot ozmotikus értékénél, mint amilyen mértékben a sejt térfogata a sejtfal által megkisebbedik. Általában a vizsgálatoknál ezeket az utóbbi sejteket kerül. és maga De Vries a Rhoeo discolor kevésbé nyújtható epidermis sejtjeivel dolgozott.

Ujabban Fitting után az ozmotikus értékeket és az iz-



ozmotikus koefficienseket fagyáspont eljárással kémiai-fizikai úton határozzák meg. A kémiai-fizikai úton meghatározott koefficienseket az élettani úton meghatározottaktól való megkülönböztetésül más néven ozmotikus koefficienseknek mondjuk. Általában a fizikai-kémiai úton nyert koefficiensek magasabbak, mint a fiziológiai úton nyertek. Ennek a jelenségnek az okát azonban még kellően megmagyarázni nem tudjuk.

Az ozmotikus nyomást illetőleg tudjuk V a n't H o f f vizsgálataiból, hogy az oldott testek a gázokkal hasonló tulajdonságokkal bírnak. Ezen az alapon azután megállapították az ozmózis törvényét, amely szerint a homogén vegyületek 1 mol liter oldatának az ozmózis nyomása a jég olvadás pontján 22'42 atm. tesz ki. A különböző oldatok ozmózis nyomását ki is számíthatjuk, mert a Van't Hoff-féle törvény értelmében: az ekvimolós oldatok ozmózis-nyomása, gőznyomás csökkenése és forráspont emelkedése egyenlő. Ha tehát ezek egyikét kiszámítjuk, úgy az illető oldat ozmózisnyomását is megismerjük.

A növényi sejtek ozmózisára vonatkozólag P f e f f e r n e k köszönhetjük ismereteink javarészét. Nevezetesen ő mutatta ki, hogy a sejtekben levő nagy ozmózisnyomást kristályostestek, minők a nádcukor, káliumnitrát és más kisebb molekulájú testek, hozzák létre. P f e f f e r erre a célra a fentebb ismertetett agyagedényen a kupriferrociánid-hártyával végezte kísérleteit. Az ozmózis nyomásnak kimutatására használhatjuk a higanymanométerrel (l. 33. kép) és a szemipermeábilis hártyával bíró endozmometert is (l. 34. kép).

A pontosabb számításokat mégis a Pfeffer-féle agyagedényeken és szemipermeábilis-hártyákon végezték és ennek kapcsán jutottak arra az eredményre, hogy az ozmotikus nyomás a vízben oldott molekulának és ionoknak a sejt falában való ütdésén alapszik.

Az ozmózis nyomás létrejöttére nézve közömbös vajjon egy vagy több oldott vegyület van-e a sejt vakuolájában, hacsak ezek a vegyületek egymásra nem hatnak, vagy pedig más alapot nem öltenek, pl. szilárd halmazállapotba nem mennek át.

P f e f f e r klasszikus kísérleteit nádcukorral végezte. Idevonatkozó adatai higanymagasságra átszámítva a következők:



Cukor súlyszázalékban	higanymagasság cm-ben*)
1	53'5
2	101'6
4	208'2
6	307'5

Ebből következik, hogy az ozmotikus nyomás, az elért higanymagasság, meglehetősen pontosáig arányos a koncentrációval. Tehát ha 1%-os oldatnak több kísérletből elért középnyomásával = 55'4\*\*) cm higanyoszlop magassággal számolunk, akkor egy 34'2%-os oldat (= 1 mol) nyomása egyenlő 1727 cm higanyoszlop magassággal vagyis 22'4 atm.-val. Ez a szám alkotja a Van't Hoff-féle ozmotikus nyomásra vonatkozó összehasonlítást a gáz nyomásával. A gázokra a Boyle-féle törvény érvényes: A gáz térfogatának és nyomásának a szorzata állandó érték. Tehát ha a térfogat csökken, azzal arányosan kell emelkednie a nyomásnak. Közöséges atm. nyomás mellett 1 mol O (32 g), vagy 1 mol CO<sub>2</sub> (44 g) 22'4 liter térfogatú. Ha a gázt 1 liter térfogatra komprimáljuk, akkor 22'4 atm. nyomást kell erre felhasználnunk. 1 mol gáz nyomásának literekben megfelel tehát 1 mol nádcukor nyomása a Pfeffer-féle ozmotikus sejtben és ezen egyenlőségen alapszik az u. n. Van't Hoff-féle kinetikai oldatelmélet: az ozmotikus nyomás a vízben oldott molekuláknak és ionoknak a sejtfalra gyakorolt nyomásán alapszik.

Boyle-Mariotte és Gay-Lussac szerint egy bizonyos gázmennyiség nyomása függ annak térfogatától és hőmérsékletétől a következő egyenlet szerint:

$$pv = p_0v_0 \left(1 + \frac{1}{273} t\right)$$

ahol  $t$  = a hőmérséklet C<sup>o</sup>-ban,  $p$  = a gáz nyomása,  $v$  = a gáz térfogata,  $p_0v_0$  egy állandó, mert  $p_0 = 1$  atm. és  $v_0$  a gázmennyiség térfogata 0<sup>o</sup> C-nál 760 mm nyomás mellett, literekben kifejezve.

Ezt az egyenletet a következőképpen is írhatjuk:

$$pv = \frac{p_0v_0}{273} T, \text{ ahol } T \text{ az abszolút hőmérséklet (miután } T = t + 273).$$

Ha a  $\frac{p_0v_0}{273}$  konstans értéket  $R$ -rel helyettesítjük, akkor  $pv = R \cdot T$  (I.)

Van't Hoff szerint a cukoroldat ozmotikus nyomása

$$P = 0'652 n \left(1 + \frac{1}{273} t\right) \text{ (II.)}$$

ahol  $n$  = a cukorkoncentráció %-ban,  $t$  = a hőmérséklet.

A  $n$  koncentráció a cukor g mennyisége 100 cm<sup>3</sup> cukoroldatban, úgyhogy  $n$  g cukor 100 cm<sup>3</sup> oldat térfogatát adja. Ha a térfogatot, amelyet 1 g cukor ugyanabban az oldatban elfoglal  $V$ -vel jelöljük, úgy  $V = \frac{100}{n}$  cm<sup>3</sup> vagy  $\frac{1}{10n}$  liter, amelyből  $n = \frac{1}{10V}$ . Ha  $n$ -nek így kapott értékét a II.

\*) 13'2–16'1 C<sup>o</sup> hőmérséklet mellett.

\*\*) 32 C<sup>o</sup> hőmérséklet mellett.



egyenletbe behelyettesítjük, úgy

$$P = \frac{0.0652}{V} \left(1 + \frac{1}{273} t\right) = \frac{0.0652}{V \cdot 273} \cdot T$$

amelyből  $PV = \frac{0.0652}{273} T$  vagy pedig ha  $\frac{0.0652}{273} = r$ -t helyettesítünk be, akkor  $PV = rT$  (III.)

Ez az egyenlet a gázegyenlettel (I.) teljesen azonos.

Avogadro szerint egyenlő térfogatú különböző gázok egyenlő nyomás és hőmérséklet mellett ugyanolyan számú molekulát tartalmaznak, vagyis a gázok mennyisége, amelyek egyenlő térfogatúak, egyenlő hőmérséklet és nyomás mellett úgy aránylanak egymáshoz mint a molekulásúlyuk. Tehát ha a különböző gázok mennyisége molekulásúlyuknak megfelel, ha pl. 2 g  $H(H_2)$ , 32 g  $O(O_2)$ , 28 g  $N(N_2)$  stb.-vel, azaz a gázok u. n. grammolekulásúlyával végezzük kísérleteinket, akkor Avogadro szerint ezen gázok térfogatának egyenlő nyomást és hőmérsékletet feltételezve, egyenlőknek kell lenniök. 0° és 760 mm nyomás (1 atm.) mellett a gázok grammolekula térfogata = 22.42 liter.

A fenti gázegyenletben  $pV = RT$ ,  $R$  állandó a különböző gázoknál egyenlő, mert  $R = \frac{p_0 v_0}{273}$ , ahol  $p_0$  = a gáz nyomása és  $v_0$  = a gáz térfogata 0° C-nál, (miután  $T = 273$ ). Minthogy  $p_0 = 1$  atm. és  $v_0 = 22.42$  l, úgy  $R = 0.0821$ .

Van't Hoff szerint Avogadro törvénye az ozmotikus nyomásra is alkalmazható. Ha tehát 1 grammolekula, tehát 342 g cukrot ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) 1 liter vízben oldunk, úgy  $PV = RT$ . A valóságban 1 grammolekula cukor  $n$  %-os cukoroldatban  $V = \frac{342}{10n}$  liter térfogatú, amelyből  $n = \frac{342}{10V}$

Ezt az értéket a II. egyenletbe behelyettesítve

$$P = \frac{0.0652 \cdot 342}{V} \left(1 + \frac{1}{273} t\right) = \frac{0.0652 \cdot 342}{273 V} \cdot T$$

amelyből

$$PV = 0.0817 T$$

miután a III. egyenlet  $r$  állandója kb. egyenlő  $R$  gázállandóval.

A növényi sejtekben a protoplazma az az anyag, amely az anyagoknak a vakuolákba való bejutását és kijutását szabályozza, amely tehát a kísérletekben levő hártványoknak szemipermeábilis tulajdonságait veszi fel. A protoplazma tehát, természetesen az élő protoplazma, a sejtek között az anyagcserét az ozmotikus jelenségek kapcsán szabályozza. Nevezetesen át-bocsátja mindazokat az anyagokat, amelyekre neki szüksége van és viszont visszatartja azokat, amelyekre neki szüksége nincsen. Természetesen mihelyt a protoplazmát fizikai vagy kémiai úton elöljük, ezt az elválasztó szemipermeábilis sajátságát



gát elveszíti és rendszerint a különböző sóoldatok számára impermeábilissá válik. Az ozmotikus jelenségek a vakuolákban játszódnak le és a vakuolák azok, amelyek felvételkor megduzzadva, a sejteknek a dagadását, vagy vízveszteségnél a sejteknek az összehúzódását idézik elő. Az anyagok vándorlását tehát a növényi sejtben kizárólag a protoplazma szabályozza, míg a sejtfal passzív szerepet játszik. Hangsúlyoznunk kell már most azt az alapvető törvényszerűséget, hogy az ozmotikus jelenségek szempontjából a kolloidális oldatok tekintetbe nem jönnek, miután a kolloidok a sejtfalakon áthatolni nem tudnak. Azt a nyomást, amely az ozmotikus úton történt vízfelvétel hatására a vakuolákban kialakul és amely nyomás azután a sejteknek duzzadtságát előidézi, illetőleg közvetve az egész növény duzzadtságában nyilvánul meg: *turgornak* (feszültségnek) nevezzük. Ez a turgor, eltekintve élettani jelentőségétől, még a növények mechanikai szilárdítása szempontjából is fontos szerepet játszik.

A növények ozmotikus nyomásának számbeli kifejezésére vonatkozólag rendkívül sok adatot találunk az irodalomban. Általában ezeket legtöbbször plazmolytikus úton állapították meg. Ezek az értékek tehát mindég határplazmolyzissal utján elért értékek és egyáltalában nem jelentik azt, hogy vajjon a növényekben tényleg megtaláljuk-e ezt a nyomást, miután a nyomás kialakulása teljesen a vízfelvételtől függ. Tudjuk, hogy a teljes vízfelvételt tulajdonképpen csak az édesvízi növényeknél konstatálhatjuk. Általában a határplazmolytikus értékek rendszerint 5—10 atm. között mozognak, azonban egyes Gramineákban, de főleg alkalinövényekben 40—100 atm.-ig terjedő nyomást is mértek. A legmagasabb értéket Ruhl and mérte, a magyar sziktalajon is előforduló alkalinövényen, a *Statice Gmelin*-in, amelyet ő 10%-os NaCl oldatban tenyésztett. A határplazmolyzissal érték ennél a növényenél 165 atm. telt ki. Általában az ozmotikus nyomás évszakok szerint is változik. Már most meg kell jegyeznünk, hogy az ozmotikus érték és a turgor értéke egymással fordított viszonyban áll. Minél nagyobb ugyanis az oldatok töménységével összefüggésben levő ozmotikus érték, amely természetesen akkor lesz



a legnagyobb, amikor a növények vizet veszítenek, annál kisebb lesz a növényi sejtfal feszültsége, a turgor, viszont a vízzel való telítettség fokával párhuzamosan fokozatosan kisebbedik ugyan az ozmotikus érték, de annál nagyobb lesz a sejtfal feszültségében megnyilvánuló turgor.

Ugyanakkor azonban még egy másik tényezővel is számolnunk kell, amely a turgornyomást kisebbíti. Ez pedig a turgornyomás következtében fellépő és a sejtfal rugalmassága következtében előálló u. n. sejtfalnyomás. Höfler 1922-ben az ozmotikus nyomást, illetőleg a turgort szabályozó és befolyásoló tényezők egymás közötti összefüggésére vonatkozólag grafikusan ábrázolható törvényszerűséget állapított meg (l. 35. kép).

Az ábrán szereplő tényezők magyarázata a következő:

$G$  jelenti a turgornyomás változását plazmolyzált és vízzel telített állapot mellett  $G_1—G_T$  értékek között ha a sejt volumenje a plazmolyzált és a vízzel telített állapot között 1—1'5-ig változik,

$T$  jelenti a turgornyomás folytán fellépő falnyomást,

$O$  a ozmotikus nyomás alapértéke plazmolyzisznél. Ez alatt az érték alatt azt az elméleti nyomást értjük, amelyet a sejt-vakuolában levő sejtnedv, mint oldat az ozmométerben kifejtethet,

$O_t$  jelenti a vízzel fokozatosan telítődő sejt ozmotikus értékét,

$O_T$  viszont a vízzel teljesen telített sejt ozmotikus értékét jelenti,

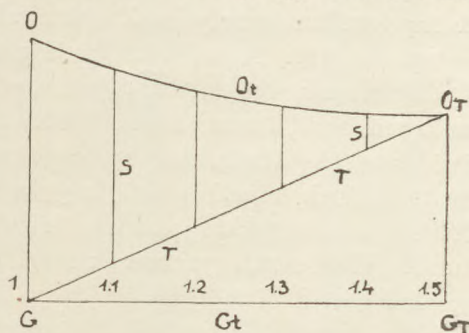
$S$  pedig a sejtnak az a szívóképessége, amellyel ozmotikus értékének megfelelően az ozmózis törvénye szerint a környezetéből vizet von el. Ennek az értékét a következő egyenlet fejezi ki:  $S = O_t - T$ .

Befejezésül még néhány szót óhajtunk szólni a protoplazma permeabilitásáról. A permeabilitás kétségkívül az élő protoplazmának különleges sajátága, amely a mindenkori életviszonyokhoz és életszükségletekhez alkalmazkodik és azért a leghelyesebb, ha a protoplazmánál, épen a táplálóanyagok kiválasztásával kapcsolatban szelektív permeabilitásról szólunk.



Rendkívül sok vizsgálattal rendelkezik az irodalom, amelyek azt igazolják, hogy bizonyos mértékben idegen anyagokkal a protoplazma permeabilitását mesterségesen lehet befolyásolni. Különösen kitűnően mutatható ki a különböző anilin festékanyagoknak a plazmán való áthatolása. Ezek közül az anilin festékanyagok közül csak néhányat lehet alkalmazni, amelyek a plazmára, mint élő anyagra nem mérgezőek. Így pl. a methylénkéket a növények 1:100.000 és 1:10.000 töménységben elég jól elbírják.

Overton a 64. oldalon már említett lipoid elméletével igyekezett a protoplazma permeabilitását megmagyarázni, miután szerinte azok az anyagok hatolnak be leggyorsabban (alkohol, aether, chloroform stb.), amelyek zsíros olajokban kitűnően oldódnak. Szerinte tehát valószínűleg a protoplazmának az a rétege, amely a vakuolát veszi körül és amely Pfeffer szerint az ozmózist elsősorban befolyásolja, lipoidokból áll. Idevonatkozólag Ruhl and a 65. oldalon már szintén említett ultrafilter-elméletet állította fel, anélkül azonban, hogy mindezek az elméletek kielégítően magyaráznák a protoplazma permeabilitását, amely végtére is az életjelenségekkel függ össze.



35. kép.

Az ozmotikus nyomást befolyásoló tényezők egymáshoz való összefüggésének grafikus ábrázolása. Höfler után.

### A víz és az abban oldott táplálóanyagok felvétele.

Egy egysejtű növény, amint az előző fejezetben láttuk, az öt környező oldatokból ozmózis útján veheti fel a táplálékot. Ezt a táplálékot azután saját testén, tehát ugyanazon sejten belül, amely a táplálékot felvette, oly vegyületté változtatja, amely egyrészt teste anyagának gyarapítására alkalmas, másrészt az életfolyamatok folytonos fenntartásához szükséges.



Ámde a sok sejtből, vagy pedig a sejtek miriádjaiból összealkotott növényekben ez a jelenség nem folyik le ily egyszerű módon. Nevezetesen a növényi test sejtjei bár kezdetben, származásuk elején teljesen egyenlők, később mégis úgy alakban, mint életfolyamatukban egymástól felette eltérőkké válnak. Sejtfaluk igen különböző alakban növekedik és vastagodik meg és ezáltal a sejtfalnak sajátos alakjai keletkeznek, mint aminők a gödörkés, vermes, gyűrűs, csavaros, hálózatosan léces vastagodás, amelyekben minden esetben a sejtfalnak kisebb vagy nagyobb része marad meg eredeti vékonyságában, vagy csak csekély mértékben vastagodik meg, sőt vannak sejtek a növény testében, amelyeknek egész falfelülete egyáltalában nem vastagodik meg. A sejtfalon kívül a sejttartalom is különbözőképpen változik, megtartva ugyan eredeti plazmaanyagát, azonban ezen belül és az általa körülvelt vakuolában igen különböző anyagok válnak ki és gyűlnek meg. Már ezek a tények is arra engednek következtetni, hogy a sejtek, amelyek ilyen különböző sajátosságokkal vannak felruházva, életműködésükben, munkájukban sem egyezhetnek meg. A további vizsgálatok igazolják is ezt a következtetést, mert meggyőznek afelől, hogy a sejtek, egységes felépítésük és egymással való szoros belső összekapcsolódásuk mellett is egymástól igen elütő munkát végeznek, amely azonban épen a protoplasztoknak belső összefüggése által lesz a növénynek egyetemlegesen hasznára.

A növényi élet munkájának a sejtek között való felosztása tűnik ki a táplálkozásban is. A gyökérszálak által felvett táplálékanyag — mindig a zöld növényeket tartva szem előtt — teljesen szervetlen anyagból áll és ha vegyületében szenved is némi változást a gyökérszörszálsejt protoplasztja által, azért még hosszú útát kell megtennie, míg eljuthat a növényi testnek azokba a sejtjeibe, amelyekben a szervetlen vegyületekből vagy azok közvetlen hatása alatt szerves, illetőleg organizált vegyületek lesznek. Az átalakulások lefontosabb székhelyei ugyanis leginkább a növényi test olyan sejtjeiben vannak, amelyek élénk zöld színükkel figyelmünket lekötik, bár tagadhatatlanul a vegyi átalakulások némelyik alakja a szár zöld szint nélküli sejtjeiben is végbe megy.



Ezekbe a zöld sejtekbe kell tehát eljutni a gyökerek által magukba vett és a vízben oldott szervetlen sóknak. Minthogy azonban ez az oldat csak nagyon csekély mennyiségben tartalmazza a sókat, nagyon is sok víznek kell a növényi testbe bejutni, hogy a megfelelő mennyiségű sók a növény rendelkezésére álljanak. Ezt a sókat szállító és egyébként felesleges vizet a növény azután akként távolítja el magától, hogy elpárologtatja (transpiráció). Különben is a növényi testnek egyéb céljaira is nagy mennyiségű vízre van szüksége. Nevezetesen szüksége van vízre oly célból, hogy a sejtfalakat és a sejtek protoplasztjait feladatuk teljesítésére képessé tegye, a növénynek tehát imbibált vízre van szüksége. Ezenkívül jelentékeny mennyiségű vizet kell tartalmaznia a sejteknek, hogy a falak megfelelő módon megdagadjanak és hogy a sejtek megduzzadjanak, mert csak ha az egyes sejtek turgoszenciája megfelelő lesz, nyeri el egyszersmind az illető növény levele és szára is a megfelelő duzzadtságot, amely nélkül semminemű életműködését nem folytathatja.

Ennek a különböző mennyiségű víznek összessége szolgáltatja az élő növény testének víztartalmát, amelynek nagyságáról már szólottunk a növényi test kémiai összetételénél. A víztartalom még nem fejezi ki egyuttal az élő növény szükségelte vízmennyiséget, nem pedig azért, mert a párolgás folytán vesztett vízmennyiség a párolgás nagyságától függ és azért bizonyos határok között mozog, de azért sem fejezi ki a növény vízszükségletét, mert a víznek bizonyos mennyisége szükséges még arra is, hogy elemeinek a hidrogénnek és oxigénnek felhasználásával alakuljanak meg a növényi test szerves vegyületei.

Mindezekből az tűnik ki, hogy a növényeknek jelentékeny mennyiségű vízre van szükségük és hogy a gyökerek említett munkájának jelentékenynek kell lennie, mert máskülönben a növény szükségletét nem elégíti ki és a növény elkezd selyleni és csakhamar elpusztul.

A vízszükséglet fedezésére természetesen elsősorban a talaj szolgál. A talajnak víztartó és vízátbocsátó képességéről már a talajtani fejezetben részletesen szólottunk.

Bár tárgyalásunk folyamán vízről beszélünk, de már az



előbbeniekből is kitűnik, hogy itt tulajdonképen nem vízről van szó, hanem mindig olyan vizes oldatról, amelyben előfordulnak a növényi test szükséges sőt sokszor felesleges táplálóanyagai is; ezeknek az összessége alkotja meg tehát azokat a táplálékokat, amelyeket rövidesen *nyers táplálékanyagok*-nak nevezhetünk és ha a továbbiakban a táplálkozás kapcsán vízről fogunk beszélni, tulajdonképen mindig ezeket a *nyers táplálékanyagokat* fogjuk érteni, amelyekből csak a növényi testben végbemenő vegyi átalakulások és folyamatok útján alakulnak meg a növényi testet közvetlenül alkotó és felépítő anyagok az u. n. *át hasonított anyagok* (asszimiláták).

Ezeknek a létrehozására szükséges tehát a nagy vízmenyiség, amely különösen a terjedelmes koronájú és nagyra fejlett fákban óriásira növekszik. Például egy két éves égerfa, amelynek párologtató felülete  $41'076 \text{ cm}^2$  volt, esti 7 órától reggeli 7 óráig (augusztusban)  $200 \text{ cm}^3$  vizet párologtatott el, a megfelelő nappali 12 órában  $1300 \text{ cm}^3$ -t.

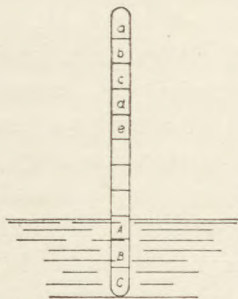
A párolgás nagyságát legjobban tüntetik fel azok az eredmények, amelyeket Höhn el ért el, aki egy bizonyos 100 g száraz anyaggal bíró levéltömegnek párolgóképességét határozta meg, amit az egy tenyészeti időszak alatt elpárologtatott vízmennyiséggel mért le:

a bibircses nyíren ( <i>Betula verrucosa</i> ) . . . . .	67'98 kg
a nagylevelű hársfán ( <i>Tilia platyphyllos</i> ) . . . . .	61'52 kg
a közönséges kőrisen ( <i>Fraxinus excelsior</i> ) . . . . .	56'69 kg
a közönséges gyertyánon ( <i>Carpinus betulus</i> ) . . . . .	56'25 kg
az erdei bükkön ( <i>Fagus silvatica</i> ) . . . . .	47'25 kg
a hegyi juharon ( <i>Acer pseudoplatanus</i> ) . . . . .	43'27 kg
a kopasz szilen ( <i>Ulmus glabra</i> ) . . . . .	40'73 kg
a kocsányos tölgyön ( <i>Quercus pedunculata</i> ) . . . . .	28'34 kg
a kocsánytalan tölgyön ( <i>Quercus sessiliflora</i> ) . . . . .	28'34 kg
a csertölgyön ( <i>Quercus cerris</i> ) . . . . .	25'33 kg
a mezei juharon ( <i>Acer campestre</i> ) . . . . .	24'68 kg
a lucfenyőn ( <i>Picea excelsa</i> ) . . . . .	5'84 kg
az erdei fenyőn ( <i>Pinus silvestris</i> ) . . . . .	5'80 kg
a jegegyfenyőn ( <i>Abies pectinata</i> ) . . . . .	4'40 kg
a feketefenyőn ( <i>Pinus nigra</i> ) . . . . .	3'20 kg



Ezek az összegek kifejezik egyszersmind az egyes növények vízszükségletét is, ha ebben a tekintetben a növények minden körülmények között egyenlően viselkednének.

Az egyszerűbb alkotású növényekben az ozmotikus úton felvett vízmennyiség a többé-kevésbé egyforma sejtekben sejtről-sejtre halad, ugyancsak ozmózis útján, míg elér oda, ahol felhasználódhatik. Az ozmotikus folyamatok szabályozója ebben a vízszállítási módban az, hogy az egymás mellé vagy az egymás fölé helyeződött sejtek mindegyikében a víz vagy felhasználódik, vagy lekötődik, vagy pedig elpárolog, minélfogva a sejtek víztartalma folytonos ingadozásnak van kitéve, vagyis a sejtek ebbeli egyensúlya megzavarodik. Ámde az ózmózis tárgyalásában kiemeltük, hogy a két szomszédos edény különböző vegyülete mindaddig át fog szívárogni az elválasztó hártyán, amíg a két edényben levő oldat teljesen egyenlő tömötséggű nem lesz. Tehát az egyszerű, egyforma sejtekből álló testben a víz mindaddig fog sejtről-sejtre vándorolni, míg valamennyi sejt víztartalma nem válik egyenlővé, minthogy pedig ez épen a sejtek folytonos munkája által folytonosan változik, a víz szállítása is az ozmózis miatt folytonos lesz.



36. kép.

Az egy sejtorsóból álló vízszállító oszlop mintája. J o s t után.

Ennek bemutatására szolgáljon a mellékelt J o s t közölte vázlatos rajz is (l. 36. kép), amely egy egyszerű, jóformán megegyező alkotású sejtekből álló növény pl. gomba testét tünteti fel vázlatosan. Az A, B, C sejtek a vízbe, illetőleg a táplálékot tartalmazó talajba süllyednek, ellenben az a, b, c, d, e sejteket a levegő fogja körül. Az a sejt párolgás folytán vizet veszít, amelynek pótlására a b sejtől vizet szív, de a b sejt is párologtat vizet, amelynek pótlására és az a sejtnek átadott víz pótlására a c sejtől von el vizet. És így tovább: már az e sejt vízszükségletének fedeznie kell a saját maga és az a, b, c, d sejtek által felhasznált, illetőleg elpárologtatott vízmennyiséget. Mindezt pedig az alatta levő sejtekből szívja fel, amely



sejtek már helyzetüknél fogva is a víznek a környező talajból való felvételére alkalmasak. A felső sejtek vízszükségletét elsősorban az *A* sejt fedezi egyszersmind ellátva a maga szükségletét is, a pótlásra szükséges vizet pedig környezetéből, de a *B* sejtől is elvonja. A *B* sejt ismét a szükséges vizet környezetéből és a *C* sejtől szerzi be, a *C* sejt pedig egyedül a környezetéből. Tehát itt már a sejtek munkája megoszlik, de egyben közösen közreműködnek, nevezetesen a víznek átszivárgás útján való szállításában.

Az egyszerűbb és kisebb testtel bíró növények vízszükséglete ily módon teljes kielégítést is fog nyerni.

A vízfelvétel szempontjából a növényeknek legfontosabb szervei, amint ezt már az I. kötetben is részletesen kifejtettük, a gyökérszőrők, kivéve azokat a növényeket, amelyek nem gyökérszőrőkkel, hanem az u. n. mykorrhizákkal veszik fel a talajból a tápanyagokat, aminők pl. az erdei fák túlnyomó része. A növényeknek gyökérrendszere természetesen nagy kiterjedtségénél fogva hatalmas vízfelvevő felülettel rendelkezik. Különösen jellegzetesek *N o b b e*-nek a lúcfenyő-, jegefenyő- és az erdeifenyőre vonatkozó vizsgálatai, aki egy nyáron át ezeknek a fákknak a csiranövényeit homokban kultiválta és azután a gyökérrendszer egész nagyságát lemérte. Kísérleteinek eredményeképpen *N o b b e* megállapította, hogy az összes gyökerek hosszúsága ezeknél az 1 éves csiranövényeknél a következő volt: A jegefenyőnél 1 m, a lúcfenyőnél 2 m, az erdeifenyőnél pedig 12 m, míg a gyökerek teljes felületi nagysága a jegefenyőnél 49'52 mm<sup>2</sup>, a lúcfenyőnél 64'33 mm<sup>2</sup>, az erdeifenyőnél pedig 142'23 mm<sup>2</sup> volt.

Amint látjuk az erdeifenyő gyökérrendszere nagyságban alaposan túlszárnyalja a lúcfenyő- és jegefenyő gyökérrendszerét és épen ez a viselkedése okozza, hogy pl. az erdeifenyőt száraz, kavicsos, homokos területek erdősítésére is kiválóan lehet alkalmazni, amint azt a Nagy Magyar Alföldön a homokos talajok erdősítésénél az erdeifenyővel közel rokon feketefenyő kiválóan beigazolta.

Az utóbbi években *M a g y a r* végzett a püspökladányi szikkisérleti területen beható gyökérvizsgálatokat, amelyeknek



eredményei azt mutatták, hogy a szikes és valószínűleg a homokos talajok erdősítésénél is a gyökér kialakulása, de különösen a gyökérzetnek a mélységbe hatolása a döntő körülmény az illető fafajnak száraz viszonyok között való megmaradását illetően. Minél hamarabb képes valamilyen növény karógyökérével a talajvizet elérni, annál nagyobb a valószínűsége annak, hogy a legnagyobb szárazság idején is megmarad. Amint az ő vizsgálatai mutatják, a gyökérzet kialakulása szempontjából még a gyökerek ellenállóképessége is rendkívül nagy fontossággal bír. A gyökér vízszintes kiterjedése a szárazsággal való harc szempontjából nem olyan fontos, mint a mélységbe hatoló vertikális gyökerek, amelyek a talajvizet később elérik. Az ő vizsgálatai szerint a gyökerek ellenálló képessége és vertikális nagysága szempontjából a sorrend a következő:

1. *Tamarix tetrandra*, *Elaeagnus angustifolia*.

2. *Tamarix odessana*, *Pirus piraster*, *Amorpha fruticosa*.

3. *Ulmus glabra*, *U. levis*, *Quercus robur*, *Sophora japonica*.

4. *Fraxinus americana*, *Fr. excelsior*, *Populus virginiana*, *P. alba*, *Acer negundo*.

Igen érdekesek N obbe-nek a mérései, amelyeket nem erdei fák, hanem más fafajokon végzett. Így pl. egy 1 éves gabonanövénynek az egész gyökérhosszúsága 500—600 m-t is kitehet, míg pl. egy nagy *Cucurbita pepo*-nak a teljes gyökérhosszúságát N obbe 25 km-re becsüli. Sachs szerint egy napraforgó teljes gyökérzete kb. 1 m<sup>3</sup> térnek felel meg. Természetesen nagyobb fák, amelyek több száz évig élnek, a hatalmas kiterjedt gyökérrendszer több m<sup>3</sup> térfogatú lesz.

Általában fiziológiai szempontból a növények és így a fák gyökerei között is meg kell különböztetnünk az u. n. hajtó gyökereket és a szívó gyökereket. Az előbbieket általában a növények szilárdítására szolgálják, ezek rendszerint vastagok és csakhamar kéreggel veszik magukat körül. Ezzel ellentétben a szívógyökerek vékonyabbak, azonban ezeknek sem szolgál a teljes felülete vízfelvételre, hanem rendszerint csak a fiatalabb



részeik, mégpedig a csúcs után következő az a rész, amely gyökérszörőkkel van fedve, szolgál a víz felvételére.

A legtöbb növénynél tehát a gyökérszörök rendkívül nagy fontossággal bírnak. Különösen fontos az a körülmény, hogy ezek a gyökérszörök a gyökerek vízfelvevő felületét megsokszorozzák, így pl. a kukoricánál 5·5-szeresre, az árpánál 12-szeresre növekedik a gyökerek szívófelülete. A gyökerek vízszívó képessége szempontjából tehát kétségtelenül a gyökérszörök mennyisége játssza a fontos szerepet. Kivételt képez természetesen az erdei fák egy jelentékeny része, amelyek a később tárgyalandó u. n. mykorrhiza segítségével veszik fel a földből táplálóanyagaikat. A mykorrhizát alaktani szempontból az I. kötetben már részletesen ismertettük a 248. oldalon, élettani szerepéről pedig egy külön fejezetben fogunk szólni.

Általában a gyökérszörök, amint S a c h s kiváló vizsgálatai mutatják, nemcsak a közvetlen környezetben felhalmozódott vizet veszik fel és vonják el, hanem a környező földréteg vizét is magukhoz vonzzák, miután a földrészecskék mindegyike adhéziós úton vizet tart lekötve apró vízcseppek alakjában, amelyek egymással összeköttetésben vannak. Vagyis minden talajszemecske egy ilyen vízférával van körülvéve, amelynek külső része természetesen sokkal lazább összefüggésben van a többi részekkel, mint a közvetlenül a talajszemecskékkel érintkező vízréteg.

A vízfelvételnél tehát a gyökérször először a vele közvetlenül érintkezésben levő talajszemecskék vizét fogja elvonni és később azután, minthogy az egyensúlyi helyzet ezeken a részen meg lesz zavarva, ez a vízelvonóképesség ezekkel a vízcseppekkel összefüggésben levő többi részre is kiterjed egészen addig, amíg a gyökér szívóképessége egyenlő lesz azzal az adhéziós erővel, amely ezeket a vízcseppecskéket a talajrészecskékhez vonzza. Világos tehát, hogy a gyökerek, illetőleg a gyökérszörök idővel a közvetlen környezetükön kívül szívóképességüknek megfelelően még egy jó darab földtömegből képesek a vizet elvonni.

A gyökerek közvetlen szívóerejére vonatkozó meggondolást már ismerjük az előző fejezetből (csmózis és diffúzió).



Ezekből a vizsgálatokból láthatjuk azt is, hogy maga az ozmotikus nyomás, amelyet plazmolytikus úton állapítunk meg, épen nem döntő a vízfelvétel szempontjából, miután itt a döntő szerepet az ozmotikus nyomáson kívül még az illető növénynek vagy növényrésznek vízzel való telítettsége játssza. Ursprung és munkatársai egy kitűnő eljárást dolgoztak idevonatkozólag ki. Meg kell itt jegyeznünk, hogy Huber nagyon helyesen az abszolút és relatív szívóhatást különbözteti meg. A relatív szívó erő alatt érti azt az erőt, amely a növényekben az adott ökológiai viszonyok mellett megvan, míg abszolút az a szívó erő, amelyet plazmolytikus úton állapítunk meg.

Ursprung eljárását röviden a következőkben vázoljuk:

Örökzöldlevélnek paraffinolajba ágyazott, tehát természetes turgornomással bíró metszetét mikroszkópon vizsgálva azt találta, hogy egy sejt volumenje 31.509 (tetszés szerinti egységben). Ugyanazon sejt volumenje plazmolyzált állapotban 21.799 és vízzel telített állapotban pedig 34.779 volt.

A sejt térfogatnövekedése a plazmolyzált állapottól a telített állapotig 12,980, míg a plazmolyzált és a természetes állapot közötti különbség 9710. A határplazmolyzisz ozmotikus értéke megfelel egy 0'78 g mol-os nyerscukoroldatnak.

Tehát az ozmotikus érték természetes állapotban ( $p.v = k$  egyenlet szerint) megfelel 0'54 g mol nyerscukoroldatnak, míg telített állapotban 0'49 g mol nyerscukoroldatnak.

Ha már most a természetes állapotban fennálló falnyomást (x) keressük, úgy

$$\frac{\text{ozmotikus érték (= falnyomás telített állapotban)}}{\text{falnyomás természetes állapotban}} = \frac{0'49}{x} = \frac{1298}{971}$$

$x = \text{falnyomás természetes állapotban} = 0'37$  (feltételezve, hogy a falnyomás növekedése és a sejt térfogatnövekedése között az arány megvan).

Tehát a szívóerő = ozmotikus érték — falnyomás  
 $= 0'54 - 0'37 = 0'12$  g mol nyerscukoroldat.

Ez a nyerscukoroldat 4'49 atm. nyomást gyakorol; ez az örökzöldlevél vizsgált sejtjének természetes állapotban levő szívóereje.



Ursprung második, egyszerűbb eljárása abból áll, hogy a megvizsgálandó sejt volumenjét, amely paraffinolajba van ágyazva a mikroszkópban megrögzíti, illetőleg lerajzolja és azután kipróbálja, hogy milyen erős töménységgel bíró nádcukor oldatban marad ez a térfogat továbbra is változatlan. A sejt természetes állapotában most már ugyanazzal a szívóképességgel fog rendelkezni, amely szívóképesség ezen nyerscukoroldatnak ozmotikus nyomása alapján megfelel.

Rendkívül érdekes, hogy a gyökérsejtek, különösen a gyökérszőrshálak sejtjei szívóképességüket annak a környezetnek megfelelően szabályozzák, amely környezetben nőnek. Így pl. nedves fűrészpörban a gyökér epidermisz sejtek a gyökérszőrök közelében 1'1 atm. ozmotikus nyomást fejtettek ki, amely nyomás vízbe való áttételkor 0-ra süllyed, viszont, ha ugyanazt a gyökeret 0'02 g mol nádcukor oldatba teszik, amelynek szívóereje 0'5 atm., akkor a sejtek is szabályozzák ozmotikus nyomásukat ugyanerre a magasságra. Világos tehát, hogy ilyen módon a gyökerek, illetőleg a gyökereknek azok a részei, amelyek vízfelvételre képesek, ozmotikus úton a környező talajrézecskekből a vizet bizonyos mértékben elvonni képesek. Természetesen a sivatagi növények, amelyek a nagy szárazságban kénytelenek környezetükből az utolsó csepp vizet is kivonni, plazmolytikus úton való méréseknél 100 atm. nyomást is kifejtenek. Hasonlóképen nagyon száraz talajokban, így pl. a mikiszáradt sziktalajainkban is, amint Stockernek még nyilvánosságra nem hozott mérései mutatják, 25—30 atm. nyomással bíró gyökérsejtek fejlődnek ki. Természetes dolog, hogy a transpiráció folytán, amelyet a későbbi fejezetekben részletesen fogunk tárgyalni, a növényekben alulról felfelé számítva fokozatos vízvesztés lép fel és ennek a következménye az, hogy az egymásra következő sejtekben az ozmotikus nyomás meg lesz bontva és így a növény vízfelvételre kényszerül. Általában a hőmérséklet csökkenése kisebbiti a vízfelvételt, sőt az  $+4^{\circ}$  és  $+2^{\circ}$  között teljesen meg is szűnik. Látjuk tehát, hogy a növényi sejt ozmotikus hatóképessége még a környezet befolyásától is jelentékeny mértékben függ. Kosaroff ennek mérésére egy u. n. potetometert készített (l. 37. kép), amely-

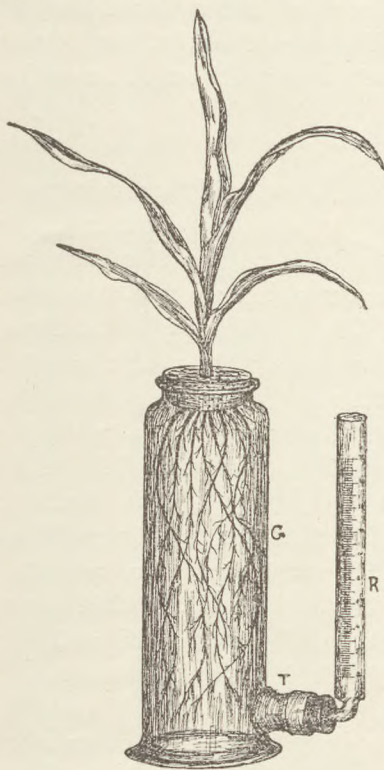


lyel a vízfelvételt és a párolgást egy időben lehet mérni. Ez a készülék a párolgást vízkulturákban felnevelt növényekkel méri. K o s a r o f f ennek a potetometernek használatával arra az eredményre jutott hogy 0°-nál a felvett vízmennyiség kb.  $\frac{3}{4}$ — $\frac{2}{3}$  részét teszi ki a 20°-nál felvett vízmennyiségnek. R y s s e l b e r g h e viszont megállapította azt, hogy 20°-nál a víz mozgása 7-szer olyan gyors, mint 0°-nál.

Kétségtől a többi kísérletek is végeredményben azt mutatják, hogy a vízfelvevő képességnek a hőmérséklettel való emelését nemcsak tisztán fizikai okok, tehát a sejtfalak permeabilitásának emelkedése, hozza létre, hanem azt azonfelül még fiziológiai belső okokra visszavezethető folyamatok is szabályozzák. Különben ezen a téren a növények szintén nagyon messzemenő alkalmazkodási képességet mutatnak és vannak növények, amelyek még fagyott földben is képesek bizonyos mennyiségben vizet felvenni.

A földben levő gyökereken kívül még egyes növényeknél, különösen a nedves légkörben élő Epiphytáknál nagyon gyakran léggyökerekkel is találkozunk. Ezeknek a léggyökereknek jellemző sajátsága, hogy, amint azt az I. kötet 255. oldalán részletesen tárgyaltuk,

az epidermisz helyett egy velamen-nek nevezett sejtszövetből állanak, amelyek esőzéskor mint szívacs szívják magukba az esővizet és azt a növény számára hosszabb ideig megtartják. Nagyon sok esetben, különösen az epiphyta növényeknél, a gyökerek eredeti jelentőségüket úgyszólván teljesen



37. kép.

A víz felvételének és a víz párolgásának egyidejű meghatározására szolgáló készülék. Pfeiffer után.



elveszítik és mint pl. a Bromeliaceáknál a vízfelvétel kizárólag a leveleken keresztül történik. Egy tipikus példája ennek a *Tillandsia usneoides*. Rendkívül érdekes, hogy a mi klímánk alatt előforduló epiphyta növények (ide természetesen nem a magasabbrendű növények, hanem moszatok és egyes zuzmók tartoznak), igen nagy mértékű kiszáradást bírnak el, amely bizonyos fokig képesíti őket arra, hogy a mi klímánknak azokat az átmeneti időszakait, amikor elegendő esővíz nem áll rendelkezésükre, kibírják.

### A növények párolgása.

A víz szállítása még ma is egyike a növényélettan legjobban vitatott problémáinak. Amint látni fogjuk különösen a nagyobb fáknál és általában a nagyobb kiterjedésű növényeknél az ozmotikus nyomás még nem elegendő arra, hogy vele a víznek a fában való mozgását megmagyarázhassuk. A növény ugyanis állandóan vizet veszít, miután levelei és testének felülete folyton vizet párologtatnak és az így előálló vízvesztéséget okvetlenül pótolnia kell a növénynek. Ez a pótlás a növény életfolyamatai szempontjából feltétlenül szükséges, miután épen az a körülmény, hogy a növény vizet veszít és az elpárologtatott vizet pótolnia kell, hozza létre testében a víz körforgását, amely víz, amint tudjuk, a talajból felvett táplálóanyag forgalmát is közvetíti. Nekünk tehát a vízszállítással kapcsolatban elsősorban a növények vízhiányát főképen előidéző párolgás jelenlétével kell foglalkoznunk.

A párolgásnak közvetítői a levelek, amelyeknek anatómiai szerkezetét az I. kötetben részletesen tárgyaltuk és tudjuk, hogy a magasabbrendű növények párolgásának véghezvitelére és szabályozására különböző berendezések, az u. n. levegőnyílások szolgálnak. Természetesen a növény többi, még fiatal epidermisszel borított részei is párologtatnak vizet, ezeknek a részeknek a párologtatása azonban elenyészően csekély ahhoz képest, amit a növények levegőnyílásaikkal elpárologtatnak. A növények párolgása különösen akkor válik érzékelhetővé, hogyha száraz időjárás esetében nem áll módjában a növénynek az elpárologtatott vízmennyiséget pótolnia. Ilyenkor a nö-



vények ellankadnak, sőt el is száradhatnak. A párolgás akkor, ha az elpárologtatott vízmennyiség aránylag nagy, bármikor bemutatatható és érzékelhető, de mégis legjobb és legbiztosabb eszköz ebből a célból a mérleg, amely aránylag kis mennyiségű víznek elvesztését is megmutatja.

**A párolgás mérése.** Az elpárologtatott vízmennyiséget megállapíthatjuk, ha magát a növényt helyezzük a mérlegre és pedig úgy, hogy a cserepet vagy elzárható üveg- vagy bádogedénybe állítjuk, amelyből a növény szára kinyulik, vagy pedig a cserepet és a földet guttaperchapapirosba göngyöljük és a mérleg két serpenyőjét most egyensúlyba helyezzük. Rövid idő múlva azt fogjuk észrevenni, hogy a súlyokkal telt serpenyő nehezebb lesz és lesüllyed. Minthogy pedig a növényen más változás nem ment végbe, csak a párolgás folytán távozott el a növényből a vízgőz, az egyensúlyi helyzet megváltozását kétségtelenül a növény párolgásának tulajdoníthatjuk. Ha már most meg akarjuk tudni, hogy adott időben mennyi víz távozott el a növényből, a virágcserep mellé annyi súlyt kell helyeznünk, amennyi az egyensúlyt ismét helyreállítja. Ez a súlymennyiség lesz az eltávozott víz súlya. Megjegyzendő, hogy a növény súly szaporodását és csökkenését a később ismertetett életfolyamatok (áthasonulás, lélekzés) is módosítják, amiért is ez a súlymennyiség nem fejezi ki teljes pontossággal az eltávozott víz mennyiségét.

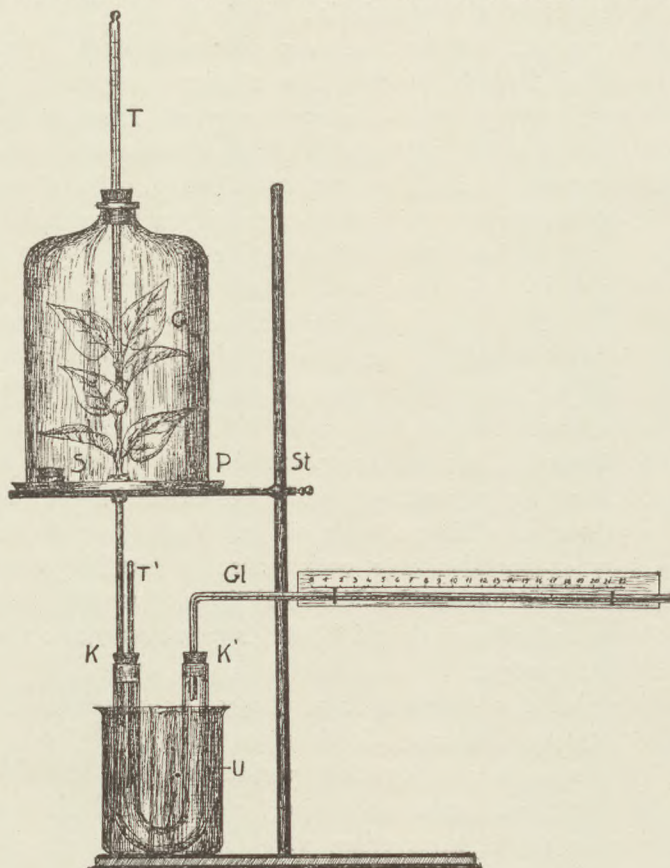
A kísérlet ellenőrizhető úgy, hogy a cserepes növényt üvegharanggal lefedve hagyjuk bizonyos ideig a mérlegen. Hosszabb idő múlva is azt fogjuk tapasztalni, hogy a mérleg két karja nem mutat változást azért, mert a növényből eltávozó párárt, amely az előbbi kísérletben a mérleg helyzetének változását idézte elő, most felfogjuk ugyancsak a mérlegen.

Egy másik a párolgás mérésére szolgáló igen egyszerű készülék a már ismertetett potetometer (l. 37. kép).

A párolgás mértékének meghatározására szolgáló kísérleteket egyesíthetjük is. Így találjuk ezt a *Detmer*-féle párolgásmérőn (l. 38. kép), amelynek vasállványán (*St*) alkalmas módon ráerősített, közepén átlukasztott porcellántányért látunk (*p*); erre egy hőmérővel (*T*) ellátott üvegharang (*G*) borul.



Az U alakuan meghajlított és vízzel telt üvegcső egyik végébe dugóval ( $K$ ) egy hőmérő ( $T'$ ) és egy orgonahajtás van odaerősítve, amelynek levelei a porcellántányér gyapottal elzárt nyílásába nyúlnak be, úgyhogy a levelek a harang alá jutnak. Az



38. kép.

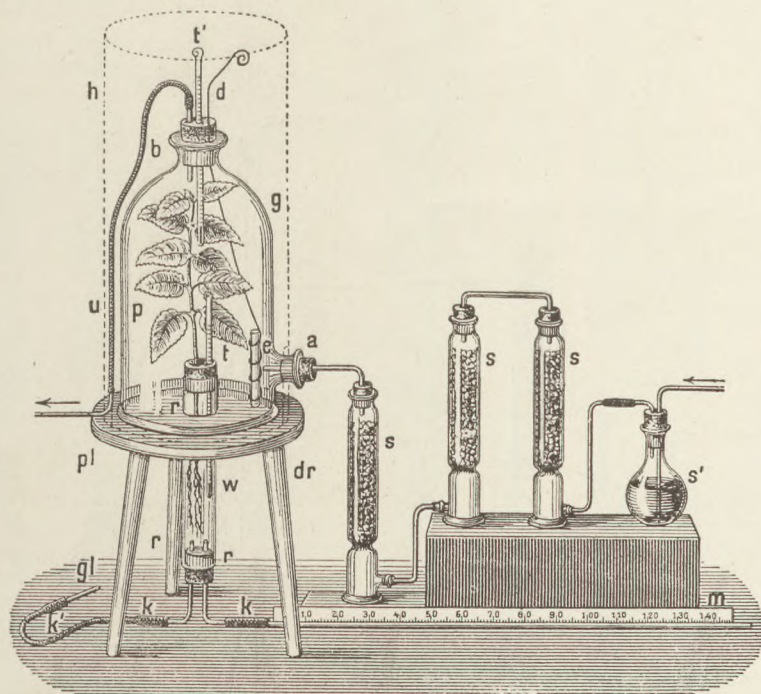
A párolgást mérő készülék. Detmer után.

$U$  cső másik végébe  $K'$  parafadugón át egy cső ( $Gl$ ) hajlított ága nyulik be, amíg a másik ága vízszintes és milliméterekre van beosztva. A harang alatti hőmérséklet emelése céljából a csészébe ( $S$ ) forró homokot helyezünk, a porcellántányérra pedig megmért súlyú száraz calciumchloridot.



A levelek párolgása folytán a *Gl* csőben a víz megfogy és így a párolgás mértékéről közvetlenül meggyőződhetünk. Hogy pedig az elfogyasztott vízmennyiségből mennyit használt fel a növény más célra, azt kiszámíthatjuk az elfogyasztott víz mennyiségének és a képződött pára súlyának összehasonlításából.

A párolgás mérésére még jóval bonyolódottabb eszközöket is állítottak össze, aminő pl. a Kohl-féle párolgásmérő készül-



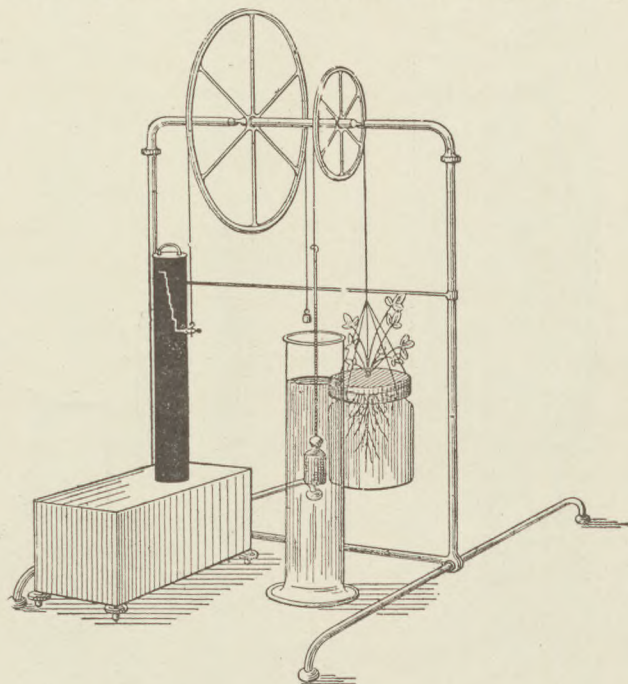
39. kép.

Kohl-féle párolgásmérő. Burgerstein után.

lék (l. 39. sz. kép), amelyet szerzője következőképen ír le: a vízzel telt *r* csőbe felülről átlukasztott és kettéhasított kaucsukdugón át a kísérleti növény *p* gyökeres részét helyezzük el egy hőmérővel együtt; alulról az *r* csőbe két üvegcső nyúlik be, amelyek közül az egyik rövid kaucsukcsővön át a beosztott hajszálcsővel közlekedik (*m*), a másik pedig a *k'* kaucsukcsővel függ össze. Ez utóbbit a *gl* üvegpálca zárja el, amelynek segítségével



az  $m'$  csőben a víz állását szabályozni lehet. A vasháromlábbon ( $dr$ ) elhelyezett lemezt ( $pl$ ) az  $r$  csővel ragasztóanyag köti össze; e lemezre van helyezve a  $g$  harang, amelybe  $a$  nyíláson át száraz levegő jut be, amely a  $b$  nyíláson és az  $u$  csöveken keresztül elhagyja a harangot. A levegő szárítására szolgálnak az  $S, S'$  kénsavas üvegek. Az aszpirator az  $u$  csövön keresztül állandóan levegőt szív át, amelynek hőmérsékletét a harang



40. kép.

Copeland-féle párolgásmérő önműködő jelzőkészülékkel. Burgerstein után.

nyílásába helyezett  $t'$  hőmérő tünteti fel. Az egész még kemény papirosból készült hengerrel ( $h$ ) is leborítható a növénynek sötétben való vizsgálata végett. Az üvegharang nyílásába erősített drót ( $d$ ) alsó végén homokkal telt kémlőcső ( $e$ ) van, amely forróvá téve az üvegharang alatti levegő melegítésére szolgál. A készülék alkalmas a gyökeres növény vízfogyasztásának közvetlen megfigyelésére különböző hőmérsékletű és folyton mozgó levegőben.



A páramennyiség meghatározására többen önműködő regisztráló készüléket alkalmaztak (l. 40. kép). Ilyen módon végzett kísérletekből kiderült, hogy a növény állandó viszonyok között egyenlő mennyiségű vizet szív fel és párologtat el. A külső viszonyok változásával nagyon természetesen a párolgás mennyisége is megváltozik. De kitűnt az is, hogy a levelek párolgása és a vízfelvétel között nincsen meg mindig a pontos arány.

Ez a kísérletileg megállapított tény érvényes minden növényre és nem változtat rajta az a tapasztalat sem, hogy az alámerült vízi növények nem párologtatnak el vizet. Viszont azonban eddig megdöntetlenül áll az, hogy a többi, tehát nem vízben alámerült növény nem tenyészhetik párolgás nélkül és e párolgás még a nagyon nedves légkörű vidékeken is elégséges arra, hogy a növény a megfelelő mennyiségű hamualkotórésszel ellássa magát.

A levegőnyílások párolgását közvetlenül is be lehet bizonyítani. Több kutató foglalkozott már e kísérleti bizonyítással. Igen tanulságos és egyszerű módja a bizonyításnak az, amelyet Stahl alkalmazott és amely a párolgást kobaltpapirossal ellenőrzi. A kobaltpapiros nem egyéb, mint szűrőpapiros, amelyet 1—5%-os kobaltchloridban áztattunk és azután megszárazítottunk.

A teljesen szárazon kékes kobaltpapiros a nedvesség iránt igen érzékeny és a víztől megveresedik. A kobaltpapirost a növény levelére illesztjük alul és felül és az egészet üveglapok közé fogjuk. Ha olyan levélre illesztjük, amelyen felül az erősen kifejlődött kutikula folytán nincsen párolgás, akkor a felső lapra illesztett kobaltpapiros színe nem változik, ellenben a levegőnyílásos alsó felületre illesztett kobaltpapiros csakhamar megfog veresedni a párolgás jeléül. A levegőnyílás nélküli felületeken, még gyengébb kutikulás leveleken is (*Tropaeolum*, *Sparmannia*, *Populus*, *Pirus*) csak 3—60 perc múlva és az erős kutikulás leveleken (*Ficus elastica*, *Begonia*, *Hedera*) csak néhány óra múlva, sőt csak 2 nap múlva fog a színváltozás jelentkezni. Ez is bizonyítja, hogy a kutikuláris párolgás rendkívül lassú, úgyhogy az erősen kutikulás leveleken számba sem vehető, de viszont azt is igazolja, hogy a kutikula mégis csak párolog. Buscalioni és Pollacci ezt a



levelekre kent kollódiummal is megállapították, amelynek elharmadosodása a párolgásnak bizonyítéka.

Még egyszerűbb, ha nem is meggyőzőbb a Detmer ajánlotta kísérlet. Eszerint az orgona vagy a juhar levelét, amelynek felső felületén nincsen levegőnyílás, üveglemezre és ezzel együtt fedős üvegcsészébe helyezzük, kevés vízzel megnedvesített, porrá törött konyhasóval kissé beszórjuk úgy az orgonalevet, mint az üveglemezt és azután a csészét a fedelével lezárjuk. Rövid idő múltán a levél felületén a só egészen átnedvesedik és szétfolyik a levél felületének kutikuláján átjutott vízpáráról.

Különben a levegőnyílások párolgásáról akként is meggyőződhetünk, hogy a levegőnyílással bíró felületet zsírral, faggyúval bekenjük, az eredmény az lesz, hogy az ilyen növény üvegharang alá helyezve nem fog párologni és a pára nem fog a harang falára lecsapódni. A kutikulás és levegőnyílással bíró felület közti párolgás különbségét mérésrel is bizonyíthatjuk a Garreau-féle készülékkel.

Illyenmű kísérletek eredménye a következő volt:

A növény neve	A párolgó levélfelület cm <sup>2</sup> -ben	A levegő- nyílások száma	24 óra alatt elpárolgott g
Maszlajos nadragulya ( <i>Atropa Belladonna</i> )	40	felül 10 alul 55	0·48 0·60
Közönséges orgona ( <i>Syringa vulgaris</i> )	20	felül 100 alul 150	0·30 0·60
Nagylevelű hárs ( <i>Tilia platyphyllos</i> )	20	felül 0 alul 60	0·20 0·49
Repkény borostyán ( <i>Hedera helix</i> )	20	felül 0 alul 90	0·00 0·04

Ez a készülék két egymásra köszörült kis üvegharangból áll, amelyeket egy levél alsó és felső felületére és egymásra illesztünk valami ragasztékkal. Az üvegharangokba ismert súlyú calciumchloridot helyezünk kis csészékben, a harangból kivezető manometer csöveket olajjal zárjuk el (l. 41. kép). A ké-

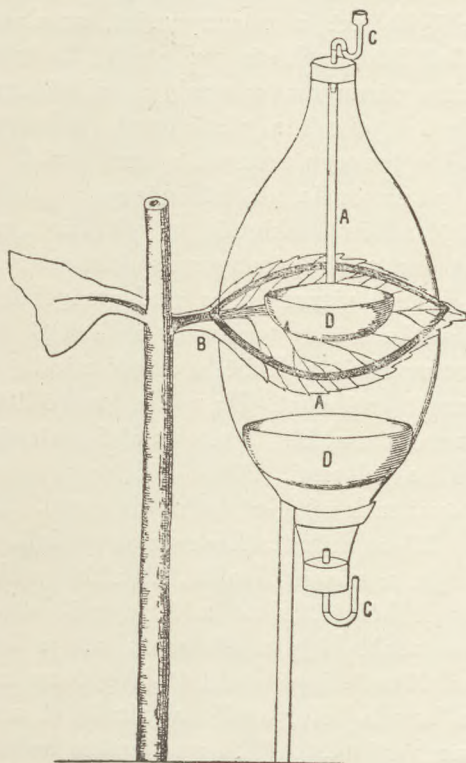


szülékkel nyert ezen adatok világosan bizonyítják, hogy a levegőnyílásokon át lényegesen nagyobb a párolgás, mint a kutikulán. A kutikula vagy a párolgást korlátozó szövet eltávolításával természetesen a párolgás ismét emelkedik, pl. a héjától megosztott burgonyagumón, alma gyümölcsön. Mindezekből tehát végérvényesen megállapíthatjuk, hogy a párolgásnak, ha nem is egyedüli, de főeszközei, főszervei a levegőnyílások.

A fiatal növényrészeknek a levegőnyílásokon kívül megmaradó felületét a kutikula fedi, amely kémiai szerkezeténél fogva az u. n. zsíros vegyületek közé tartozik és ezért úgyszólván egyáltalában nem ereszti magán keresztül a vízgőzöket, úgyhogy a növények párolgásának nagyságát túlnyomó részben a levegőnyílásokon történő vízgőz vándorlást szabályozó tényezők befolyásolják.

A párolgás nagysága tehát függ az illető növény anatómiai szerkezetétől, amely alatt

az I. kötetben már részletesen tárgyalt különböző, a párolgás csökkenését előidéző védőberendezéseket értjük, másodszorban pedig külső tényezők szabályozzák a párolgást. Ezek



41. kép.

A Garreau-féle készülék, amely a levél két felülete párolgásának meghatározására szolgál. A, A tölcészerű üvegharangok, amelyek nyílásának karimája viasz és szurok keverékével és azután zsírral van bekenve, hogy a levél lemezére jól ráragadjon. Mindegyik harang alatt a D csészékben calciumchlorid van, amelyeknek különböző súlybeli eltérése mutatja a két felület eltérő párolgási mértékét; a csőrendszerű nyílásokban C, C meggyömbült üvegcsövek a külső levegőtől olajjal való elzárásra szolgálnak.

Burgerstein után.



között a külső tényezők között egyike a legfontosabbaknak a levegő páratartalma és a hőmérséklet. Minél kisebb a levegő páratartalma és minél magasabb a hőmérséklete, annál nagyobb lesz a növények vízvesztése. Ezt közelebbről fizikai értelemben is megvizsgálhatjuk és ha már most  $E$ -vel jelöljük azt a párányomást, amelyet a növénynek a levegő adott hőmérséklete mellett fel kellene vennie és  $e$ -vel jelöljük azt a párányomást amely a valóságban megvan, akkor  $E - e = d$  ahol  $d$  jelenti a párányomás különbséget, amelynek nagyságával egyenesen arányos a transpiráció nagysága. Minthogy pedig a párányomás, de különösen a párányomás különbsége erősen függ a hőmérséklettől, vagyis minél nagyobb a hőmérséklet, annál nagyobb párányomás felel ennek meg, úgy világos, hogy a levegő viszonylagos nedvességéből nem lehet mindig helyes következtetést vonnunk a levegő víztartalmával kapcsolatos transpirációra. Ebből a célból mindig tudnunk kell az alább kifejezett értékeket. Ha pl. a levegő  $10^0$ -nál 50%-os relatív páratartalommal bír, úgy  $m^3$ -kint 5 g vízpárát tartalmaz és még 5 g-ot tudna felvenni.  $20^0$  C-nál azonban már 10 g-ot tartalmaz és ugyancsak 10 g-ot tudna felvenni.  $20^0$ -os hőmérsékletnél tehát a  $10^0$ -os hőmérsékletnek megfelelő páranedvesség kétszeresét fogja a növény leadni. Miután pedig nagyon gyakran a növények hőmérséklete a környező levegőréteg hőmérsékleténél is magasabb, úgy a növények még a levegő hőmérsékletének megfelelően teljesen telített levegőben is párologtatnak. Azonkívül a fény is befolyásolja a párologást, amint azt később meg fogjuk magyarázni, továbbá mechanikai behatások, mint pl. a szél, amely a növények megrázkódását idézi elő és megfosztja őket attól a nagyobb páratartalmú levegőrétegtől, amelyet a növények maguk körül képeznek, szintén siettetik a párologást.

A fénynek is megvan a hatása a növények párologására, amennyiben azt tapasztalták, hogy a fény erősödésével növekszik a párologás, a fény gyöngülésével pedig csökken; a különbség nem valami tetemes, amíg csak szétszórt fényről van szó, de már a közvetlen napfény jelentősebb mértékben emeli a párologást. Wiesner adatai szerint a tengeri  $100\text{ cm}^2$  felülete sötétben 97 mg, szétszórt fényben 114 mg és napfényben



785 mg vizet párologtatott el. A fénynek ezt a hatását a növénynek különböző részeire való hatásából magyarázzák, nevezetesen megállapították, hogy a fény közvetve a levegőnyílás zárósejtjeinek működésére is hat, amennyiben a fény hatására a zárósejtek duzzadtsága emelkedik és a nyílások kitágulnak. Ebben célszerű berendezést láthatunk arra, hogy a növények levegőnyílásai éjjel záródva az éjjeli párolgást csökkentsék, nappal pedig a párolgás emelkedésével a vízben oldott anyagok szállítását fokozzák. Az ilyen módon nagyobb mennyiségben meggyűlt nyers táplálóanyagok a fény hatására mindjárt fel is használódnak olyképen, hogy a chlorophyll a napfény közreműködésével ozmotikusan ható anyagokat képes létrehozni.

Különben is a chlorophyll elnyelte fény meleggé változik át, ami ismét emeli a párolgást. Bizonyos azonban, hogy a fény a zárósejtekre ingerként hat. Épen ezért a fény hatását a növények párolgására teljes pontossággal úgy fejezhetjük ki, hogy az erősebb fény csak a zöld növények párolgását mozditja elő.

A párologtatásra felhasznált vízben oldott anyagok mennyisége és minősége, valamint a növényt környező levegő gáznemű vegyületei is hatást gyakorolnak a levegőnyílások működésére. A nyílás kisebbedik és a párolgás csökken, ha a vízben az átlagnál több anyag van feloldva.

A talajnak vízbősége, mint a párolgást élénkítő tényező szintén fontos. Ez a jelenség összefügg a levegőnyílásoknak azzal a már ismert tulajdonságával, hogy minél kevesebb vízük van, azt annál nagyobb mértékben kötik meg. Ez a tulajdonság adja magyarázatát annak a különös jelenségnek, hogy ha a növény leveleinek egy részét eltávolítjuk, a megmaradó levelek párolgása emelkedik.

Végül még hatással van a növények párolgására a környező levegő és a talaj táplálékának minősége és mennyisége is. Nevezetesen a mesterséges vízi tenyésztésekben azt tapasztalták, hogy a nagyon tömény oldatok a párolgást megakasztják, sőt hogy már kevésbbé tömény (0.1—0.3%-os) oldatok is alább szállítják a párolgást. Ebben a tekintetben bizonyos anyagok sajátos módon módosítják a párolgást: a savak (borkősav, sóska-sav, salétromsav, szénsav) a párolgást csökkentik, ellenben a



lugok (alkáliák, mint a kálium-, nátrium-, ammoniumhydroxyd) gyorsítják, sőt a nitrogénben gazdagabb talajban is nagyobb a párolgás. A levegőnek nagyobb szénsavtartalma, továbbá chloroform- és étergőzők a levegőnyílásokat záródásra bírják és ezáltal korlátozzák a párolgást.

Mindezek a körülmények azonban nemcsak az év folyamán, de egy nap folyamán is folyton változnak és ilyen módon magára a párolgásra is folytonosan változó módon hatnak. De maga a növény is változtatja párolgási képességét, amennyiben előre haladó korával változnak párolgási felületei, módosulnak a párolgás szabályozására szolgáló berendezései, eltekintve más, a növény életében előforduló változásoktól, amelyek ugyancsak hatást gyakorolhatnak a párolgást elősegítő és korlátozó berendezésekre.

Kétségtelen azonban, hogy a növények szünet nélkül párologtatják el a vizet, ha még oly csekély mértékben is. Ebben a tekintetben még télen sem szünetelnek egészen, azonban ebben az időszakban párolgásuk nagyon jelentéktelen, hiszen kimutatták, hogy egy ciprus 6 meleg nyári nap alatt többet párologtat, mint egy egész téli hónap alatt. E változások folytán lehetetlen megszabni a párolgás mennyiségét napszakonként vagy egymásra következő napokon. Kétségtelen azonban, hogy a növények verőfényes, tiszta napokon többet párologtatnak el, mint borus napokon, viszont rendes körülmények között nappal többet, mint éjjel.

A növények által elpárologtatott víz mennyisége. A növények párolgásának nagy változatossága miatt nem tudjuk teljes pontossággal megadni a növény párolgásának mértékét, mégis megkísérelték az ismert körülmények figyelembe vételével az elpárologtatott víz mennyiségét meghatározni. Nagy általánosságban mondhatjuk, hogy verőfényes nyári napokon a levélfelület  $1\text{ cm}^2$ -e 24 óra alatt 1—10 g vizet párologtat el; e szerint a növény párologtató felületének nagyságától függ a páraalakban kiadott víz mennyisége, amely olykor jelentékeny lehet, mint például a fiatal gabonanövényeken, amelyek óránként csaknem ugyanolyan súlyú vizet párologtatnak el, mint amennyi saját testük súlya.



Már H a l e s is megállapította, hogy egy napraforgó növény, amelynek levélfelülete kb.  $9 \text{ dm}^2$  volt, verőfényes napon  $0.95 \text{ kg}$  vizet veszített; a levelek felének eltávolításával a párolgás is felére csökkent.

H a b e r l a n d t kiszámította, hogy mennyi vizet párologtat el néhány növény egész fejlődése alatt. Ez a mennyiség a kukoricánál 173 nap alatt  $14 \text{ kg}$ , a kendernél 140 nap alatt  $27 \text{ kg}$ , a napraforgónál 140 nap alatt  $66 \text{ kg}$ . Összesen tehát az elpárologtatott víz mennyisége kukoricával beültetett egy hektár területen  $227.8 \text{ mm}$ , a kenderrel beültetett területen  $123.7 \text{ mm}$ , a napraforgóval beültetett területen  $302.3 \text{ mm}$  magas vízréteget tesz szükségessé.

Ezekhez a számadatokhoz, amelyek a növények elpárologtatta víz nagy mennyiségéről tanuskodnak, még a következőket jegyezzük meg:

R i s l e r-nek Svájcban végzett vizsgálatai szerint nyáron egy hektáron naponta átlag elpárologtat

a fű         $31-73 \text{ kg}$  vizet, ami =  $3.1-7.3 \text{ mm}$  magas vízréteggel  
a búza      $27-28 \text{ kg}$  vizet, ami =  $2.7-2.8 \text{ mm}$  magas vízréteggel  
a burgonya  $7-18 \text{ kg}$  vizet, ami =  $0.7-1.8 \text{ mm}$  magas vízréteggel.

Ennek az óriási vízmennyiségnek a növényből a levegőnyílásokon át kell távoznia. Ezekből azonban nem tisztán a vízpára távozik el, hanem a vízpárát tartalmazó levegő is, ami természetesen még nagyobb tömegű. Ennek a megvilágítására szolgáljon a következő példa: A jól kifejlődött nyírfalevél  $100 \text{ cm}^2$ -e egy óra alatt elpárologtat  $94.7 \text{ mg}$  vízpárát. A nyírfalevelet körülvevő levegő  $50\%$  párát tartalmazott. A  $94.7 \text{ mg}$  vízgőz  $20^\circ \text{ C}$  hőmérsékleten  $11 \text{ liter}$  levegőt szűkséggel, hogy a levegő  $50\%$ -ra legyen telítve. Ha tehát a  $94.7 \text{ mg}$  vízpára a levegőnyílásokon át távozott el, akkor  $11 \text{ liter}$  levegő távozott el egy óra alatt a  $100 \text{ cm}^2$  terjedelmű nyírfalevelekből.

A következőkben még néhány szóval az erdő vízpárologtatásával fogunk foglalkozni.

Az a vízmennyiség, amelyet a fák szerves anyagaik készítésére, az asszimilációra felhasználnak, valamint a sejtjeikben



és sejtfaikban bizonyos idő alatt felvett és visszatartott vízmennyiség is felette csekély ahhoz a mennyiséghez képest, amelyet ugyanazon idő alatt elpárologtatnak. Kitűnik ez abból is, hogy a legtöbb lombfa a tenyészeti időszak alatt naponta átlag legalább is annyi vizet párologtat el, mint lombjának súlya.

Tudjuk, hogy az évenként termesztett lombmennyiség száraz anyaga az évenként termesztett összes szerves anyagnak mintegy felét teszi. A szerves anyagokban visszamaradó vízmennyiség az évi vízszükségletnek tehát oly csekély töredékét képezi, hogy kihagyásával annyival is kisebb hibát követnénk el, mert az elpárologtatott vízmennyiség nagyságáról még eddig biztos adatokkal úgy sem rendelkezünk.

Azok a kísérletek ugyanis, amelyeket az elpárologtatás mérésére akként végeztek, hogy az élő növények levágott leveleit vagy gallyait azonnal a levágás után megmérték és azután a világosság hatásának rövid ideig kitéve újra megmérték a súlyvesztéséből az elpárologtatott víz meghatározása végett, az élő növények által elpárologtatott víz kipuhatolására értékkel nem bírnak. Épúgy alkalmatlanok erre azok a kísérletek is, amelyek hasonló módon, de néhány óráig, vagy egy-két napig vízbe állított levágott ágakon hajtattak végre.

Ugyanis mindkét esetben rendellenes állapotban vannak a növények és az edényeseknél annyira gyorsítja a víz felhágását a vágássebnél megnyitott edényekben vagy tracheidákban a légnyomás, hogy az elpárologtatott vízmennyiség többszörösen felülhaladhatja azt, amelyet az élő növény általában a leveleknek nyújtani és elpárologtatni képes. Ezek a kísérletek ennél fogva oly nagy vízszükségletet mutattak ki, amelyet a csapadékok által táplált talaj nem nyújthat és amely az összes csapadékokot néha többszörösen felülmulta.

Igazi értékkel tehát csak rendes viszonyok között lévő, élő növényekkel végzett kísérletek bírnak; és ezeknek is csak akkor van gyakorlati becsük, ha azokból bizonyos területet elfoglaló összes növényzet, pl. egy hektár erdő évi vízszükséglete kiszámítható. Sajnos azonban, hogy az erdei fákkal eddig végzett ily irányú kísérletek a fentebb jelzett célnak nem felelnek meg.

Hartig élőfákon akként hajtott végre ez irányban kísér-



leteket, hogy részint egyes hajtásoknak az utolsó rügyeket tartó végére kémlőcsöveket, részint pedig leveles hajtásokra üveg-gömböket húzott fel és nyílásukat a bedugott ág körül pamuttal kellően elzárta, hogy vízgőz azokból ki ne szálljon.

A kémlőcsövek, illetőleg üveg-gömbök levegője vízpárával telítődött és rövid idő alatt azok oldalára víz csapódott le, minek folytán azok súlya emelkedett. A súlykülönbséget az elpárolgatatott víz minimumának vette. Hogy e kísérletek jelentékeny hibáktól nem mentesek, az könnyen belátható. E hibák egyike, amire Hartig is felhívja a figyelmet, abban áll, hogy az üvegcsőben vagy gömbben a levegő csakhamar vízgőzzel telítődik, ami az elpárolgásra lassító hatást gyakorol és így az eredmény a szabadon történő párolgásnál csekélyebb lesz.

Ily kísérletek által Hartig azt találta, hogy a lombfák levelei naponkint kb. saját súlyukkal egyenlő vízmennyiséget párologtatnak el, amely azonban a gyertyánál annak kétszeresére, sőt az égerfánál ötszörösére emelkedhetik. A még ki nem fakadt rügyek, valamint a téli zöld levelek télen át is párologtatnak el kevés vizet, amelynek mennyisége a rügyek kibomlásával és később a levelek kifejlődésével mindinkább fokozódik.

E szerint tehát, ha a növények által elfoglalt terület egységére vonatkoztatjuk az elpárolgatatott vizet, a lúcfenyők elpárolgatatási képessége a tenyészetű évadban úgy állana a bükk-fákéhoz, mint 100:84, tehát a bükké 16%-kal kisebb volna; míg akkor, ha egyenlő levélsúlyra vonatkoztatnók, úgy állna mint 100:461-hez, azaz a bükk a fenyőt 361%-kal mulná felül.

Könnyen belátható, hogy az utóbbi összehasonlításnak semmi gyakorlati értéke nincs és hogy az erdei fák párologtatási képességét az elfoglalt terület egységére kell vonatkoztatni.

A talaj nedvessége főleg az atmoszfériai csapadékokból ered. A területre hulló csapadékok mennyiségénél több vizet csak oly talaj szolgáltathat a növényzetnek, melyet a csapadékokon kívül fenékvíz, források vagy folyók táplálnak és természetesen a növényzet csak ezeken a talajokon párologtathat el több vizet, mint amennyi az általa elfoglalt talajterületre csapadék alakjában kerül. Ily talajt kívánó fafajunk azonban csak kevés van és az ily talajon álló erdők terü-



lete, az erdőségek által elfoglalt összterülethez képest elenyészően csekély; ennél fogva erdőségeink összességéről bátran elmondhatjuk, hogy azok több vizet el nem párologtatnak, mint a mennyi az általuk elfoglalt területre hó és eső alakjában lehull. A harmat mennyisége, mely éjjelenként a lombzatot és a be nem árnyalt talajt nedvesíti, még nem ismeretes, de ezt úgyis méltán kihagyhatjuk a számításból; nem csak azért, mert a többi csapadékhöz képest csekély, hanem azért is, mert a talaj ebből nagyon keveset kap s a növények levelei is elenyészően keveset szívhatnak be. Legnagyobb része ismét elpárolog a reggeli órákban, mielőtt a növényzet, különösen a fák felhasználhatná. De a hó és eső által a talajba jutó csapadéknak is igen tetemes része elpárolog egyenesen a növényzet és a talaj felületéről, más része később a talajból, jelentékeny része pedig leszivárog a talaj ágyába, hogy táplálja a források vizét. E b e r m e y e r - nek ez irányban Bajorországban végzett terjedelmes kísérletei szerint az erdők az évi csapadékoknak átlag 25—30 százalékát fogják fel, mely a törzsön lefolyó, mintegy 10% kivételével a levelekről és gallyakról elpárolog, mielőtt a földet érintette volna. Hogy a földbe jutó mintegy 80%-ból mennyi párolog el a talajból közvetlen, arról megbízható adatokkal nem bírunk; de E b e r m e y e r szerint annak a csapadéknak, mely a földre hull, a talaj alsó rétegeit mintegy 50—60%-a, későbbi észleletei szerint alig 10%-a éri el; az összes csapadéknak tehát legalább is 40—50%-a, de sok esetben csak 10—20%-a szívárog le a talaj mélyébe, anélkül, hogy a gyökereknek idejük lenne azt felszívni. Bizonyos azonban, hogy igen kevés csapadék mellett, nyáron át semmi sem juthat a talaj mélyébe, s a leszivárgó százalék a csapadék mennyiségének növekedésével emelkedik. Az is magától érthető, hogy a leszivárgó víz mennyiségére az erdő gyökérzete lényeges befolyást gyakorol, mert mennél gyorsabban használja fel az utóbbi a talaj vizét, annál kevesebb szívárog abból a talaj mélyébe.

Fentebbiekből kitűnik, hogy rendes viszonyok között a lehulló évi csapadéknak alig felét használhatják fel a növények, s így a területre vonatkoztatott párolgási mennyiség az évi csapadék magasságának felét annyiival is ritkábban haladja meg,



mert a téli csapadéknak aránylag sokkal kisebb része áll (tavasszal) a növények rendelkezésére, mint a tenyészetű évad alatt lehullóknak. Abból, hogy egyes fafajok, pl. a fehérfűz, csőregefűz és a legtöbb fűzfaj, valamint az égerfák stb. vizek partját kedvelik és ott legszebben nőnek — a nyárfák, kecskefűz stb. — vizes helyeken minden más fát kiszorítanak — míg mások csak üde talajt kívánnak (bükk, hárs, fűrtös és korai juhar stb.), — mások végre vízben szegény talajjal is beérik (kocsántalan tölgy, cserfa s még inkább a molyhos tölgy) méltán következtethetjük, hogy az egyes fafajok legjobb tenyészsükhöz különböző mennyiségű vizet kívánnak meg a talajban.

Azonban bizonyos, hogy nem csak egy növényfaj egyedei, hanem egy és ugyanazon növényegyed is a körülményekhez képest változtathatja az elpárologtatás mérvét. Úgy, hogy pl. a gyökereknek melegen tartása, nedvességgel bőven ellátása és az asszimilációra kedvező viszonyoknak, világosságnak, melegnek stb. célszerű összehatása által valamely fa bizonyos időben, pl. egy év alatt több vizet párologtat el a megfelelő évi csapadéknál is; ellenben ellenkező körülmények, pl. a víznek csak minimális adagai és a gyökereknek lehető hűvösen tartása által az elpárologtatást rendkívül csekély fokra lehet leszállítani, természetesen a növekvés és az asszimiláció rovására. Hartig sima fenyői (*Pinus strobus*) a gyűrűzés felett is époly vízzel telítettek voltak, mint a szomszédos, rendes állapotban lévők; annak dacára, hogy a meggyűrűzött rész fájának külső rétegei elvesztették vízvezető képességüket s erre már csak a belsőbb rétegek voltak képesek. A nevezett kutató üveggömböt húzott mind a meggyűrűzött fa, mind az ép fa egy-egy leveles ágára, és míg utóbbi erős párolgásnak adta jelét az üveggömb oldalán azonnal megjelenő csapadék által, addig a meggyűrűzöttön az üveggömb csapadéknak még nyomát sem mutatta. Ebből világos, hogy a növények, midőn szükséges, a vízzel gazdálkodni képesek.

Növénytermesztési tapasztalatok és tudományos kísérletek azt is bizonyítják, hogy a növények a vízfelvétel körülményeihez képest gyökereiket és leveleiket is többé-kevésbbé képesek a viszonyokhoz alkalmazni, hogy a víz felvétele és elpáro-



logtatása közt a szükséges összhangzás meglegyen. De ez alkalmazkodási képesség a fák faja és kora szerint változik. A fák fiatal korban könnyebben alkalmazkodnak a viszonyokhoz, pl. kinőtt mezgés égerfa erdő, mely lápos helyen áll, a láp lecsapolása után betegeskedik vagy éppen kiszárad; de ha ezen a lecsapolt lápon telepíttetik meg e fafaj, a fiatal csemeték gyökereik kiképzését a változott viszonyokhoz alkalmazzák. Az alkalmazkodásra közel rokonfajok is néha igen különböző mértékben képesek, pl. a mezgés éger, feketenyár, fűzek közül a fehérfűz stb. kevésbé, ellenben a hamvas éger, rezgőnyár, kecskefűz nagy mértékben képes alkalmazkodni. Legnagyobb fokban találjuk e képességet a nyírfánál és vörösberkenyénél, amelyek nedves helyeken szívesen tenyésznek, de száraz kőfalakon és épületek párkányain is előfordulnak.

Legújabbban Vater 1923-ban szintén foglalkozott ezzel a kérdéssel és kísérletei és számításai alapján hektáronként a következő vízmennyiséget számította ki mint olyat, amelyet az erdők évenként elpárologtatnak: bükk 290 mm, lúcfenyő 255 mm, erdeifenyő 103 mm. Burgerstein viszont 1925-ben a következő adatokra jutott: bükk 210 mm, lúcfenyő 170—180 mm, tölgy 120 mm és erdeifenyő 47 mm.

Nagyon érdekesek Büsgen-nek számításai, aki az évi csapadékmennyiséget veszi alapul. Szerinte a kontinentális középhegységekben évenként 600—700 mm csapadék esik májustól szeptemberig, tehát abban az időszakban, amikor a fő fafajok legnagyobb terméseredményüket érik el, anélkül, hogy kénytelenek lennének a talajvizet igénybe venni. Ha ez az esőmennyiség kisebb, ebben az esetben a fák a talajvizet veszik igénybe. A nyári időszakban hullott csapadék most már a következőképpen lesz felhasználva: lomberdőkben 30%, fenyőerdőkben pedig 20% a koronában marad, ahonnét azután anélkül, hogy a földre érne, elpárolog; legalább is 30% elpárolog magából a talajból és a talajtakaróból, úgyhogy a lehullott csapadék mennyiségének legfeljebb felét tudják a fák a tenyészetű időszak alatt felhasználni. Minthogy az évi 600—700 mm-es csapadéknak csaknem a fele esik májustól szeptemberig, az erdő csak annak a felét, tehát 150—160 mm csapadék mennyiséget tud fel-



használni, amely hektáronként kb. 1600—1700 m<sup>3</sup> víznek felel meg. Ebből és a levélmennyiségből ki lehet most már számítani, hogy 1 kg levél száraz anyagra 63—78 liter, lúcfenyőnél 12—14 liter víz felhasználás esik májustól szeptemberig. Ha az idevonatkozó számítások alapján feltételezzük, hogy a bükk-erdő teljes levélfelülete a terület háromszorosát teszi ki, úgy hektáronként a levélfelület 30.000 m<sup>2</sup>-nek felel meg és így a bükklevél m<sup>2</sup>-kint 50—58 liter vizet párologtat el.

Igen érdekesek újabban Iwanoff (1924) kísérletei is, aki kimutatta, hogy még —13—20°-nál is vízveszteség áll elő a lúcfenyőnél, úgyhogy pl. Leningrad környékén friss anyagra vonatkoztatva 0.4% volt a fenyőtűk vízvesztesége lúcfenyőnél, míg erdeifenyőnél már a 10%-ot is elérte a transpiráció. Igen érdekesek vizsgálatai már csak azért is, miután kimutatta, hogy még a télen teljesen lombtalan lombfák is elég jelentékeny transpirációs tevékenységet fejtenek ki a téli hideg hőmérsékletek mellett. A legkevesebb vizet veszíti a vörösfenyő, míg a lombfák általában 9-szer annyi vizet párologtatnak el.

A párolgás törvényszerűségei. A párolgás vizsgálatára irányuló kutatásokban újabban igyekeznek a levelek párolgását a szabad vizet párologtató felületek párolgásával összehasonlítani.

Idevonatkozólag különösen Stefans azután Sierp és Noack végeztek beható vizsgálatokat. A legjobban és legrövidebben Stefans által felállított egyenlettel fejezzük ki az evaporáció alkalmával a vízzel telt felületről eltávozó páramennyiséget, amely szerint

$$m = 4 \text{ kr} \log \frac{P - p_2}{P - p_1}$$

Ez az egyenlet csendes levegőre vonatkozik.  $m$  az időegység alatt elpárolgott vízmennyiség,  $P$  a levegőnyomás,  $p_1$  és  $p_2$  a gőznyomás közvetlen az evaporáló felület felett és bizonyos távolságban tőle; minthogy  $p_2$  értéke szél esetén lényegesen változik, ez a képlet erős levegőmozgás esetén nem alkalmazható. Sierp és Noack a  $\log \frac{P - p_2}{P - p_1}$  helyett behelyettesíthető

értéket ( $\alpha$ ) számítottak ki, amely a különböző szélereősségekre empirikusan megállapított evaporáció nagyságnál a szélkupola szétromboló fokának mértéke és azt találták, hogy

$$\log \frac{\alpha_2 x}{\alpha_1 x - \alpha x} = \text{konstant} = \beta$$



ahol  $\alpha_x$  meghatározott szélereősségre vonatkozik,  $\alpha_2$  pedig annak kétszeresére. Ha tehát kiszámítjuk  $m$ -t egy meghatározott szélereősségre, akkor könnyen meghatározhatjuk  $m$  értékét kétszer olyan erős szél esetében is.  $\beta$  természetesen csak meghatározott nagyságú és alakú evaporáló felületnél konstans, más felületnagyság esetében rajta empirikusan nyert görbék segítségével kiigazítások végzendők.

Ezt megelőzőleg azonban Dalton is foglalkozott a kérdéssel, akinek egyenlete viszont a következő:

$$V = \frac{A \cdot S (F - f)}{H}$$

Ebben a képletben a párolgás gyorsasága  $V$  függ a párologtató felülettől  $S$ , a barometernyomástól  $H$ , a gőznyomásfeszültségtől vízzel telített állapotban  $F$  és annak a levegőnek gőznyomásfeszültségétől  $f$ , amelyben a párolgás történik,  $A$  pedig állandó.

A kérdés megítéléséhez azonban tudni kell még a következőket: Ha valamilyen párologtató vízfelület, amelynek kerületét szabályos körnek tételezzük fel, viszonylag kicsi, akkor, amint Stefans képlete is mutatja, a párolgás nem a sugár második hatványával, hanem magával a sugárral lesz arányos. Ha már most két ilyen körkerülettel bíró vízfelületet hasonlítunk össze, akkor az időegység alatt, ha egyiknek felülete kétszer akkora, mint a másiké, a kétszer nagyobb terület nem fog kétszer nagyobb vízmennyiséget elpárologtatni, hanem kevesebbet, miután a kisebbiknél a területnek a rádiuszhoz való viszonya nagyobb, mint a nagyobbbanál, vagyis más szóval, miután a második nagyobb területnek nem felel meg egyuttal kétszer nagyobb rádiusz is, a Stefans-féle képlet szerint pedig a párolgás a rádiusszal arányos.

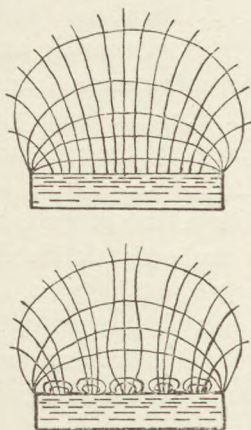
Egyébként minden párologtató felület felett egy vízgőz molekulákkal telt félgömb alakú tér keletkezik. Már most minél kisebb a párologtató felület, annál kevésbé fogják ebben a kupolában a vízgőz molekulák egymást mozgásukban és eltávolításukban gátolni. Ha pedig ilyen párologtató felületek közel jutnak egymáshoz, úgy közelségük következtében párologtató molekuláik megint zavarni fogják egymást. Ha ebben a vízgőzzel telt kupolában a vízpára vagy a vízgőznyomás süllyedését egymástól divergáló vonalakkal ábrázoljuk és az egymás mellett levő és egymást zavaró kis vízfelületeket ismét felhordjuk, akkor a következő képet kapjuk (l. 42. kép).



Ennélfogva tehát világos, hogy még hasonló terület mellett is a párolgás nagyságát a kerület nagysága erősen befolyásolja és azért ugyanolyan területnagyság mellett hosszúra megnyúlt levélalakok nagyobb kerületük következtében sokkal erősebben párologtatnak, mint a kerek formájúak, amelyek kisebb kerülettel bírnak és így ezekben a vízgőz molekulák gátló hatása jobban érvényesülhet.

Ezek a megfontolások és egyenletek nyugodt szélmentes levegőre vonatkoznak. Mihelyt szél van, amely a vízgőzökből képzett kupolákat szétrombolja, akkor ezeknek gátló hatása is eltűnik, úgyhogy, amint az előző képlet mutatja, az eredeti egyenletet is meg kellett változtatni. Szél esetén ugyanis a transpiráció nagysága már nem a kerülettől, hanem a felület nagyságától, vagyis köralakú felületnél a sugár négyzetétől függ. Emellett szélben még az a körülmény is szerepet játszik, hogy a levegőnyílások felett az ott megmaradó nagyobb vízgőzmennyiség következtében a levegőnyílások belsejének vízpára nyomása és a külső levegő vízpára nyomása közötti különbség fokozatosan kisebbedik. Az I. kötet 115. oldalán tárgyaltuk a levegőnyílásokból eltávozó vízmennyiség kifejezésére vonatkozó egyenletet és így tudjuk, hogy a külső levegő párányomása és a növény belsejében levő párányomás közötti különbség a párolgás szempontjából jelentékeny szerepet játszik. Világos tehát, hogyha a szél a levegőnyílások felett képződött vízpárában gazdagabb levegőrétegeket eltávolítja, úgy a belső és külső párányomás közötti különbség is nagyobbá válik és így szélben a transpiráció nagysága 2—5-ször nagyobb lesz, mint nyugodt levegőben.

Ha most már az evaporációra, illetőleg párolgásra mondotakat a levelek párolgására óhajtjuk alkalmazni, úgy természetesen először az egyes levegőnyílások párolgásával kell foglal-



42. kép.

Vízcupola képződése: A szabad vízfelület felett, B több nyílással megszakított, de zárt vízfelület felett. Walter után.



koznunk. Brown és Escombe a kis nyílásokból való vízpárolgásra a következő egyenletet állították fel:

$$v = \frac{k \cdot p \cdot r^2 \pi \cdot n}{1 + \frac{1}{8} r \pi}$$

ahol  $v$  az időegységben elpárolgott vízmennyiség,  $p$  a ható párányomáskülönbség,  $r$  a nyílás felületének rádiusza,  $n$  a nyílások száma, 1 pedig a nyílás mélysége. Ez az egyenlet természetesen szintén szélmentes levegőre vonatkozik és mihelyt szél van a helyzet megváltozik, miután a párolgás nem a rádiusszal, hanem a felülettel lesz arányos.

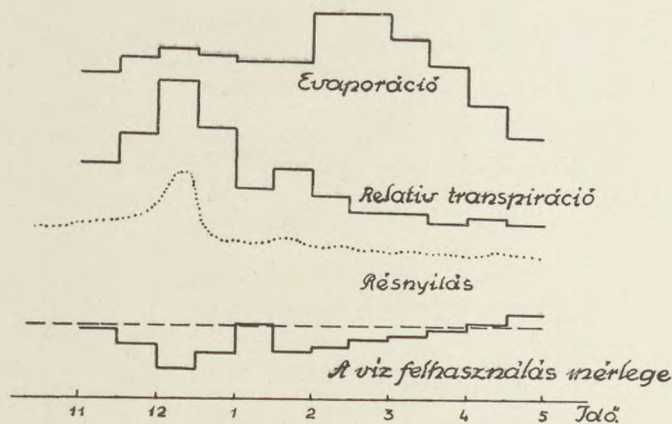
Általában az előbbiekből világos, hogy minél kisebb a levegőnyílás, viszonylag annál több vizet párologtat el, de a levegőnyílás méreteinek fokozottabb kisebbedésével az elpárologtatott víz abszolút mennyisége is kisebbedik. Ha most már ezek a levegőnyílások egymáshoz közelebb jutnak, vagyis, ha a levél sűrűn van borítva levegőnyílásokkal, úgy minél közelebb vannak a levegőnyílások egymáshoz, annál inkább érvényesülnek a szabad vízfelületek párolgásáról előbb kifejtett törvényszerűségek, úgyhogy ha a levél sűrűn van borítva levegőnyílásokkal, végeredményben úgy viselkedik, mintha szabad vízfelület volna.

Igen érdekes most már ha a 43. számú képen a most mondottakat összehasonlítjuk. A kép megértéséhez szükséges tudnunk, hogy relatív transpiráció alatt a transpiráció nagyságának az evaporáció nagyságához való viszonyát értjük, a vízfelhasználás mérlege alatt pedig a növények által felvett és elpárologtatott vízmennyiség viszonyát értjük. A kép Knight eredeti kísérletének eredményét mutatja, amelyet ő *Helianthus tuberosus*-on végzett.

Rendkívül érdekes, hogy a levegőnyílások nagyságának változása nem mindig gyakorol döntő befolyást a transpiráció menetére, hanem csak akkor, ha a külső tényezők behatására teljesen bezárulnak. Különben, amint a kísérletek mutatják, a főhatást elsősorban a növények víztartalma gyakorolja (l. 44. kép). A levegőnyílások zárására és nyitására, illetőleg ezek nagyságának változásaira a fény rendkívül erős hatást gyakorol. Erre vonatkozólag éppen a legújabb kísérletek rendkívül érdekes eredménnyel zárultak és különösen érdekesek azok a kísérletek,



amelyek az evaporáció párhuzamos mérésével foglalkoztak. Ezeknél a kísérleti feltételek megfelelő szabályozásával a száynyílásokat állandóan nyitva tartották, azonban a transpiráció teljesen független volt tőlük. Nem szabad ugyanis elfelejtenünk, hogy a levegőnyílások nemcsak a vízgazdálkodás szabályozására szolgálnak, hanem egyuttal az asszimiláció szolgálatában is állanak és ezért gyakorol rájuk olyan döntő hatást a fényértékek változása. Csak ha a növény száradni, illetőleg fonnyadni kezd, vagy sötét helyre kerül, amely esetekben



43. kép.

A párolgás mérésére *Helianthus tuberosus*-on végzett kísérletek eredményei. „Idő” órákban értendő. Knight után.

az asszimiláció szükségessége többé fenn nem áll, csak akkor lesz a párolgás menetére maga a levegőnyílás is szabályozó tényező. Ezen a téren mindenesetre még beható vizsgálatokra lesz szükség. Általában éjjel a levegőnyílások zárva vannak, nappal kinyílnak, úgy látszik tehát, hogy a fény mint ingeranyag szerepel és elsősorban a zárósejtek keményítő tartalmának cukorrá való átváltozásával szabályozza ezeknek ozmotikus játékát. Az újabb mérések szerint a levegőnyílások zárósejtjeinek ozmotikus értéke rendkívül nagy, 45—90 atmoszférát is elérhet. Ezen a téren tehát a kérdés tisztázására, mint már említettük, jelentős kutatásokra van még szükség.



A növények vízhiányát, illetőleg a vízgazdálkodás mérlegét %-okban is ki szokták fejezni a következő egyenlet szerint:

$$w_1 = \frac{w_2 - w_3}{w_2} \cdot 100$$

amely képletben  $w_1$  a vízhiány,  $w_2$  a vízzel való telítettségi állapot,  $w_3$  pedig a tényleges víztartalmat jelöli.

Miután a növények vízzel való gazdálkodása szempontjából a növények termőhelyei között rendkívül nagy különbségek mutatkoznak, úgy természetesen a száraz és nedves termőhe-



44. kép.

A párolgás mérésére *Eupatorium adenophorum*-on végzett kísérletek eredményei.  
„Idő” órákban értendő. Knight után.

lyen növe növények különböző berendezésekkel bírnak, amelyek az előbbieknél a túlságos vízvesztést meggátolják, az utóbbiaknál pedig a nedves termőhelyeken a vízleadást megkönnyítik. Ebből a szempontból megkülönböztetjük a száraz termőhelyek növényeit a *xerophytákat* és a nedves termőhelyek növényeit a *hygrophytákat* és ezek között állnak a mi mérsékelt égövünk növényei, amelyeket *mesophyta* névvel jelölünk.

A *xerophyta* növények elsősorban különböző anatómiai berendezésekkel védekeznek a túlságos párolgás ellen, így leveleik helyzetével és képzésével, a szőrözettel, a levegőnyílások beszüllésztésével és védelmével, ezek számának kisebbedésé-

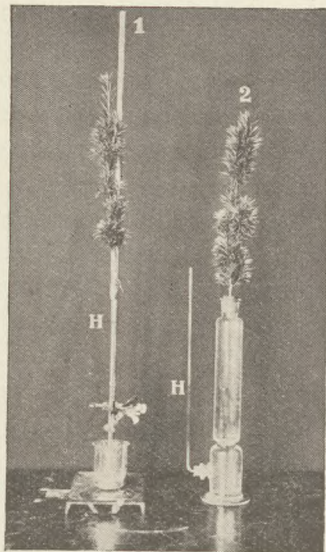


vel, másrészt gondoskodnak arról, hogy a tropusokban vagy a száraz termőhelyeken hirtelen lehulló, de gyorsan párolgó vizet megfelelő anatómiai berendezésekkel leköthessék. Ezek az ún. szukkulens növények, amelyeknek legtipikusabb képviselői a kaktuszok, a húsos Euphorbiák, ezeknél a törzs és a növény valóságos víztároló szerkezetté alakult át.

Egy egész külön csoportot képeznek és talán a xerophytákhoz állanak legközelebb az ún. halophyta növények, amelyek elsősorban a tengerpartokon nőnek, de amelyekhez a mi szikeseinknek számos növénye is tartozik. Ezeknek teste szintén szukkulens szövetekkel rendelkezik és azonkívül be vannak még rendezve arra, hogy termőhelyüknek megfelelően rendkívül magas só koncentrációjú tápanyagokat is elbírnak. Talán hangsúlyoznunk sem kell külön, hogy a hygrophyták ezekkel ellentétben olyan anatómiai berendezésekkel bírnak, pl. a levegőnyílások kiemelkedése, a kutikulának áteresztőbbé tétele, amelyek viszont a párolgást segítik elő.

A víznek cseppekben való kiválása a növényekből. Rendes körülmények között párolgás folytán távozik el a növényekből a felvett víz felesleges mennyisége. Azonban bizonyos külső körülmények között — nevezetesen páratelt levegőben — a növény nem tudja elpárologtatni azt a vízmennyiséget, amelyet a gyökerek a meleg és vízzel bővelkedő talajból felvesznek; ilyen esetekben a víz a növényekből cseppfolyós alakban távozik el, amit guttáció-nak (csepegésnek) is neveznek.

Az így módon eltávozó vízmennyiség is jelentékeny, de nem fedi teljesen a párolgást, mert hiszen a cseppekkel mindig ás-



45. kép.

Két egyszerű készülék a tiszta leveleink vízpárologtató képességének bemutatására. Az 1. elrendezésnél az elpárologtatott víz helyébe higany nyomul, amely a kísérletnél *H* magasságig emelkedett. — A 2. elrendezésnél az elpárologtatott vízmennyiséget a csőben *H*-ig alászálló vizoszlop jelöli. E.



ványi és szerves anyagok is kiválnak, amit némely növény leveleinek felületén megmaradó mésztanúsít (pl. *fürtös kőröntő*, *Plumbago*). Bármily jelentékeny is a guttáció, ezt a jelenséget nem szabad minden esetben azonosítani az utazók által sokszor emlegetett esőfák vízcseppjeivel. A csepegő fák jelensége különben nálunk sem ritka. Nyár derekán gyakran látni csepegő fűzfát, amelyről elég sűrűn hullanak le a cseppek; ezeket különben a fán élő kabócák lárvái választják ki.

A fák csepegését azonban előidézhetik patológiai okok is. A patológiai jelenségek sorába tartozik az ú. n. *mézharmat* is, amelyet Büsgen szerint csak levéltetvek hoznak létre. Vele ellentétben Bonnier megengedi ugyan, hogy a mézharmatot leggyakrabban levéltetvek és pajzstetvek okozzák, de szerinte a mézharmatnak, azaz cukortartalmú víznek cseppekben való kiválása más okokból is lehetséges, amidőn különösen száraz és meleg nappalokkal váltakozó hűvös éjjelek után a folyadék apró kis cseppekben jelenik meg a levegőnyílásokon. Éppen ezért minden esetben külön megvizsgálandó a jelenség oka, különösen amidőn olyan bőségesen jelentkeznek, mint az utazóktól esőfáknak nevezett braziliai *Caesalpinia pluviosa* és a forró földövi *Pithecolobium saman* Benth nevű fán.

Bizonyos esetekben azonban a víznek cseppekben való kiválása a növénynek közvetlenül is hasznára válik. Nevezetesen némely növény, különösen a tökfélék a vizet cseppekben nem a test felületén választják ki, hanem a szárrészek és a levélnyelvek üregeiben, ahonnan azután, ha a talaj vízben szűkölködik, a szövetek sejtjei ismét magukba vehetik és a párolgás pótlására felhasználhatják.

A párolgás haszna. A párolgás által, amint láttuk, tekintélyes mennyiségű a gyökerekből felvett víz áramlik a növény testén át. Minthogy azonban a felvett víz bizonyos oldott sókat tartalmazott, ennél fogva a víz elpárolgása után e sóknak a növény testében kellett maradniok, amelynek — az elpárologtatott víz mennyiségéből és a hamualkotórészek mennyiségéből ítélve — magasabb részeiben gyűltek meg, hogy azután a növények táplálkozása folyamán felhasználhatók legyenek.

A sóknak a növény testében való szállítása a párolgásnak



köszönhető, de egyúttal az magyarázza meg azt a jelenséget, hogy a párolgás a legtöbb növényre nézve életszükséglet. Emellett a párolgásnak a növényt illetőleg van még más haszna is, amelyek közül csak a növényi test hőmérsékletének szabályozását említjük meg. Ismeretes, hogy a növény testének hőmérséklete nagyjában megegyezik a környező levegő hőmérsékletével. Ez azonban csak úgy lehetséges, ha a fénysugarak elnyelése okozta hőmérséklet emelkedést a növény testében lehülés követi. Ámde a párolgás mindig melegfogyasztással jár, tehát a növény testét le is hűti; ez különben közismert jelenség, hiszen a nyári hőségben vízöntözéssel, permetezéssel hűsítjük a levegőt. De erre tanít a nyáron át agyagkorsóban őrzött víz hőmérséklete is.

Ebből már most arra következtethetünk, hogy a párolgás a növényi test hőmérsékletének szabályozója. Bizonyítja ezt az is, hogy a kevésbé párolgó növények, mint aminők a húsos növények, a nyári nagy melegben a levegő 28—30° C-nyi hőmérsékleténél 10—20 fokkal magasabb hőmérsékletűek; ez a hőmérséklet a legtöbb esetben a növény életére már kedvezőtlenül hat és csak azokra a növényekre nem káros, amelyek ehhez a hőmérséklethez alkalmazkodtak.

#### A víz szállítása.

A víz vándorlása a növényben az ozmotikus nyomás segítségével is könnyen megmagyarázható kisebb terjedelmű kevés sejtből álló növényeken. Ezzel a kérdéssel már a víz felvételénél részletesen foglalkoztunk és ott az egyszerűbb növényekben végbemenő vízszállítás részleteit is megmagyaráztuk. Ezek alapján még a magasabb fejlettségű növényekben lefolyó vízszállítás mikéntjét is megmagyarázhatjuk, ha csak az élő parenchyma sejteket, illetőleg az azokban lefolyó ozmotikus folyamatokat vesszük figyelembe. Nem oly egyszerű azonban a helyzet, ha meggondoljuk, hogy, amint azt az I. kötetben, az anatómiai részben részletesen ismertettük, a víz szállítása tulajdonképpen az erre a célra alakult különleges vízszállító elemekben, vagy edényekben, illetőleg tracheidákban megyen végbe. Az első nehézség már akkor jelentkezik, ha a gyökér primár



kérgében a gyökér szörszálaktól a gyökér központi hengerében elhelyezett edényhez érkező víz útját vesszük vizsgálat alá. Elméletileg ugyanis azt hihetnők, hogy az ozmotikus nyomás kívülről befelé számítva sejtről sejtre emelkedni fog, hogy ilyen módon a vízáramlás útját biztosítsa. Ez fenn is áll egészen az endodermiszig, amelynek sejtjei sokkal kisebb ozmotikus nyomással rendelkeznek és így szívóerejük is jelentékenyen megkisebbedik.

Nem is lehet itt mást feltételezni, mint azt, hogy az illető vizsgálatakor valami preparatív beavatkozás változtatta meg az endodermisz sejtek ozmotikus hatóértékét, vagy *Ursprung*-gal együtt fel kell tételeznünk, hogy az endodermisz sejteknél poláris ozmotikus hatóértékekkel van dolgunk, vagyis az endodermisz sejteknek a gyökér kerülete felé irányított részén az ozmotikus nyomás a szomszédos parenchyma sejtek falára nagyobb lesz, úgyhogy ebben az irányban ők mint szívó szervek működnek. Ellenben az endodermisz sejteknek az edények felé fordított részén, ahol ezek az edényekkel érintkeznek, ozmotikus nyomásuk az ellenkező oldalhoz viszonyítva jelentékenyen kisebb lesz, úgyhogy ezek az edényekbe vizet préselnek és ebben az irányban, mint nyomó szivattyúk működnek. Ez természetesen csak feltevés és elmélet és ez is mutatja a probléma megoldásának nehézségét és mihelyt egyszerűbb felépítésű kisebb növények helyett nagy dimenziójú fás növények vízszállítását vesszük vizsgálat alá, úgy a probléma megoldásának nehézségei még nagyobbak lesznek, amint azt a későbbiekben látni fogjuk.

Hogy a magasabbrendű növényekben csakugyan az edények végzik a vízszállítás funkcióját, arról több módon győződhetünk meg. Ha pl. megismételjük *Hales* (1748.) és *Du Hamel* (1765.) által végzett kísérletet és valamely fának törzsét, amint a gyakorlat emberei mondani szokták, meggyűrűzzük, azaz a köznyelvben általánosan kéregnek nevezett részt egy övben eltávolítjuk, akkor a növény gyökérzete a fa koronájával csupán csak a törzs farésze által függ össze és a fa koronájának lombozata még sem mutatja azt, hogy most kevesebb víz állana rendelkezésére és nem hervad, hanem továbbra is ép úgy él,



mint a gyűrűzés előtt. Ebből önként következik, hogy bizonyára azért, mert a fatörzs farésze elegendő vízzel látja el a növényt.

Azt azonban, hogy a növény vízszállító rendszere csakugyan a fás rész, még más módon is bebizonyíthatjuk. Ha ugyanis valamely növénynek kergét meghagyjuk és egy darabon az összes fát a rajta belül eső béllal együtt alkalmas módon kivágjuk, akkor a fa koronája hirtelen el fog hervadni, mintha csak levágtuk volna gyökeréről. Ebből a jelenségből most már bátran azt is következtethetnők, hogy a fával együtt a belet alkotó sejtek is részt vesznek a víz szállításában. A bél majdnem kizárólag parenchyma-szövetet alkotó sejtjei azonban ebből a szempontból nem vehetők tekintetbe, mert a fás növényekben aránylag rövid ideig maradnak életben és addig is inkább a táplálékanyagok raktározására szolgálnak, azután elhalva csakis levegővel vannak telve, de fiatalon sem szolgálhatnak a víz szállítására, mert alkotásuknál fogva csakis ozmotikus úton szállíthatnák a vizet; már pedig, amint előbb kimutattuk, ez legkevésbé sem alkalmas a fejlettebb növények vízzel való ellátására. Miután a gyűrűzött fa kellő mennyiségű vízzel van ellátva, sokáig életben is marad, sőt néha évekig is él, végül azonban a gyűrűzés helyén — különösen, ha a gyűrű szélesebb — a farész megsérülése következtében, vagy más okokból szállító képessége alábbhagy, sőt lassankint meg is szűnik, aminek következtében a fa lassankint hervadni kezd és végre elhal. A mi erdeinkben a favágók gyakran gyűrűzik meg a fát, hogy a levágásra előkészítsék. Ha azonban módját ejtjük, hogy a fa a gyűrűzés felett gyökeret fejlesszen, akkor továbbra is életben marad, mert bőven el lesz látva táplálékkal.

A farész vízszállításáról különben közvetlenül is meggyőződhetünk; nevezetesen ha valamely fás növény víz alatt elmetsett ágdarabját bizonyos igen hígított festék vizes oldatában tenyésztjük, akkor a festékoldat be fog jutni a vízzel együtt a fás részbe és azon át fel a növény testébe. Igen alkalmas ilyen célra az indigó-, kármin- vagy eozin-oldat. Ha most bizonyos idő múlva az illető növény fás részét megvizsgáljuk, világosan meg fogjuk találni a festék nyomait a farészben és pedig a fa edényeiben.



A farészek vízszállítóképességét azonban bizonyíthatjuk azzal a fa impregnálásában már az iparban is felhasznált tulajdonságaival, hogy a farészen víz, sőt festékoldatok is átszivárognak, vagy azzal, hogy ezeket az oldatokat bizonyos nyomással a fába és a fán keresztül tudjuk szorítani. A fának hosszában való szállítóképességéről könnyen meggyőződhetünk, ha Molisch módjára a spanyolnád 1—3 m hosszú darabján át a dohányfüstjét átfűjjük. A fás rész azonban nemcsak hosszában szállítja a vizet, hanem oldal felé is, amiről meggyőzhet bennünket azon Hales által végzett kísérlet, amelyben a fatörzsből két ellenkező oldalon, de egymás alá eső helyen kis hasábot vágunk ki és megakasztjuk a víz egyenes haladását. A fa ennek ellenére változatlanul tovább tenyészik, mert az egyenes útjában megakasztott víz oldalfelé kitér és azután hosszirányban folytatja útját a korona felé. Mindezen kísérletek kellőképpen bizonyítják azt, hogy a víz a fás növényekben a farészben halad.

Közelebbről vizsgálva azonban a jelenségeket, azt találjuk, hogy a farésznek megfelelő szállítórendszert nemcsak a fás növényekben, hanem a száras növények valamennyiében, tehát a haraszt-féle növények (*Pteridophyta*) és a virágos (*Phanerogamae*, *Embryophyta siphonogama*) növények testében is megtaláljuk, sőt még a mohok szövetileg kevésbé tagolt szárában is megtaláljuk a vízszállítás külön elemeit, hosszúra nyúlt és jól elkülönült részek alakjában, amelyeket valamely áttetsző szárú növényen, pl. az üvegszárú nenyúljozzámon (*Impatiens noli tangere*) már szabad szemmel is jól elkülönítve láthatunk.

Az edénynyalábok belső szerkezetét, azoknak elhelyezkedését itt nem fogjuk részletesen tárgyalni, hiszen idevonatkozólag az anatómiai részben mindent részletesen megmagyaráztunk. A következőkben a kísérletek és vizsgálatok alapján fel fogjuk tételezni, hogy a víznek a magasabbrendű növények testében való vezetését úgyszólván kizárólag a növények fás részei végzik. Azokban a növényekben, amelyeknek nyalábja nem gyarapodik és csak rövidebb ideig tartó működésre rendezkedik be, a nyaláb farésze teljes egészében végzi a vízszállítás munkáját. Ellenben azokban a növényekben, amelyeknek nyalábja az év-



ről-évre való gyarapodás folytán tekintélyes vastagságot ér el, amint azt hatalmasra nőtt fáinkban tapasztaljuk, a fanyalábnak csak egy része végzi a víz szállítását és pedig fáinkban csak a fatestnek még élő legfiatalabb része, bár a belső idősebb részek sincsenek a vízszállításból minden esetben teljesen kizárva. A fatestnek ugyanis fiatalabb része a szijács (fa fehérje, fa héja) élő sejtekből áll, a belső idősebb rész a geszt (fa keménye, fa magva) már elhalt és nem működő sejtekből áll. Arról, hogy a vizet csak a külső rétegek szállítják, leginkább meggyőzőhet az a jelenség, hogy az esetben, ha a fának ezeket a külső rétegeit gyűrűzéssel eltávolítjuk, a vízszállítás megszűnik és a növény elhervad; különösen így van ez az olyan fákban, amelyeknek szijácsa csakhamar átalakul gesztté. Erre vonatkozólag W i e l e r vizsgálatai kiderítették, hogy az ákác 1.—2., a kocsányos tölgy 2., a veresberkenye 2., a szürkedió 2.—3., a sajmeggy 2.—3., a magas körös 3.—4., a korai juhar 5., az alma 5., a bükk 5.—6. évgyűrűje legalkalmasabb vízszállításra. A geszt ellenben, mint a fatörzs szilárdító része bír fontossággal.

A fa azonban nemcsak a gyökértől a levelek felé, de vissza is könnyen vezeti a vizet. Az oldal felé való vezetést is bebizonyítottuk már, különben kísérletek igazolják, hogy a hosszanti irányban a fa vízszállítóképessége nagyobb, mint a sugár, vagy az érintő irányában. Az pedig nem szorul bizonyításra, hogy a tavaszi fa nagyobb mértékben szállítja a vizet, mint az őszi fa, mert hiszen ez már a két réteg szerkezetéből is önként következik.

A vízszállítás gyorsaságát különböző kísérletekkel mérhetjük. Így S a c h s lithiumnitráttal spektroszkópi úton mutatta ki a vízszállítás gyorsaságát. Mégpedig olyan módon határozta meg, hogy a virágcserep földjét 1—3%-os lithiumnitrátoldattal a telítésig megöntözte és azután bizonyos idő múlva a növényt spektroszkópi vizsgálatnak vetette alá és az eredmény az volt, hogy a folyadék egy óra alatt, középértéket véve, a dohányban 118 cm, a tökbén 63 cm-nyi utat tett meg. S t r a s b u r g e r -nek eozinfestékkel való kísérletei szerint gyors vízszállítású növényekben a normális párolgásnál a szállítás gyorsasága 6 m volt (*Cucurbita*, *Bryonia*) egy órában.



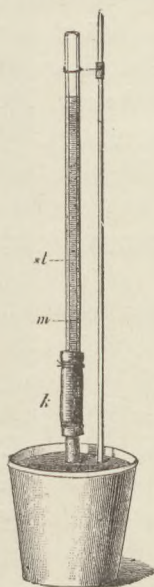
Mielőtt most már a magasabb, nagyobb dimenziókat elért növényekben lefolyó vízszállítás mechanizmusával, illetőleg annak mikéntjével foglalkoznánk, mindenekelőtt ismertetni fogjuk azokat az okokat, amelyek a transpiráción kívül a víz szállításában szerepet játszhatnak. Ezért elsősorban foglalkozunk a gyökérnyomással.

A gyökérnyomás. A gyökérnyomás egyike azoknak a jelenségeknek, amelyet a növényekkel gyakorlatilag foglalkozók a kertészek és a szőlőművelők is jól ismernek, mint a könnyezés jelenségét a fákon, különösen pedig a szőlőn. Ugyanis, ha tavasszal, közvetlenül a lombfakadás előtt a szőlő vesszőit elmetsszük, akkor a tőkén maradó metszési felületen csakhamar folyadék fog megjelenni, amely lassankint szivárogha napokig megmarad. Ezt nevezi a nép könnyezésnek. A folyadék különösen az edényekből szivárog ki. Mihelyt azonban a szőlő lombját kifejlesztette, hiába metsszük meg a tőkét, a könnyezés nem fog többé mutatkozni vagy legfeljebb nagyon csekély mértékben, nedves, hűvös időjárásakor különösen éjjel, amikor a párolgás igen csekély. Sok más növényen is tapasztalták a könnyezést, épen úgy fás növényeken pl. az égeren, gyertyánon, eperfán, mint lágyszárú növényeken is, pl. a napraforgón, ebszőlőn, árvaszaláncn, kukoricán, téli violán (*Cheirantus cheiri*) és a georginán (*Dahlia variabilis*). Ezeken kívül még sok más növényen állapították meg a könnyezés jelenségét, viszont több kutató némely növénynek könnyező képességét tagadja, ami különben onnan is eredhet, hogy a legtöbb növény a párolgás megindulával nem könnyezik többé, sőt vannak növények, amelyek könnyezése nem mutatkozik az év bizonyos szakában: nevezetesen a szőlő januárban, a nyír december és januárban, a borostyán-szőlő novembertől áprilisig nem könnyezik. Különben a könnyezés megjelenésére nemcsak az évszak, nemcsak a párolgás mértéke van hatással, de nagy befolyással van rá a hőmérséklet, továbbá a fény és a nehézségi erő is. Vannak növények, amelyek még  $0^{\circ}$  hőmérsékleten is könnyeznek, mások már csak valamivel magasabb hőmérsékleten, nevezetesen a *Ricinus communis*  $+1$ — $+3^{\circ}$ , a *Cucurbita pepo*  $+7$ — $+9^{\circ}$  hőmérsékleten. Sőt a könnye-



zés mértékében még nappalok szerint való ingadozást is tapasztaltak.

A könnyezéskor a metszés felületén megjelenő folyadék okvetlenül bizonyos erővel nyomódik fel a gyökérből a száron át a metszés felületre, amiről meggyőződhetünk, ha a lemetszett növény csonkjára egy üvegcsövet erősítünk (l. 46. kép). Ezt az

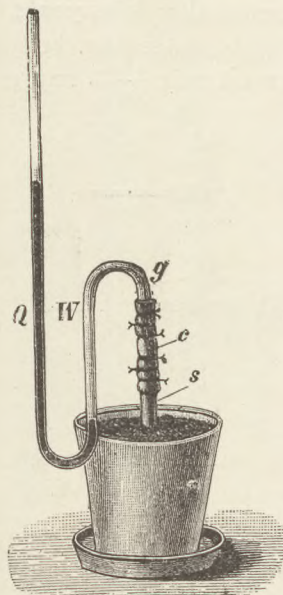


46. kép.

A gyökérnyomás bizonyítása. A virágcserepben tenyésztett növény szárának levágása után megmaradó részre *k* kaucsukcső segítségével *st* üvegcső van erősítve; *m* a meggyült folyadék magasságát jelzi. Detmer után.

erőt meg is mérhetjük, ha a metszés felületére higanymanometert alkalmazunk (l. 47. kép). Ilyenmű mérésekből kiderült, hogy a legtöbb növényen, még fákön is, a nyomás sok cm-nyi vízoszlopot tud felemelni, de a nyomás csak kivételesen ér el 1 vagy legfeljebb 2 atmoszférát.

Az erre vonatkozó adatokat W i e l e r állította össze: ezek közül a következőket soroljuk fel. A könnyezés nyomása által emelt higany-



47. kép.

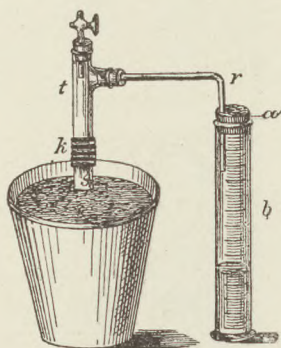
A gyökérnyomás bizonyítása. A virágcserepben tenyésztett georgína (*Dahlia*) *s* csonka szárára *c* kaucsukcsővel van ráerősítve a *g* üvegcső. A szár felületén kiszivárgó *W* víz nyomása a *Q* higany nyomását is legyőzi. Strasburger után.

oszlop magassága a *Morus albá*-n 120 mm, a magas körisen 210 mm, a *Ricinus communis*-on 334 mm, a közönséges csalánon 460 mm, a szőlőn már H a l e s észlelete szerint is 1070 mm, a fehér nyíren W i e l e r szerint 1390 mm volt, ami a *Ricinus*-on  $\frac{1}{2}$ , a nyírfán majdnem 2 atmoszférának felel meg. A manométerrel mért nyomás csak megközelítőleg fejezi ki a növényben működő erő nagyságát. Különbön ugyanazon a nö-



vényen is a nyomás nemcsak a külső tényezők pl. a hőmérséklet hatása alatt változik, de változik még a szerint is, hogy a manométert a növényi test mily magasságában alkalmazzuk. Ugyanis a nyomás egy törzsben annál kisebb, minél magasabbra helyezzük a manométert, jóllehet a nyomás a magasság növekedésével nem csökken arányosan.

A növény csonkítása után a vízzel telített növényből rögtön megindul a könnyezés, más esetben csak bizonyos idő múlva, vagy csak lassan, hogy azután teljes erővel törjön ki, de rendszerint már 1—2 nap múlva megszűnik a gyökércsonkokon. Némely növényen 4—7 napig tart, sőt



48. kép.

A gyökérnyomás nedvének mérésére szolgáló készülék: *s* a szár, amelyre *k*-nál üvegcső van ráerősítve, ebből nyúlik ki az *r* cső, amely a *b* mérőhengerbe *a* parafadugóval van beleerősítve. Pfeffer után.

a fákon egy hónapig is eltarthat; Humboldt szerint az Agave csonkított virágzati kocsánya öt hónapig könnyezett.

A könnyezés megszűnését az okozza, hogy végül a gyökérzetben beteges állapot következik be és hogy a metszés felülete alatt a könnyezés vizét szállító edények bedugulnak. Ez utóbbinak következménye, hogy az esetben, ha a metszés felületét megnyitjuk, a könnyezés újonnan megindul.

Bármiként folyik is le a könnyezés, a növényekből ilyenkor tekintélyes mennyiségű folyadék jut ki, amiről már a csonkra alkalmazott egyenes csőben meggyülemelő folyadék is felvilágosítást nyújt, de amelyet közvetlenül is megmérhetünk, ha a higany manométercső helyett egy szabad végével lefelé hajtott csövet alkalmazunk, amely alá a kikönnyezett folyadék felfogására egy mérőhengerűveget helyezünk. Ebben nemcsak a könnyezés mennyiségét határozhatjuk meg, de egyúttal a könnyezés időszakosságáról is meggyőződhetünk (l. 48. kép).

Még inkább meggyőződhetünk erről az automatikus szerkezetű Baranetzky-féle folyadékgyűjtővel, amely egy elektromos óramű által szabályozható, bizonyos időközökben a tengelye körül forgó tartóból áll,



ebben vannak szabályos távolságokban elhelyezve a folyadék meggyűjtésére szolgáló kis mérő kémlöcsövecskék. Ez által az adott időben meggyűlő kisebb mennyiségeket is pontosan lemérhetjük.

Wieler adatai szerint egy megfűrt 12 éves nyírfa 7 nap alatt 36 liter, tehát naponként kb. 5 l, sőt Clark szerint a nyírfajok egy nap alatt 6·8 kg mennyiségű folyadékot könnyeztek. Hansteen szerint a szőlő napi könnyezése 10—950 cm<sup>3</sup>, sőt 1 l is, a pálmáké 10—15, egészen 50 literig. Humboldt szerint a csonkított Agave kocsányából naponként 7·5 liter és a 4—5 hónapig tartó könnyezés alatt 995 l folyadék is kifolyik, amelyből tudvalevőleg erjesztés útján a „pulque” nevű szeszes ital készül.

A könnyezés folyadéka sohasem tiszta víz, hanem tartalmazza a talajból kioldott ásványi táplálóanyagokat és ezenkívül a növényben meglevő szerves vegyületek tekintélyes mennyiségét, mint aminők az oldott fehérjenemű anyagok, asparagin, szerves savak, de különösen a szénhidrátok. Erről könnyű meggyőződést szerezni, ha a könnyezett folyadék vizét elpárologtatjuk. Jól megfigyelhetjük ezt a szőlő könnyezésekor, amikor is a könnyező folyadék elpárolgása után a szőlő csonkján vagy vesszőjén fehér üledék marad meg, amelyet azután a víz ismét felold. Különösen a cukortartalom szokott tekintélyes lenni, úgyhogy a mi fáink könnyezett folyadéka is édeskés. Némely növényé oly sok cukrot tartalmaz, hogy azt cukornyerés céljából fel is használják, pl. az északamerikai cukorjuhar, *Acer saccharinum*, és a szakállas juhar, *Acer barbatum*, amelyeknek kikönnyezett nedve 0·5% cukrot tartalmaz, úgyhogy egy fa 2—3 kg cukrot ad; ezt a cukrot Észak-Amerikában kisebb mértékben iparilag is értékesítik. A „pulque” módjára szeszes italok készítésére használják több növény kikönnyezett nedvét. Így készül a bibircses nyírből (*Betula verrucosa*) a nyírfabor Oroszországban és a *Mauritia* fajokból, pl. a *M. vinifera*-ból Amerikában a pálmabor.

A könnyezéskor kijutott folyadék mennyiségéről még világosabb képet nyerünk, ha a növény gyökérzetét is figyelemre méltatjuk:



A növény neve	Gyökérzet térfogata cm <sup>3</sup>	Napok száma	Vízmennyiség cm <sup>3</sup>
Árvacsalán . . .	1450	2½	11.260
Fekete ebszőlő . .	1900	3	4.275

E példákból világosan kitűnik, hogy a könnyezett folyadék mennyisége a gyökérzet, de az egész növény testének tömegét is meghaladja.

A könnyezés jelenségének időszakosságát különböző okok idézhetik elő. Mindenesetre a hőmérséklet ingadozása itt is közre fog játszani, amint hogy a könnyezés jelensége maga is már bizonyos hőmérséklethez van kötve. A könnyezés létrejöttének egyik főfeltétele, hogy a növénynek bőségesen kell vízzel rendelkeznie. Sok esetben a könnyezés a növény megsebzése után rögtön jelentkezik, ekkor a könnyező folyadék kétségkívül az edényekben már megvolt. Más esetben csak jóval a megsebzés után jelenik meg, jelölve annak, hogy a megsebesülés okozta a könnyezést. Molisch bizonyossága szerint ez a könnyezés csak helyi jelentőségű.

A könnyezéskor mutatkozó most említett nyomás nagyságából és a folyadék nagy mennyiségéből következtethetünk arra a nagy erőre, amellyel a növény a folyadékot a felszínre juttatja. A régiek felfogása szerint ezt az erőt a gyökér működése fejti ki és azért gyökérnyomásnak is nevezték. Újabb kutatások azonban ezt megcáfolták, mert kiderült, hogy a könnyezés jelenségét gyökerétől megfosztott növényrészletek is mutatják. Nevezetesen, ha az erdeifenyő, a kocsányos tölgy, vagy a meggy leveles ágát a metszés felületéig vízbe mártjuk, akkor ez bizonyos idő múlva könnyezni fog. Azonban a levelek működésére sincsen szükség, mert a levelektől megfosztott száruk is könnyeznek, ha a pararétegek eltávolításával a víz felvételéről és a szárdarab alsó metszésfelületének elzárásával a víz lefolyásának megakadályozásáról gondoskodunk.

A könnyezésnél közreműködő sejtek tehát a szárban is megvannak, sőt ilyenek a levelekben is előfordulhatnak. Min-



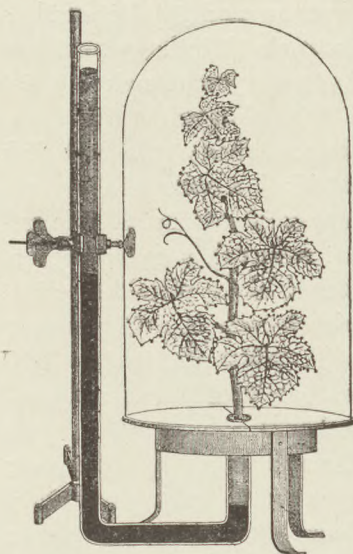
den esetben a gyökér, minthogy a víz felvételére a legalkalmasabb, a legerélyesebb könnyezést fogja létrehozni, de a könnyezést magát, amint említettük, nemcsak a gyökér tudja létesíteni. Épen ebből az okból *Pfeffer* nem is nevezi ezt az erőt gyökérnyomásnak, hanem a könnyezés nyomásának.

Ugyancsak ez okból a könnyezés jelenségének magyarázatát nem csupán a gyökérben, hanem az egész növény szerkezetében kell keresnünk. Az bizonyos, hogy a könnyező folyadék a farészből és abban is különösen az edényekből és edényalakú sejtekből ömlik ki. Ezekbe az edényekbe pedig feltétlenül a szomszédos sejtekből kell bejutnia a víznek. Minthogy pedig az edények már nem élő sejtek, a könnyezés nyomásának az élő szomszédos sejtekből kell kiindulnia és csakugyan a víz ezekből nyomul be az edényekbe. És pedig, minthogy itt a sejtfalak csak egy oldalon érintkeznek a folyadékkal, a víznek a levegővel telt edényekbe való benyomása egyszerű átszűrődési folyamat (filtráció). Épen ezért a folyamat nemcsak a gyökerekben, de mindenütt, ahol az edények élő, tehát aktív sejtekkel érintkeznek, létrejöhet, sőt a filtráló sejteknek nem is szükséges az edényekkel közvetlenül érintkezniök. A fatestnek, tehát a bél-sugaraknak és a faparenchymának valóban megvan az a képessége, hogy a könnyezés nyomását létrehozza.

A cseppfolyós víz kiválasztása. A könnyezés jelenségének a filtrációval való magyarázata még érthetőbbé válik, ha a könnyezéshez hasonló jelenségeket más növényeken is megfigyeljük. Nevezetesen, míg a könnyezést a fákon csak bizonyos körülmények között figyelhetjük meg, addig a lágy-szárú növényeken jóformán mindig megfigyelhetjük, ha az illető növények tenyészéséhez a megfelelő körülmények megvannak. Ugyanis, ha fiatal búza- vagy zabnövényeket, amelyek talaja bőven tartalmaz vizet, egy edénnyel letakarunk, hogy páratelt levegő fogja őket körül, akkor csakhamar azt fogjuk észrevenni, hogy a fiatal levelek hegyén vízcseppek jelennek meg. És hogy ez esetben nem a pára lecsapódásából alakult harmatképződés cseppjeivel van dolgunk, bizonyítja az, hogy idősebb leveleken a jelenség nem mutatkozik, pedig, ha a vízcsepp a harmatból származnék, akkor az idősebb leveleken is meg kellene jelen-



nie, sőt nemcsak a levelek csúcsain, hanem a levelek egész felületén is, amint hogy a harmat tapasztalás szerint a levelek egész felületét el szokta lepni. A zab, vagy egyáltalában a fűlevelek hegyén alakult csepp lassankint megnagyobbodik és azután lehull. Hasonló jelenségeket találunk más növényen is, mint pl. a *Fuchsia*, palástfü (*Alchimilla*), boglárka, (*Ranunculus*), nyenyuljhozzám (*Impatiens*), sarkantyúvirág (*Tropaeolum*), szőlő stb. levelein, amelyeknek nem-



49. kép.

A szőlőlevél vízcsepp kiválasztásának bemutatása. Hansen után.

csak a hegyein, de a fogak, karélyok hegyein is megjelennek a cseppek (l. 49. kép). Ellenben a fűlevelekhez hasonlóan csak a levelek hegyén jelenik meg a vízcsepp egyes kontyviráguak levelein, amelyek közül Molisch közlése szerint a *Colocasia esculenta* percnként 85 cseppet választ ki, a *Colocasia antiquorum* pedig a vízcseppeket még nagyobb mértékben választja ki: a még teljesen ki nem alakult levél percnként 163 apró cseppet présel ki magából olyan erővel, hogy a cseppek leperegnek a levélről; idősebb, tehát kialakult, vagy majdnem kialakult leveleken 190 csepp is válik ki

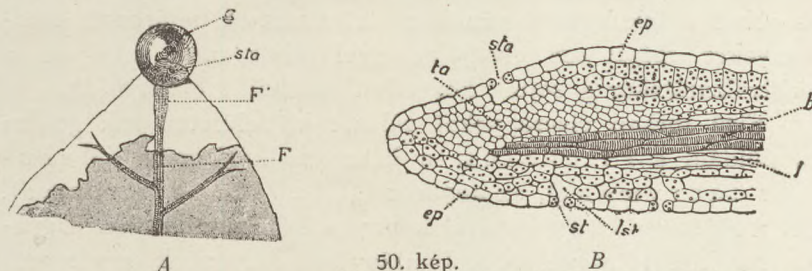
és hull le percnként, úgyhogy egy levél egy éjszaka 100 g vizet választhat le. Nagyon gyakran megfigyelhető ez a jelenség a szobában tartott *Philodendron*-okon (*Monstera*) is.

A cseppenként megjelenő vizet erre a célra külön alakult szervek az u. n. víznyílások választják ki, amelyek különben a víz felvételére is alkalmasak. Ezek a legtöbb esetben rendes működésüket elvesztette levegőnyílásokból alakulnak. A zárósejtek többnyire mozdulatlanok és a zárósejtek közötti nyílás, a tulajdonképeni sejtközi nyílás is nagyobb, mint a műkö-



désben levő levegőnyílásoké (l. 50. kép). A vízcseppek egyenként vagy többesével foglalnak helyet a kiválás helyén. A nyílás alatt pedig nagyobb sejtközi üreget, a levegőnyílások lélekző üregét találjuk, amelyet vékonyfalú parenchyma sejtek, az *epithéma* sejtek vesznek körül. Ezek alatt vagy ezek között végződnek azután a levelekben levő edénnyalábok elágazásai és pedig olyképpen, hogy a nyalábok hánccselemei elmaradnak és csak a farész gyűrűs vagy csavaros vastagodású tracheidái maradnak meg, amelyeket sejtközökkel bíró parenchyma vesz körül.

Ha már most az edényekben a könnyezés nyomása létrejön, akkor a víz az edényekből kijut az *epithéma* sejtek közti jára-



50. kép.

A réti boglárka (*Ranunculus acer*) A levelének fogja, amelynek hegyén levő hidatódia *sta* egy cseppet *g* választott ki; *F* levelér, amely a víznyílás alatt szétterjed *F'* (10-szer nagyítva). B a level fogának hosszmetsege, amely egy víznyíláson *sta* átmege; *ep* epidermisz, *st* víznyílás, *ls* a levegőnyílás alatti udvar, *ta* víztartó és kiválasztószövet, *b* az edénnyaláb (levelér) farészének megmaradt csavaros tracheidái, amelyek továbbra nyúlnak, mint az alattuk levő hánccselemez *l*. (70-szer nagyítva.)  
Bonnier és Du Sablon után.

tokon át a lélekzési, itt helyesebben vízgyűjtő üregekbe, ahonnan azután a víznyíláson át a szabadba jut. Az egysziklevelű vízinövények levelhegyén a víznyílások vagy az epidermisz sejtek szétesése folytán kis gödröcskék keletkeznek, amelyekben a tracheidák végződnek. Ezek a csúcsi nyílások is a vízkiválasztást szolgálják. Minthogy a vázoltak szerint a vízcsepp megjelenését kétségtelenül a vízzel megtelt edényekben levő nyomás hozza létre, ennél fogva bizonyos, hogy e jelenség megegyező jelenségeket fog mutatni a könnyezés jelenségével. És csakugyan a tapasztalat azt mutatja, hogy mindazok a külső körülmények, amelyek a könnyezést elősegítik vagy hátráltatják, a vízcsepp-kiválást is siettetik, illetőleg késleltetik.



Különben kísérletileg is igazolható, hogy e jelenséget az edényekben levő nyomás hozza létre. Nevezetesen, ha egy lemetszett friss szőlővesszőt egy U-alaku cső egyik szárába illesztünk és a cső alsó részébe vizet öntünk, amelyet azután hosszabb csőbe öntött higany nyomásának teszünk ki, továbbá gondoskodunk alkalmas módon, pl. üvegharanggal arról, hogy a vesszőt párával telt levegő fogja körül, akkor kb. 20 cm magas higanyoszlop nyomására a levél karélyainak hegyén és a fogak hegyén megjelennek a vízcseppek. (l. 49. kép).

Ez a kísérlet tehát világos bizonyítékot szolgáltat arról, hogy az edényekben levő vízre gyakorolt nyomás folytán szűrődik át a víz az edényeken. Hogy vajjon a víznyílás alatt elhelyezett epithéma a víz filtrációjában szerepet játszik-e, még nagyon kétséges. Egyes kísérletek alapján tagadják, mások ellenben lehetségesnek tartják pl. a *Crassulaceák* n. És ha ebben a tekintetben nem is mutathatunk rá határozott eredményekre, mégis sok oly jelenséggel találkozunk, amelyek a vízkiválasztáskor a sejtek közvetlen munkáját bizonyítják.

Első sorban vízcseppeket választ ki felületén sok gomba is, például a *Pilobolus*, a könnyező házigomba (*Merulius lacrymans*), az anyarozs (*Claviceps purpurea*). Ezt a *Pilobolus* gombával könnyen bebizonyíthatjuk. Ugyanis, ha friss lótrágyát porcellántányérra helyezünk, kevés vízzel megöntözve üvegharanggal befedjük, akkor néhány nap múlva megjelennek rajta a *Pilobolus* penészgomba saját-szerű terméstartói, sporangiumtartói, amelyek, ha az üvegharang alatt elég párás a levegő, számos kisebb-nagyobb csepp alakjában választják ki a vizet.

A magasabbrendű növényeken külön alakult vízkiválasztó sejtek, hídatordák is vannak. Ilyenek pl. a vicsorgólevél (*Lathraea*) alkotta üregekben lévő szőrszálak, továbbá a hűs-evő növények szőrszálai, amelyek, minthogy edényekkel nincsenek összefüggésben, valószínűleg a vizet ozmotikus úton a szomszédos sejtekből nyerik. A szőrszálak sejtjei pedig ugyanolyan módon filtrálják ki magukból a szabad felületre a vizet, mint ahogy a gyökérkéreg sejtjei préselik be a vizet az edényekbe. Mindkettőnek ugyanaz a munkája, csak a munkálósejtek helye más és a filtráció iránya ellenkező.

Ha sok esetben tiszta víz jut is ki a vízkiválasztó sejtekből,



a legtöbb esetben mégsem tiszta víz az. Ugyanis sok növényen, nevezetesen a fürtös kötörő (*Saxifraga aizoon*) levelein a hidadódák kiválasztotta víz sok szénsavas meszet tartalmaz, amely mint fehér halmaz vagy réteg halmozódik fel. A *Plumbago*-féléken pedig sajátságos mirigyek vannak, amelyek kiválasztotta calciumcarbonát pikkelyesen helyeződik el a növény egész felületén. Ennek az oldatnak tehát a plazmán át kell ki-jutnia a sejtől, épen úgy a savas váladéknak, amelyet a borzas fűzike (*Epilobium hirsutum*), a közönséges varázslófű (*Circaea lutetiana*), de különösen a húsevők szőrszálaival választanak ki; ez utóbbiak váladékai még enzimszerű anyagot is tartalmaznak. A gombák kiválasztotta víz is tartalmaz szerves vegyületeket, de különösen előtűnik ez a magasabbrendű növények mézfejtőiben, nektáriumokban, amelyek egyes szerzők szerint a hidadódákkal megegyező munkát végeznek. Ezek a virágokban mint florális nektáriumok és a virágokon kívül mint extrafloralis (extranupcialis) mézfejtők találhatók meg. Az ezeket alkotó sejtekből is úgy válik ki az oldat, hogy a plazmán át jut ki sok esetben ozmotikus úton, amiért épen legújabbban a hidadódák és nektáriumok munkáját nem tartják mindig megegyezőnek.

Kétségtelen, hogy a sejt maga képes arra, hogy egyoldalúan válasszon ki vizet, illetőleg valamely oldatot a könnyezés nyomásától függetlenül is kiválasszon, amint ezt *Haberlandt* kísérletei bizonyítják.

A vízcsepp kiválásának jelenségét sokféle módon próbálták már magyarázni, anélkül azonban, hogy teljesen kielégítő megoldást találtak volna. Még legvalószínűbb *Pfeffer* magyarázata. Ennek értelmében a jelenség oka a sejtek egyoldalú kiválasztásában, azután a sejt két oldalán a sejtnedvnek különböző tömötségiében rejlik; maga a kiválasztás pedig lehetségessé válik néha a plazma egyoldalú permeabilitása, néha pedig a sejtek bizonyos energiáinak hatása folytán.

Ennek bizonyítására szolgál a következő kísérlet: Ha egy csőbe, amelynek két végét állati hárttyával zártuk el, tömött cukoroldatot öntünk és a csövet egy edényben vízbe alámerítve elhelyezzük, csakhamar nagyobb mennyiségű víz fog a csőbe ozmotikus úton benyomulni, aminek folytán a csőben nagyobb ozmotikus nyomás fog kialakulni, amit az elzáró két hár-



tya duzzadásából is felismerhetünk. Ha a cső egyik végét permeábilisabb hártyával zártuk el és ezt szabadon a levegőn tartjuk, a másik vége pedig továbbra is alkalmas módon vízzel marad érintkezésben, akkor azt fogjuk észrevenni, hogy a szabadon levő hártyán víz fog átszüremleni, tehát egyoldali vízkiválasztás, illetőleg filtráció jut érvényre, hasonlóan a sejtek plazmájának egyoldali filtrációjához. Ennélfogva a könnyezés nyomásában a filtráció is valószínűen a sejtek hasonló munkájától származik.

A könnyezésnek a filtrációval való magyarázata feltételezi, hogy a víz útjaira a szomszédos élő sejtek hatással vannak, ámde Strasburger-nek a víz szállítására vonatkozó vizsgálatai azt bizonyítják, hogy a nagyon mérges oldatok, amelyek az élő sejtek plazmáját rögtön megölik, a magas fák csúcsába is rögtön eljutnak. Ez a tapasztalat az élő sejtek közvetlen hatását kizárná, ámde más kísérletek az oldat mérgező hatásának ellenére az élő sejteknek a szállítás céljait szolgáló munkáját bizonyítják még ez esetben is, mert a mérgező oldat hatása alig terjed ki a magasabban fekvő sejtekre. Nincs ugyanis bebizonyítva, hogy a magasabbra emelkedő víz méreganyagot tartott meg.

Mindezekből azonban kétségen kívül annyit megállapíthatunk, hogy a könnyezés nyomásának van bizonyos haszna a növényre nézve, pl. sokan Strasburger-rel a gyertyánfa rügpikkelyein megjelenő vízcseppekkel kapcsolatban a könnyezés nyomásának bizonyos szerepet tulajdonítanak a rügyek fakadásában is.

A levelek vízszívása. A vízszállítás tekintetében eddig csak annyit állapítottunk meg, hogy a könnyezés nyomása által a víz az edényekbe jut, de a gyökéryomás, illetve a könnyezés nyomása még mindig nem adja teljes okát és módját a párolgás által elfogyasztott vízmennyiség szállításának.

A másik erő, amely a vízszállítás szempontjából a gyökéryomáson kívül tekintetbe jöhet, az a levelek vízszívása folytán előálló szívóhatás. Erről bizonyosságot szolgáltatathatunk akként, hogy egy leveles hajtást egy manométercső nyílásába helyezünk; a csőben felül víz, alul higany van (l. 51. kép); vagy pedig a hajtást egy U alakúan görbített cső egyik szárába illesztjük, amelyben víz és alatta higany van (l. 52. kép).

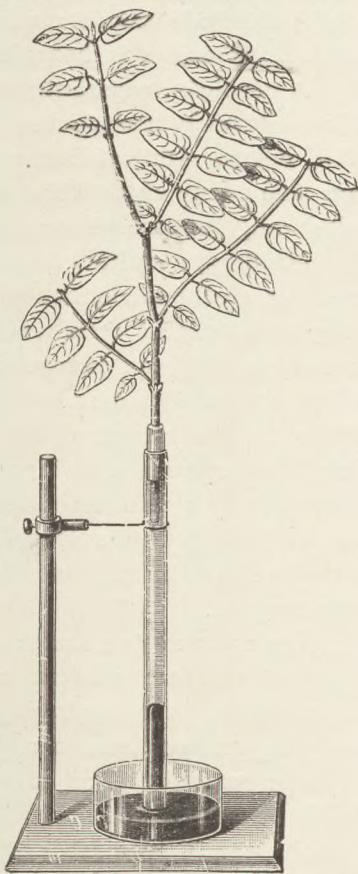
Amint a hajtás párolgás folytán vizet veszít, úgy a higany emelkedni fog, mert az ág a vízvesztéséget pótlandó, alulról vesz



vizet. A higany emelkedése lágyszárú növényeken 10—30 cm, sőt a megfűrt fába helyezett manométerekben 76 cm-re is rugott.

És ha a csőbe csak vizet öntünk, akkor, ha a csövet a levegőtől a növényt megszorító dugóval jól elzártuk, a növény a vízzel telt csőben még 2 m magasságban is megtarthatja szívás által a vizet. Sőt Strasburger szerint a toboztermők sértetlen ága 92 cm magas higanyoszlopot is fenntarthat szívás által a víz kohéziójának segítségével. A víz-, illetőleg a higanyoszlop magasságát a szívás nagyságának mértékéül tekintik, a jelenség maga azonban tisztán fizikai folyamat, amit egyszerű készülékkel bebizonyíthatunk (l. 53. kép).

A tölcsérszerűen tágult üvegcső felső végét pergamenpapírral elzárjuk, a csövet vízzel töltjük meg és alsó végét a higany alá mártjuk. Párolgás folytán a pergamenpapiros vizet fog veszíteni, amelynek pótlására a csőből vizet fog felszívni, úgyhogy a víz után a csőben a higany is emelkedni fog, de csak bizonyos mértékig, amennyiben a papiros külsejére a légköri nyomás nehezedik, belsejében pedig a felszívott víz és később a higany súlyával kisebbedett légköri nyomás működik, amiért is a papiroson át a cső belsejébe levegő jut be, amely a papiros és a víz között helyezkedik el, a további szívásnak gátat vetve. Azonban a higany így is néhány centiméternyire felemelkedik. Ha a pergamentpapiros helyett gipszlemez és a csőben forralt vizet hasz-



51. kép.

A növények párolgásának szívó hatását bizonyító készülék. Detmer után.



nálunk, akkor a higany 762 mm barométerálláskor egészen 82 cm-nyire, sőt más szerkezetű készülékeknél egészen 111 cm-nyire emelkedett. A barométer higanyoszlopát meghaladó ez a higanyoszlopmagasság magyarázatát abban találja, hogy a párolgás előidézte szívás mellett még a víz részecskéinek összetartása, kohéziója is hozzájárul a vízoszlop fenntartásához.

A párolgás megszűntével megszűnik a szívás is, éppen úgy, mint a levelek levágásakor. A szívás csak oly módon jöhet létre, hogy a vizet szállító parenchymasejtek, amelyek a levelekben lévő edény végeit környezik, filtrálás útján veszik át a vizet, mindaddig, míg a levél sejtjei a vizet a levegőbe elpárologtatják.

Minthogy ezáltal a levélerek végződéseinek edényeiben lévő víz elvonódik, ennek következtében bennük ritka levegőjű vagy csak vízgőzt tartalmazó terek keletkeznek. Ennek következménye, hogy az edényeknek összefüggő rendszerében szívás áll be, éppen úgy, mint a szívó kútak csövében, aminél fogva az alább eső kis vízoszlopocskák felszívódnak. A szívás így módon lehat egészen a gyökerekig. Ezzel a jelenséggel áll összefüggésben az a már említett jelenség, hogy az élő és párolgó növények edényeiben a levegő nyomása kisebb, mint az atmoszférai levegője; ezért mondják, hogy a növények testében a nyomás negatív.

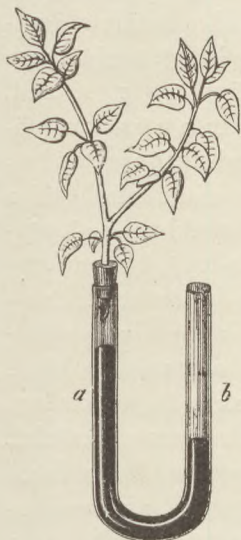
Igy nyer magyarázatot az a már említett jelenség, melynél a festett víz, vagy a higany alatt elmetszett növények edényeibe a festett víz, vagy higany egészen 50—60 cm-nyire jut be. Télien, nagyon természetesen, szünetelvén a párolgás és ezzel együtt a szívási erő, az edények levegője kevésbbé, vagy egyáltalában nem ritkább.

A negatív nyomásból még sok jelenséget tudunk megmagyarázni. Nevezetesen, ha virágokat vagy hajtásokat levegőn metszünk le és vízbe állítunk, egy időre kissé lankadtak vagy hervadtak lesznek, ellenben, ha víz alatt metszik le őket, hervadás egyáltalában nem jelentkezik. A levegőn metszett hajtásokba ugyanis levegő jutott be és így megszűnt egy időre a negatív nyomás.

A víznek a szomszédos sejtekből az edényekbe való bejutása különböző lehetséges módjával már foglalkoztunk. Ebből

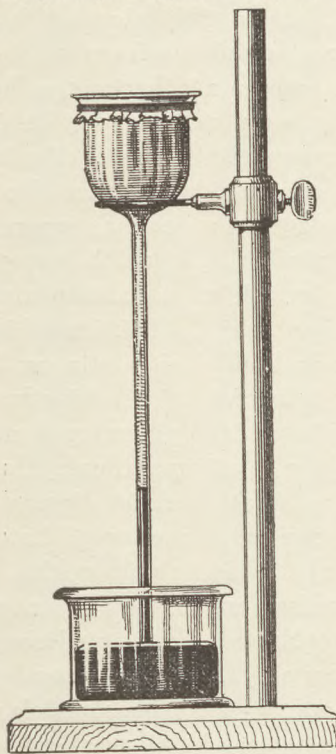


is kétségtelenül bebizonyul, hogy a vékonyabb sejtfalrészletek megkönnyítik a víznek az edényekbe való jutását. Ámde tudjuk, hogy az edények nem nagyon hosszú, egymástól keresztválaszfalak által elválasztott csövecskék, de azt is tudjuk, hogy a víz az edényeken kívül még sokkal rövidebb, bár a sejtfalvastagodásra nézve az edényekkel megegyező sejtekben, a tracheidákban is mozog, amiből már most megállapíthatjuk, hogy a szállított víznek a sejtfalakon át kell jutnia, ami mindenesetre a szállítást meg fogja nehezíteni. A vastagabb sejtfalakon a víz ne-



52. kép.

A növények párolgásának szívó hatását bizonyító készülék, amelyben a szívás folytán az üvegcső *a* részében a higany jóval magasabbra emelkedett, mint a *b* részben. Pfeffer után.



53. kép.

A párolgás szívó hatását bizonyító készülék; a vízzel telt tölcseres cső szája állati hárttyával van elzárva, alsó része pedig a csészében levő higanyba merül. Detmer után.

hezebben fog áthaladni, ellenben a vékonyabb záróhártyákon könnyebben. A tracheidákból álló fenyők fáján különösen jól lehet ezt bizonyítani. Jost közlése szerint ezek a tracheidák 4 mm hosszúak és 0.03 mm szélesek, keresztmetszetük meglehetősen négyszögletes és sugárirányú sorokban állanak. A su-



gárírányú (radiális) falakon és a csúcsba menő részekén találjuk a vermes gödörkéket, ellenben az érintő irányú (tangenciális) falak nincsenek vermesen megvastagodva.

Ha a fenyő fájába vizet nyomunk be, akkor hosszanti irányban, csak minden 4 milliméter távolságban talál falat maga előtt, amelynek ellenállását még a verem záró hártyái is csökkentik, ellenben tangenciális irányban, ugyanabban a távolságban 133-szorta több falon kell keresztül mennie, mint a hosszanti irányban; a radiális irányban is ugyanannyi fal szolgál akadályul és pedig a záróhártyák nélkül. Ezért a víz a radiális irányban alig, vagy csak nagyon kevésbé fog átnyomódni, tangenciális irányban már több víz, ellenben hosszanti irányban a legtöbb víz fog átnyomódni a falon. De amint a sejtfal akadályul szolgál a víz átnyomásakor, éppen úgy akadályul fog szolgálni a víz szívásakor is, legalább is meg fogja nehezíteni a víz szívását.

A levelek szívó hatásán alapszik most már a víznek a növényekben való szállítására felállított ú. n. kohéziós elmélet, amelynek kiindulási pontja az, hogy a vízmolekulák kohéziója folytán a levelek szívása következtében a növényekben levő egy-mással összefüggő vízoszlopok nem szakadnak meg, hanem összefüggően együtt maradnak. Ha az 53. képen feltüntetett kísérletnél az állati hártyát gípsszel helyettesítjük, amely lehetlenné teszi azt, hogy levegő hatoljon a víz és a membrán közé, akkor a kohézió folytán sokkal magasabb lesz a higanyoszlop, mint amilyen magasság a Toricelli-féle vakuumnak megfelel. Az a körülmény, hogy az edények a növény testében helyenként meg vannak szakítva, a vízoszlopok összefüggésére nincsen hatással, miután a közbenső falak vízzel teljesen át vannak itatva és így a vízmolekulák érintkezése és kohéziója biztosítva van.

Rendkívül érdekes, hogy már Ursprung-nak sikerült lián szárakkal, amelyek tudvalevőleg nagyon hosszú edényekkel rendelkeznek, párolgás útján 2 atmoszférának megfelelő, tehát a rendes levegőnyomást kétszeresen meghaladó higanymagasságot elérni. Míg Renner és Ursprung haraszt-sporágiumokkal, illetőleg azoknak annulus sejtjeivel még ennél is nagyobb higanymagasságot értek el.

E vizsgálatok során alakult ki azután a kohéziós elmélet,



amely feltételezi, hogy a kohézióban levő víz mozgását a gyökértől a fa koronájáig ezek a megszakítás nélküli kohéziós erők hozzák létre. Az idevonatkozó vizsgálatok még nincsenek teljesen lezárva és azért ebben a kérdésben véglegesen állást foglalni még nem lehet. Az bizonyos, hogy úgy a gyökérnyomás, mint pedig a levelek szívóhatása folytán előálló vízáramnak az edényekben jelentékeny ellenállást kell leküzdenie.

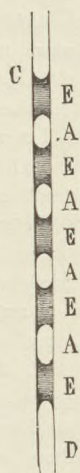
A kohéziós elméletnek élő fákban való bizonyítása egyelőre még nehézségekbe ütközik. Így pl. élő fákba helyezett manométerek semmi szabályosságot sem mutatnak, miután ezek a benyomás alkalmával az edényeket, a fának szöveteit széjjelroncsolják és amint Jost találóan jegyzi meg a legjobb esetben is csak az edények körüli szövetek viszonyait adják, de nem azokat a viszonyokat, amelyek magukban az edényekben uralkodnak. Bode-nek sikerült mikroszkop segítségével a Cucurbita és az Impatiens edényeiben összefüggő vízoszlopokat kimutatnia. Ugyancsak a kohézió mellett szól az a körülmény is, hogy a higany alatt elmetsett hajtások azonnal mohón higanyt szívnak magukba a kohéziós szálak megszakítása következtében. Renner igen eredeti módon igyekezett azokat a szívóerőket mérni, amelyek a vezető pályákon fellépnek. Az ő kísérletei szintén a kohéziós elmélet mellett szólnak. Renner potetometer segítségével meghatározta egy levágott gally vízfelvételének nagyságát, azután a hajtást levágta, a csonkra egy légszivattyút alkalmazott, amelyet 1 atm. szívóerő mellett működésbe hozott, amikor is azt tapasztalta, hogy a szivattyú alkalmazásánál a vízfelvétel tetemesen nagyobb volt. Ebből következik, hogy rendes körülmények között a leveleknek az edényekben levő vízre gyakorolt szívóereje 1 atm.-nál kisebb, ami annak a jele, hogy a vízfelvételt nem gátolta semmi és az edényekben levő ellenállás nagyon csekély volt. Ha azonban az ellenállást akár bevágással, akár pedig a vágási felület tömítésével növeljük, azt tapasztaljuk, hogy kezdetben a vízfelvétel nagyon csökken, azután fokozatosan emelkedik és végül ismét eléri eredeti nagyságát. Minthogy a kísérlet egész tartama alatt az ellenállás változatlan maradt, úgy a vízfelvétel ezen fokozatos nagyobbodása egészen a normális állapotig csakis a levelek szívóerejének növekedésével magyarázható, amiről Renner meggyőződött úgy, hogy a hajtás levágása után a csonkra légszivattyút alkalmazott, amikor is a vízfelvétel kisebb lett, mint volt eredetileg a hajtás levágása előtt. Ebből megállapította, hogy a levelek szívóereje nagyobb ellenállásnál több atm.-ra is rúghat. Ehhez hasonló kísérleteket végzett Renner a szabadföldi növények szívóerejére vonatkozólag is. Csak a teljesség kedvéért említjük meg, hogy pl. Ursprung és Nordhausen, Renner ellen foglaltak állást, ami szintén mutatja, hogy a kérdés teljes tisztázásához még vizsgálatokra van szükség.

A vízszállítással kapcsolatban most még meg kell emlékez-



nünk arról a körülményről is, hogy, amint a vizsgálatok mutatják, az edényekben rendszerint a külső levegő nyomásánál alacsonyabb nyomás uralkodik, amint azt H ö h n e l is kimutatta. Ennek eredménye az, hogy kívülről a magasabb nyomású levegő az edény falán át lassan beszívárog és ilyen módon az edényekben vízzel és levegővel telt részek váltakoznak egymással, azaz az u. n. J a m i n-láncok lépnek fel (l. 54. kép). A levegő nyomása az edényekben S c h w e n d e n e r szerint  $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{5}$  atm.

között váltakozik és hasonlóképen az ő mérései szerint a Jamin-láncokban a levegőhólyagok és vízoszlopocskák nagysága átlag 0.3 mm, illetőleg 0.2 mm.



54. kép.

A Jamin-lánc alakja a CD csőben, amelyben vízoszlopocskák (E) váltakoznak levegőbuborékokkal (A). Emery után.

A vízszállítás szempontjából rendkívül fontos annak eldöntése, hogy a vízszállítás vajjon tisztán vízzel töltött edényekben megy-e végbe vagy pedig ilyen levegőhólyagocskákkal megszakított vízoszlopokkal kell-e számolnunk, amely utóbbi eset természetesen a kohéziós elmélet alkalmazását teljesen lehetetlenné teszi. Strasburger megfigyelései szerint a legfiatalabb évgyűrűkben nagyon kevés a levegő, ezeknek edényei majdnem teljesen levegőmentesek, amely körülmény kétségtávol a kohéziós elmélet mellett szól. Nem hiányoznak természetesen olyan elméletek sem, amelyek ilyen levegőhólyagocskákkal teli edényekben fizikai alapon igyekeznek a vízszállítást megmagyarázni, azonban ezek a magyarázatok sem teljesen kielégítőek.

Ügyszintén a víznek az edényekben való szállítását a kapillaritással is igyekeznek magyarázni, amint azonban Strasburger és N ä g e l i bebizonyították, ha fizikailag lehetséges volna is a víznek ezt a kapilláris magasságát megmagyarázni, azonban ezen az úton semmi esetre sem juthatna anynyi víz a koronába, amely pótolni tudná a korona nagy víz elpárologtatását.

Mindezek a most mondottak világosan bizonyítják, hogy a néha 60—70 m magas fákban a víznek a gyökérből a koronákba



való feljutását ezidőszerint kielégítően megmagyarázni még nem tudjuk. A fentiek alapján a kérdés kellő kritikai bírálata mellett világosan láthatjuk, hogy az említett elméletek közül egyik sem elegendő ahhoz, hogy megmagyarázza és be is bizonyítsa azt az erőt, és azt a módot, amely a vizet a gyökértől a fa koronájáig mozgatja. Általában magának az erőnek atm.-ákban kifejezve a következő nagyságúnak kellene lennie:

$$S_z = \underbrace{S_{z_t} + \frac{m}{10}}_{\text{statika}} + \underbrace{P \cdot W}_{\text{dynamika}}$$

ahol  $S_z$  = a talaj ozmotikus szívóereje, amelyet a gyökérször-szálak ozmotikus erejének le kell győznie,  $m$  = a növény magassága méterekben,  $\frac{1}{10}$  = az 1 atm.-nak megfelelő vízmagassági koefficiens,  $P$  = a transpiráció nagysága,  $W$  = az edények sur-lódási ellenállása.

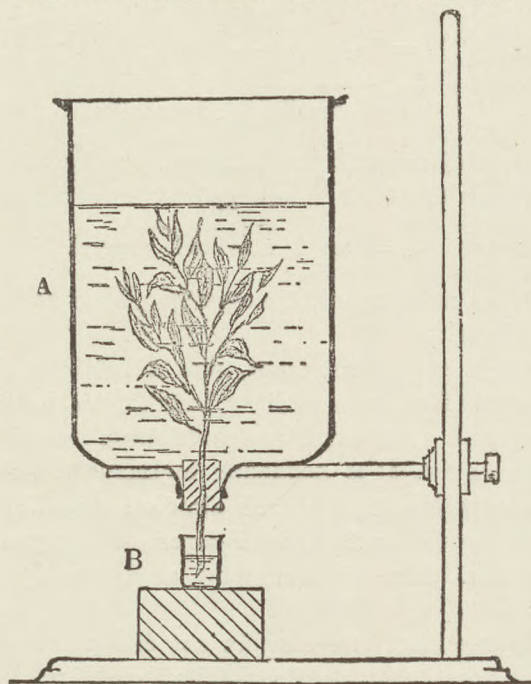
Miután sem a gyökérnyomás, sem a kohéziós elmélet, sem a levelek szívóhatása, sem pedig a kapillaritás kellőképen meg nem magyarázzák a növényekben a víz áram mozgását, újabban az élő sejtek hatásával is kezdenek foglalkozni. Idevonatkozólag azonban egyelőre szintén csak elméleti megállapítások vannak, kísérleti eredmények ezen a téren még olyan mértékben sem állanak rendelkezésünkre, mint az említett másik három kísérlet terén.

U r s p r u n g kísérletei alapján azt állítja, hogy az élő sejtek tevékeny részt vesznek a víz felfelé való szállításában. A szárazokban, az ágakban az élő sejtek az emelő erő létrehozásában közreműködnek. U r s p r u n g szerint az élő kéregsejtek nem visznek szerepet a víz szállításában, sőt még a fiatalabb részekben sem lehet jelentékeny az esetleges hatás. Az élő fasejtek közreműködése az egész szállítás hosszában szükséges. A vízszállítás főleg a fatest fiatalabb részeiben megy végbe, de a kéregnek meg kell maradnia, hogy tartós vízszállítás legyen lehetséges, azonban a kéreg eltávolítása mégsem hat minden esetben hátrányosan. A kéregnek a víz szállításában valószínűleg az a jelentősége, hogy a kerületi farészeket megóvjá és megvédi,



amit a gyűrűzési kísérlet is bizonyít. Kielégítő vízzállításra elégséges a szállító utak kis töredéke, ha a megfelelő részben a sejtek élők, amint azt az odvas öreg fűzfákon is tapasztalhatjuk. Az élő sejtek által kifejtett mechanikai hatásnak mindenesetre nagy jelentősége van.

Ettől eltérően a levelekben is keresik a vízzállítás okát. A levelek sejtjeinek bizonyos munkájában, sajátos szívásában



55. kép.

A párolgástól független vízáramlás bizonyítására szolgáló készülék. A a vízzel körülvevő hajtás, amelynek alsó része a B edényben levő víz alá nyúlik. Dixon után.

látják az okot, amely még akkor is közrehatna a víz szállításában, amidőn párolgás már nincsen.

Erre vonatkozólag Dixon végzett tanulságos kísérleteket. Ezekben különböző növények frissen levágott ágait használta, amelyeket vízbe állított és nedves térben tartott, hogy az ág bőségesen véve vizet magába, az edények levegőjének alacsonyabb nyomását megszüntesse, aminél fogva a víznek tisztán fizikai folyamat által való szívását lehetetlenné tette. Ha most az ágot (l. 55. kép) jól záró dugóval egy megfordított üvegharang



nyakába (A) illesztjük, hogy az ág leveles része a vízzel telt üvegharangba nyuljon, alsó része a vízzel telt edénybe (B), akkor az ág párolgása megszűnt. Az alsó edényből azért mégis vizet vesz fel az ág, amiről könnyű meggyőződni egyrészt az edényben levő víz csökkenéséből, másrészt ha az edénybe víz helyett eozinoldatot öntünk. Ugyanezt az eredményt érjük el, ha az ág leveles része nem vízbe, hanem páratelt levegőbe nyúlik. Ha az ág leveleit eltávolítjuk, akkor az eozinoldat felvétele lassúbb lesz. Ugyanez következik be, ha a leveleket az ágon megöljük. Tehát a párolgás elmarádása mellett is a levelek élő sejtjei szivattyúzzák fel a vizet, amely működés a kísérlet tanúsága szerint független a párolgással járó szívástól. A víz alá merült növényekben valószínűleg hasonló a folyamat, amire hidatodáikból következtethetünk. Kétségtől ez a sajátos munka is hasonló jelenségen alapszik, mint a könnyezés.

Ha ezek közül az elméletek közül bármelyik talán alkalmas is arra, hogy részben megmagyarázza a víz egy részének szállítását és áramlását, még mindig nem alkalmasak arra, hogy biztos, exakt tudományos alapon kielégítő magyarázatot adjanak a vízszállítás mechanizmusáról. Ezen a téren tehát — mint fentebb is hangsúlyoztuk — részletes és beható vizsgálatokra lesz szükség.

### A vízkulturák.

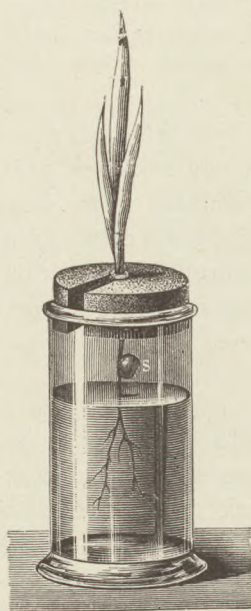
A növényi test kémiai összetételéről szóló fejezetben a hamualkotórészek tárgyalásakor már részletesen szólottunk azokról a táplálóanyagokról, amelyek a növények életjelenségeihez okvetlenül szükségesek. A növény a kémiában ismert elemek közül, amint ezt ezekből a fejezetekből láthatjuk, csak 10 elemnek jelenlétét igényli feltétlenül. Ezek *C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg* és *Fe*. A tengeri növényeknél a *Ka*-t *Na* helyettesíti.

Tudjuk, hogy ezek közül az elemek közül a növény *C*-t, *H*-t és *O*-t a levegőből veszi fel, sőt egyes növények részben *N*-szükségletüket is a levegőből fedezik. A többi elemnek feltétlen szükségességét azonban csak hosszú kísérletekkel, így az ú. n. vízkulturákkal és kvarchomokon való tiszta kulturák segítségével mutatták ki az elmúlt században. Különösen *Kno*p és *Sachs* voltak azok, akik a vízkulturákkal való tenyésztési eljárásokat a mai tökéletes színvonalukra emelték és magát a különben hosszú módszert kidolgozták.

Az eszközök alkalmazásában és a növények mesterséges



tenyésztésében mindig első és fődolog, hogy a növényeket folytonosan ellenőrizhető viszonyok között tartsuk. Elsősorban is szükségünk van megfelelő edényre — amely különben bármilyen alakú lehet — ennek széles száját közönséges parafalemezből készült dugóval zárjuk el. A dugóba a sugár irányában a közepéig nyílást vágunk, hogy a növényt beléhelyezhessük és benne megerősíthessük, esetleg gyapottal elzárva a nyílás el nem fog-



56. kép.

A tengeri fiatal növénye vízben tenyésztve. Parafadugós edény: s a tengeri kicsirázott magja. Johnson után.

lalt részét, hogy a levegőből por se juthasson a vízbe (l. 56. kép). Az edénybe különböző sóknak desztillált vízben való megfelelő oldatát öntjük. Ennyiből áll a kísérletre szükséges készülék, amely azonban a különböző szempontok szerint változik, de lényegében mindig ugyanaz marad, nevezetesen parafadugó helyett porcellánfedőt is alkalmazhatunk (l. 57. kép). Hogy a vízben a moszatoknak esetleges fejlődését megakadályozzuk és a gyökereknek a világossággal szemben ugyanazokat a viszonyokat biztosíthassuk, amellyel a talajban bírnak, célszerű az edényt közönséges papiroslemezzel körülfogni, vagy pedig az edényt a talajba süllyeszteni. Huzamosabb ideig való tenyésztési kísérleteknél alkalmas készülékkel az edényben lévő vízbe levegőt juttatunk, nehogy a gyökerek levegőhiányban szenvedjenek.

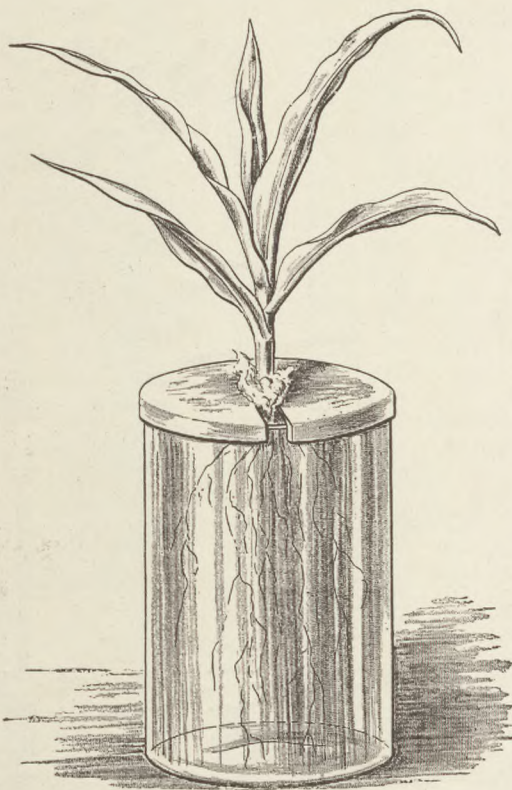
A párolgás folytán való vízveszté-  
séget desztillált vízzel pótolni kell, sőt huzamosabb tenyésztés esetén az egész oldatot időközönként meg kell újítani. A lepárolt víz tisztaságáról is célszerű meggyőződni, mert a víz esetleg a lepárolás folytán rézvegyületet tartalmaz, amely esetben a réz mérgező hatása miatt a tenyésztés nem sikerül. A vízben való tenyésztés céljára bármely növényt választhatunk, mert ebben a rövid egy évi élettartammal bíró növények éppen



olyan jól tenyésznek, mint a huzamosabb időn át élő fás növények. Ez utóbbiakra nézve érdekesek azok a példák, amelyeket Tharandtban 50—60 év előtt tenyésztettek (l. 58. kép). Kísérletezésre azonban leginkább a kukoricát, babot, lóbabot, tatárkát szokták használni.

Ezeknek a növényeknek magját először is óvatosan csíráztatjuk. A kicsírázott csiranövények közül a legfejlettebbeket és legerősebbeket kiválasztjuk és áthelyezzük a kísérletező edénybe. Ha a kísérletre használt edénybe csak desztillált vizet teszünk és gondoskodunk a kellő melegeiről és világosságról, a növény bizonyos ideig fejlődni fog, amíg azután fejlődésében megakad, törpe marad, de azért nem pusztul el mindjárt.

A növénynek a desztillált vízben való fejlődése első pillanatra meglepő jelenség. De ha tudjuk, hogy a növény a róla levált magvakban a fiatal növényke első táplálékáról gondoskodik, meg fogjuk érteni, hogy fejlődésének első szakában mégél a nélkül, hogy mi juttattunk volna neki táplálékot. A hozományként nyert táplálékanyagokat, amelyeket a növény magjában gyűjtött egybe, éppen ezért raktározott táplá-



57. kép.

A tengeri fiatal növénye vízkultúrában. Az edény porcellánfedővel van ellátva. Giesenhagen után.



l é k a n y a g o k - n a k nevezzük. A búza, kukorica magjában a csírárt oldalt érintő szövetben, a magfehérjében, találjuk a



58. kép.

A tharandti növénykertben az 1877., 1878. és 1879. években vizkulturában tenyésztett 2, 14 és 26 hónapos mézgás éger. A természetes nagyság  $\frac{1}{10}$ -e. Döbner-Nobbe után.

táplálóanyagokat, ahonnan azokat a fiatal növényke szikleve-  
lével veszi fel; a mandula, a dió, a mogyoró, a bab magjában  
a csira két nagy sziklevelében van a táplálék, amelyet csirázás-



kor a növényke közvetlenül felhasználhat. Addig, amíg a hozomány tart, amelyben tekintélyes mennyiségű hamualkotórész is van, a kis csiranövényke növekedik; mihelyt kimerül a raktár, növekedése is megszűnik, ámde mindamellett a már megnőtt növényke súlya a mag súlyának kétszerese, sőt négyszerese lesz.

Másként áll a dolog, ha a fiatal fejlődő növénykének nem tisztán csak lepárolt vizet, hanem a szükséges anyagokat oldva tartalmazó vizet adunk. Akkor vígan indul növekedésnek, bőven gyarapodik, sőt egészen virágzásig és magérlelésig is fejleszthető, ha kellő melegtől, világosságtól és levegőtől is gondoskodunk (l. 59. kép).

Minthogy ezáltal módunkban van a vízben oldott anyagokat tetszésünk szerint megváltoztatni, egyszersmind módunkban van ilymódon kikutatni azt, hogy a növény hamuanyagában talált elemek közül melyek a szükségesek és a nélkülözhetetlenek.

Már Knop több ilyen tápláló só elegyét állította össze; a későbbi kísérletezők kisebb változtatással jóformán megtartották Knop ösz-



59. kép.

A desztillált vízben tenyésztett paszuly, B a szükséges táplálékkal bíró vízkultúrában tenyésztett paszuly. Hansen után.



szeállítását. Példaképen felsorolunk egynéhányat, amelyeket alkalmazójuk nevéreől nevezünk el, jóllehet a legtöbbjét már maga Knop is használta.

A növények vízben való tenyésztésére használt sóoldatok:

Pfeffer-féle oldat:

Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4'00 g
KNO <sub>3</sub>	1'00 g
MgSO <sub>4</sub>	1'00 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1'00 g
KCl	0'50 g
H <sub>2</sub> O	3000'00 g
Fe <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>	0'10 g

Nobbe-féle oldat:

Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1'00 g
KNO <sub>3</sub>	0'25 g
MgSO <sub>4</sub>	0'25 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0'25 g
Fe <sub>2</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0'25 g
H <sub>2</sub> O	1000'00 g

Knop-féle oldat:

Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1'00 g
KNO <sub>3</sub>	0'25 g
MgSO <sub>4</sub>	0'25 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0'25 g
H <sub>2</sub> O	1000'00 g
Fe <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>	0'20 g

Hansen-féle oldat:

KNO <sub>3</sub>	0'50 g
MgSO <sub>4</sub>	0'20 g
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0'20 g
H <sub>2</sub> O	1000'00 g
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0'10 g

Frank-féle oldat:

Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1'00 g
MgSO <sub>4</sub>	0'25 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0'25 g
KCl	0'25 g
H <sub>2</sub> O	1000'00 g
Fe <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>	0'20 g

Sachs-féle oldat:

KNO <sub>3</sub>	1'00 g
MgSO <sub>4</sub>	0'50 g
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0'50 g
NaCl	0'50 g
CaSO <sub>4</sub>	0'50 g
H <sub>2</sub> O	1000'00 g
Fe <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>	0'20 g

Mint hogy pedig a sók vízben való oldáskor részben disszociálnak, nagyon természetesen jóformán közömbös, vajjon a sókat alkotó elemek melyik savhoz vannak kötve, aminthogy a közölt oldatokban is látjuk, hogy pl. a calcium a salétrom-, a kén, vagy a phosphorsavhoz van kötve. Általában a lényeg az, hogy az oldatba a következő kationok és anionok juthassanak be. Kationok: K +, Ca++, Mg++, Fe++ vagy Fe+++, anionok: SO<sub>4</sub> — és PO<sub>4</sub> —, valamint NO<sub>3</sub>. A táplálóoldat reakciója is nagyjelentőségű. A növények legnagyobb része tartósan és jól csak gyengén savas oldatokban tenyészik és ha az oldatok bizonyos körülményeknél fogva alka-



likusok lettek, időnként egy-két csepp phosphorsav hozzáadásával ismét savanyítandók. Az alkalikus oldatokban elpusztulnak a növények, kivéve néhány vízinövényt, amelyek gyengén alkalikus oldatban is tenyésznek.

Az oldható phosphátok és az oldható vassók esetlegesen jelentkező mérgező hatásának elkerülése végett Crone a következő táplálóoldatot ajánlja, és pedig 1 vagy 2 l vízre:

$\text{KNO}_3$	. . . . .	1'00 g
$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$	. . . . .	0'50 g
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	. . . . .	0'50 g
$\text{CaSO}_4$	. . . . .	0'25 g
$\text{MgSO}_4$	. . . . .	0'25 g

Ez az oldat semleges hatású és bizonyos körülmények között jobban használható, mint a savas oldat.

Az újabb táplálóanyagok közül megemlítjük Tottigham táplálóanyagát, aki 84-féle összetételben alkalmazta a következő négy sót:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{MgSO}_4$  és egy kevés vasphosphátot. Fiatal búzanövények részére a következő összetételű oldatot ajánlja, amely a Knop-féle oldatnál is jobb:

$\text{KNO}_3$	0'0094 g mol. 1 literben
$\text{KN}_2\text{PO}_4$	0'013 g mol. 1 literben
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0'0144 g mol. 1 literben
$\text{MgSO}_4$	0'0144 g mol. 1 literben.

Shive viszont a következő három sót használja különböző összetételekben:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{MgSO}_4$  és vasphosphát. E sókat olyan koncentrációban adagolja, hogy az oldat ozmotikus nyomása 1'75 atm.-val legyen egyenlő.

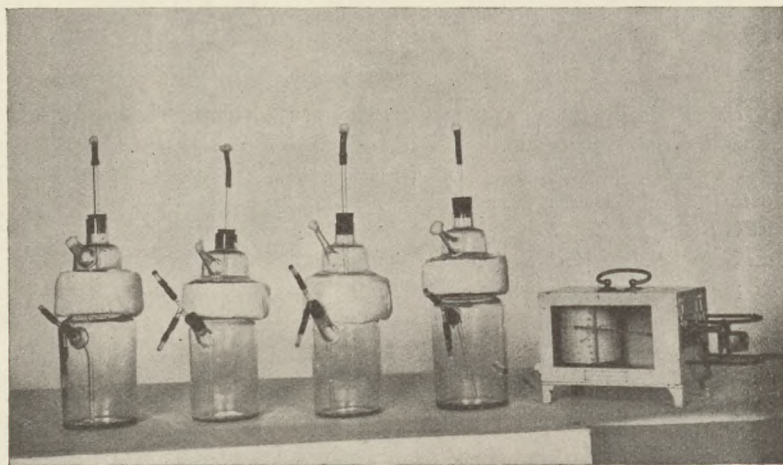
Bizonyos exakt célra néha szükséges a növényeket a táplálóoldatokban baktériummentesen tenyészteni, hogy megvizsgálhassuk a különböző táplálóanyagok felvételét akkor, amikor azok a baktériumok hatásának kitéve nincsenek. Ilyen pl. a növények nitritfelvevő képességének meghatározása. Erre a célra szolgálnak az ú. n. steril tenyésztőedények (l. 60. kép).

A vízkulturák céljaira főleg a gyorsan növő növények alkalmasak. Nem minden növény gyökérrendszere alkalmazkodik a vízben való tenyésztés természetellenes körülményeihez. Nagyön jó eredményeket értek el pl. a Gramineák, Coniferák, len, répa, *Tradescantia* és a burgonya tenyésztésekor. Fák közül a tölgy, vadgesztenye és az éger alkalma-



sak különösen a vízben való tenyésztésre. Azok a növények, amelyek vízkultúrában nem tenyésznek, Hellriegel és más kutatók nyomán előnyösen tenyészthetők kiizzított és kénsavval főzött kvarchomokban, amelyhez a szükséges táplálóanyagokat hozzáadjuk.

A vízkultúrák segítségével szabatosan meghatározható, hogy mely elemek szükségesek és melyek feleslegesek a növények tenyésztésében. A hamuban található többi elemnek a tápláló-



60. kép.

Klein-féle steril tenyésztőedény.

oldatokból való elhagyása a növényre semminemű hátránnyal sem jár. Hogy pedig a felsorolt tíz elem szükséges és nélkülözhetetlen a növények táplálásában, azt éppen azzal bizonyítja be a vízkultúra, hogy egyik-másik elhagyásával a növény nem tenyészik rendesen, úgyhogy a növények táplálására szolgáló minden oldatnak vagy talajnak a felsoroltakat mind tartalmaznia kell, a szén kivételével.

A növény testének szerves anyagai csak akkor fejlődhetnek, gyarapodhatnak, ha a felsorolt elemek a növény testében okvetlenül megvannak. Hiányozzék akár a kálium, akár a fosfor, a növény növekedése okvetlenül megakad. Megpróbálták



a nitrogén elhagyását is, amit annál is inkább elhagyhatónak tartottak, mert hiszen a levegőben bőven van meg és onnan éppen úgy felvehetné a növény, mint a széndioxydot (l. 61. kép). A tapasztalat azonban ezt a feltevést nem igazolta, sőt ellenkezőleg bebizonyította azt, hogy a növény a szükséges nitrogén összes mennyiségét a talajból nyeri és pedig leginkább nitrátok



61. kép.

A tengeri vizes oldatokban való tenyésztésének eredményei: 1. desztillált vízben; Sachs-féle táplálóoldatban: 2. kálium nélkül; 3. calciumsó nélkül; 4. nitrogén nélkül; 5. phosphorsav nélkül; 6. magnézium nélkül; 7. vas nélkül; 8. teljes Sachs-féle oldatban. Errera és Laurent után.

alakjában, de ammónia alakjában is, ellenben a gombák és baktériumok még más alakban is felveszik.

A felsorolt elemek közül a táplálóoldatokba a vasból fellette kevés mennyiséget kell tenni, de ez a mennyiség feltétlenül szükséges a növény tenyésztésére. Ha a tenyésztőoldatból a vasat elhagyjuk és úgy tenyésztjük benne pl. a kukoricát vagy a napraforgót, akkor csakhamar bizonyos eltérést fogunk a ren-



des tenyésztéstől tapasztalni. Kezdetben ugyan a növény elég erős, zöld és jó fejlettségű lesz a magból magával hozott vastól. A vas hiánya folytán azonban csakhamar változás áll be a kis növényke állapotában, amely lassanként következve be, végre mégis beteg külsővel ruházza fel a növénykét. A fejlődő új levélkéik nem zöldek többé, de halványak és csakhamar egészen sárgásfehérek. A kertészkedők és a növénytenyésztők is ismerik ezt a természetben elég gyakran feltűnő jelenséget, amely a chlorózis-nak, a sápadtságnak egyik neme. Az ilyen chlorotikus növény különben nem mutat a normálistól lényeges eltérést, de azért a chlorotikus növény nem tenyészik normálisan, csakhamar alább hagy növekedésében, satnyul és végre elpusztul.

Satnyulását azonban meg tudjuk akasztani, sápadt színét meg tudjuk szüntetni, ha a táplálóoldatba vagy a talajba kevés vasat helyezünk megfelelő alakban, tehát oldva. Ezután csakhamar ismét zöldülni kezd a növény és sápadtsága egészen eltűnik.

A chlorózisnak ezt a nemét tehát mint betegséget nagyon könnyű meggyógyítani, sőt lehetséges a gyógyítást a növénynek csak egyes részein is alkalmazni. A chlorotikus növény egyes leveleit megkenve vasoldatba mártott ecsettel, a levélnek vasoldattal bekenett része csakhamar zöldülni kezd, végre egészen megzöldül. Ezzel egyúttal a vasnak a növény tenyésztésére való szükségességét is bebizonyítottuk.

Hogy a vízkultúra mily nagyjelentőségű, már az eddig ismertett eredményekből is kitetszik, pedig a növények táplálkozásának más egyéb sajátosságairól is felvilágosítást tud adni a vízkultúra. Ilyen sajátosság még az is, hogy az oldatoknak, amelyekben a növényeket tenyésztjük, nem szabad nagyon töménységeknek lenniök, nem szabad az ásványi anyagokat nagy mennyiségben tartalmazniök. A közölt táplálóoldatokból is kitűnik, hogy azok töménysége mily csekély, hiszen a legtöbb 0.2—0.3 %-ban tartalmazza csak a felsorolt sókat.

Az alsóbbrendű növények, nevezetesen moszatok, gombák és baktériumok tenyésztése különben még jóval hígabb oldatokat kíván meg. Minthogy pedig testük kis térfogatának megfelelően



már a táplálóanyagok nagyon kis mennyisége iránt is érzékenyek, azért különösen ügyelni kell a táplálóoldatban alkalmazott sók tisztaságára. Pontos tudományos értékű kísérleteknél már az üvegedények oldhatóságának számba nem vétele is téves eredményt adhat.

A baktériumok és gombák számára az ő különleges életviszonyaiknak megfelelő táplálóanyagokat kell juttatnunk, így táplálótalajaiknak megfelelő mennyiségű organikus anyagot kell tartalmazniuk, mégpedig elsősorban szénhidrátokat, azután zsírokat, peptont és fehérjéket. Pfeffer szerint a baktérium- és gombatenyésztésekben a szerves anyagok hatóértéke a következő: 1. cukrok, 2. pepton, 3. chinasav, 4. borkősav, 5. citromsav, 6. asparagin, 7. ecetsav, 8. tejsav, 9. aethylalkohol, 10. benzoésav, 11. propylamin, 12. methylamin, 13. phenol és 14. hangyasav.

A baktériumok tenyésztése általában ágar-ágarból és gelatinából készült, rendszerint húsleves kivonattal elegyített táplálótalajokban történik, amelyekhez tojásfehérjét és peptont szoktak adni. Ezenkívül a különböző fiziológiai funkciókat végző baktériumok tenyésztésekor még különleges táplálótalajokkal is dolgozunk. Így pl. nitrifikáló baktériumok tenyésztésekor gondoskodunk nitrátok hozzáadásáról, denitrifikáló baktériumok esetében nitrátok jelenlétéről; ha kén- vagy vassbaktériumokkal dolgozunk, a táplálótalajba megfelelő kénes vagy vasas anyagokat adunk és a többi különleges élettani funkciót végző baktériumcsoportok tenyésztésekor az egyes fajoknak megfelelően igyekszünk olyan táplálóoldatot összeállítani, amely az illető baktérium életfeltételeinek legjobban megfelel. Általában ugyanez az eset áll a gombákra is, azért pl., ha különböző erjedést előidéző gombákkal dolgozunk, mindig megfelelő táplálóoldataikat nyújtjuk nekik.

A baktériumokat és gombákat táplálótalajaik szerint a következő csoportokra oszthatjuk fel:

1. Nitrogénszervezetek, amelyek a levegő N-jét minden más N-t tartalmazó anyaggal szemben előnyben részesítik.
2. Nitrátszervezetek különösen a salétromsav különböző sóival tenyésznek kitünően, de más vegyületeket is felhasználnak. Idetartoznak a gombák közül a *Cladosporium herbarum*, *Alternaria*



tenuis, a különböző Mucor-félék, Aspergillaceák, Monilia candida, a baktériumok közül a Faeces baktériumok, a Bact. pyocyaneum, Bact. fluorescens és mások.

3. Nitrítszervezetek, csaknem az összes gombák, amelyek a nitrátokat asszimilálják, a nitrítet is fel tudják használni. Az oldatnak alkalikus reakciójának kell lennie, miután a szabad salétromsav mérgezőleg hat.

4. Ammoniákszervezetek, ezek közül sok nitrátok jelenlétében is kifejlődik, azonban ammoniák jelenlétében sokkal jobban tenyésznek. Idetartoznak pl. az Eurotiosis, sok erjesztő gomba, a Bacillus subtilis, Bact. coli, Bact. paratyphi B., Polytoma stb.

5. Amidoszervezetek, ilyenek a Bact. paratyphi A., Bact. typhi, Cilomonas, Rhizopus oryzae, amelyek asparagin jelenlétében jobban tenyésznek, mint  $\text{NH}_3$ -al.

6. Peptonszervezetek, ezek asparagin, vagy ammónia oldatban alig növekednek, sőt a fehérjék sem pótolják a peptont. Ilyenek a Bact. anthracis, Bact. proteus, a tejsavbaktériumok, Astasia stb.

7. Fehérjeszervezetek, ilyenek pl. a Micrococcus gonorrhoeae, a Bact. diphtheriae, ezek a fehérje jelenlétét megkívánják, peptonon vagy más N-tartalmú táplálótalajban nem növekednek. A természetben mint paraziták is előfordulnak és szorosan vett értelemben tulajdonképpen nem is tartoznak ide.

#### *A táplálósók elemeinek viszonylagos mennyisége.*

A felsorolt tíz elem: a C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg és a Fe — amint már ismételtén hangsúlyoztuk — a zöld növények tenyésztéséhez feltétlenül szükségesek.

Ellenben a gombák Molisch szerint kilenc elemmel is megelégednek, mert csak egy földfém szükségesnek, nevezetesen calciumot vagy magnéziumot. A vasat azonban még a chlorophyll nélküli gombák sem nélkülözhetik.

Az említett tíz elem nélkül a zöld növények maradandó, a termés éréséig tartó életet nem élhetnek.

Azonban más elemek is lehetnek a növény tenyésztésének hasznára, anélkül azonban, hogy nélkülözhetetlenek lennének. Nevezetesen ezek közé sorolható a chlór, a silícium és a nátrium, amelyek bizonyos növények jó és helyes fejlődésére szükségesek, de magára a növény életére nem nélkülözhetetlenek. Így pl. a tatárka jobban tenyészik, ha a talajban chlórtartalmú vegyületek vannak, sőt Nobbe szerint tenyésztéséhez a chlór okvetle-



nül szükséges is. A silícium pedig sok növény bizonyos fokú ellenállásának fejlesztésére szükséges, így a zsurlókra is.

A nátrium pedig, amely sok növényben chlórral együtt nagy mennyiségben van meg, bizonyos körülmények között némiképen a káliumot pótolhatja, anélkül azonban, hogy általában nélkülözhetlen, vagy csak szükséges volna és anélkül, hogy a káliumot egészen nélkülözhetővé tenné.

Az oldatokban foglalt hamualkotórészek mennyiségét jelentékenynek kell tartanunk a növény szükségletéhez képest. Ugyanis a növény a töményebb oldatokból sem vesz fel több sót, mint a hígabb oldatból, sőt a telített oldatból általában a víz felvétele aránylag nagyobb, míg a hígabb oldatból főképpen a sók felvétele jelentékenyebb. A nagyon tömény oldatban a növények elpusztulnak.

Amint azonban szükséges, hogy a felsorolt nélkülözhetlen elemek közül a szén kivételével valamennyi meglegyen az oldatban, éppen úgy szükséges, hogy e sók mennyisége bizonyos arányban álljon egymáshoz. Igaz, hogy ez az arány a különböző növények egyénisége szerint változik, de azután minden egyes növényre nézve jóformán állandó. Hiába helyezünk tehát az oldatba az egyik anyagból jóval többet, mint a másikból, a növény az egyéniségének megfelelő mennyiségnél többet nem vesz magába, csak éppen annyit, amennyit a többi elemmel arányban felvehet. Az oldatban több magnézium lehet, mint kálium és azért mégis többet vesz fel a növény a káliumból és kevesebbet a magnéziumból. Vagyis a növény a különböző elemeknek a maga szükségletének megfelelő mennyiségét keresi és csak azt veszi fel. A növényeknek ez a tulajdonsága, a táplálóanyagokat illető mennyiségi kiválasztási képessége, életükre nagyfotosszerű és sok jelenséget magyaráz meg. Elsősorban is meg tudjuk magyarázni azt, hogy miért képes ugyanaz a növény a különböző összetételű oldatokban, illetőleg talajokban megélni és jól tenyészni. Egyúttal azonban meg tudjuk érteni azt is, hogy ugyanazon talajon nőtt különböző növények miért tartalmaznak különböző mennyiségű hamualkotórészeket.

Az egyes növények hamuja legtöbb esetben a növények egyéniségének megfelelő arányban tartalmazza főképpen a szük-



séges elemeket. E szerint a növény által magába vett tápláléknak a szükséges elemeket megfelelő arányban kell tartalmaznia, vagy pedig abban az egyes elemeket olyan mennyiségben, hogy a növény kiválasztó képességénél fogva a szükséges elemeket a neki megfelelő arányban felvehesse. És ha valamely elemből több is van a talajban, azért ebből a növény csak olyan mennyiséget fog magába venni, mint amely mennyiség megfelel azon elem mennyiségének, amely a táplálótalajban a legkisebb mennyiségben van meg; tehát a szükséges elemek viszonylagos mennyiségét az az elem szabja meg, amelyből a legkevesebb van a talajban; ez szabja meg ugyanis a többi elemek aránymértékének megfelelő mennyiségét is. A növények táplálkozásában mutatkozó ezt a jelenséget éppen ezért a minimum törvényének nevezték el.

E mellett a kiválasztó képesség mellett azonban nem képesek a növények teljesen elzárkózni az oldatban, illetőleg a talajban lévő más, nélkülözhető elemek alkotta vegyületek felvételétől, ha azok olyan alakban vannak meg az oldatban, amely a felvételre alkalmas, nevezetesen, ha azok vízben oldhatók, mert a vízbeli tenyésztés tanúsága szerint a növény csakis a vízben oldott anyagokat veszi magába, de viszont a vízben oldott anyagok legalább kis mennyiségének felvételét nem tagadhatja meg. Ez az oka annak, hogy a növény oly sokféle tenyésztésére nélkülözhető elemet kénytelen testébe venni, de ebben is szabályozólag hat közre a felveendő anyagok mennyiségét meghatározó kiválasztási képessége.

Erre nézve igen nevezetes példákat találunk a növények között. A tengeri növények, különösen a moszatok, pl. a *Fucus*-ok, jöllehet a tenger a konyhasóból, a nátriumchloridból 3%-nyit tartalmaz, mégis keveset vesznek fel testükbe, ellenben a kálium-, calcium- és magnéziumsókból — amelyeket a tenger csak nagyon kis mennyiségben tartalmaz — testük felépítésére jelentékeny mennyiséget használnak fel. Ennek a három elemnek felvételét érthetővé teszi még az a körülmény, hogy mind a három a nélkülözhetetlenek sorába tartozik. Kevésbé érthető és maig is elfogadható magyarázat nélkül áll ezeknek a moszatoknak az a tulajdonsága, hogy a tenger vizében alig kimutat-



ható mennyiségben előforduló jódot oly nagy mennyiségben vesz fel, hogy régebben kizárólag testük hamujából állították elő a jódot.

Vannak azonban növények, amelyek a többiektől eltérően a chlórral, illetőleg a nátriummal szemben eltérően viselkednek. Ezek az úgynevezett halophyta vagy sóstalajú növények, amelyek 2—3% konyhasót tartalmazó talajon is jól tenyésznek, jóllehet a többi szárazföldi növény rendszerint már jóval kisebb konyhasóttartalom mellett is elpusztul. Ezek a növények sajátosságos külsejük által is elütnek a többi növénytől, nevezetesen pozsgások, leveleik, ha kifejlődnek, húsosak, vastagok vagy aprók és bőrneműek, többnyire kopaszok. Ilyen pl. a *Salicornia herbacea*, amely a konyhasót tartalmazó talajon jól tenyészik és a talaj nátriumchlorid vegyületéből is jelentékeny mennyiséget vesz magába. Ez a jelenség annak bizonyossága, hogy ezek a növények a nátriumchlorid nagyobb-mennyiségű mérgező hatásának ellen tudnak állani, sőt ezt az anyagot jól fel is tudják használni.

Különben a növények egyáltalában nem kedvelik azt a két elemet, amelyből a konyhasó áll, nevezetesen a nátriumot és a chlórt. Mint a hamuelemzések táblázatából kitűnik, mindkettőből alig van valami a felsorolt növények hamujában. Ezt a jelenséget sokan kapcsolatba hozták a növényevő állatoknak a konyhasó iránti vágyával; ugyanis a növényekkel való táplálkozás útján megkapják az állatok a testük felépítésére szükséges valamennyi anyagot kellő mennyiségben, csak a nátriumot és a chlórt nem, ezt a hiányt pótlendő, fordulnak a konyhasó felé.

A talajban mindenütt bőven, igaz, hogy vízben oldhatlan alakban, előforduló alumíniumot sem kedvelik a növények, vagy nem képesek magukba venni és valóban csakis kivételképen található alumínium a növények hamujában. Állítólag a korpafüvek szárában és a boggyófélek boggyóiban mutattak ki alumíniumot tartalmazó vegyületet (ecetsavas, illetőleg borkősavas alumíniumot).

Különben a nélkülözhető hamualkotórészek még hasznára is válhatnak a növényeknek, amennyiben a nélkülözhetetlen alkotó-



részeket általános sajátságaikban helyettesítik, így pl. mint lúgok a savakat közömbösítik és így a nélkülözhetetlen anyagok teljesen feladatuknak megfelelő módon használódhatnak fel.

Ilyenféle helyettesítésre, illetőleg a káros hatások ellensúlyozására a nélkülözhetetlen táplálóanyagok, illetőleg elemek sorában is akadunk. Nevezetesen már a múlt század nyolcvanas éveiben mutattak rá, hogy a virágos növények a Knop-féle táplálóoldatban calcium nélkül hamarabb pusztulnak el, ha ebben az oldatban magnéziumsók vannak, mint akkor, ha a calciumon kívül a magnéziumsó is hiányzik. Ebben az esetben tehát calcium nélkül a magnéziumsó méregként hat. Azt a jelenséget, amikor valamelyik elem jelenléte a másíknak mérgező hatását megakadályozza, a n t a g o n i z m u s - nak nevezzük.

Ehhez hasonló mérgező hatást más elemek is gyakorolhatnak, így pl. calciumnélküli vizes kultúrában a salétromsavas kálium és a káliumhydrophosphát ( $\text{KNO}_3 + \text{KH}_2\text{PO}_4$ )<sup>1</sup> beteggá teszik a növényeket, amely betegség azonban elmúlik, ha az oldathoz calciumsót adunk. Loew szerint a sósavas a calciumnélküli oldatokban szintén mérgező hatású. A calciumnak ezt a sajátos szerepét tanulmányozva, Loew még a természetes talajokban is nagyon fontosnak tartja a mész és a magnézium mennyisége közötti viszonyt. A  $\frac{\text{CaO}}{\text{MgO}}$  hányadost nevezi azután m é s z t é n y e z ő n e k, amely az egyes növények igényei szerint különböző. A mésznek ezt a szerepét sokan kétséggel fogadták. Az erre vonatkozó különböző vizsgálatokból azonban a növények hamualkotórészeire nézve kétségkívül megállapították, hogy a hamualkotórészek között a növényben a kölcsönös vonatkozásoknak egész sora áll fenn és hogy a hamualkotórészek egyikének elmaradása következtében a növényben az alkotórészek között új egyensúlyi helyzet áll elő, amely majd hasznára, majd kárára van a növénynek. Kétségen kívül áll az is, hogy vannak anyagok, amelyek bizonyos meghatározott viszonyok között nélkülözhetők, ellenben más eltérő viszonyok között nélkülözhetetlenek.

Végül a táplálóanyagoknak még egy sajátosságát emeljük ki, nevezetesen azt, hogy némely anyag jelenléte más anyagok-



nak felvételére élénkítőleg, előmozdítólag, mintegy étvágygerjesztőleg hat; pl. a mészsók előmozdítják a kálium- és ammóniasók felvételét. De más tekintetben is élénkítőleg hatnak még a nélkülözhető hamualkotórészek is: nevezetesen azt tapasztalták, hogy a gombák, sőt élősködő apró állatok ellen védelmül használt rézvegyületekkel való permetezés által a rézvegyülettel érintkező növényrészek élénkebben, erőteljesebben növekednek és zöldebb külsőt nyernek. Pedig a használt rézsulfát igen erős mérge a növényeknek, hiszen a *Spirogyra* moszatot és a borsót is megöli a vízkultúrában lévő rézsulfát 1 : 25,000.000 hígításban is. Ilyen izgató anyagok a rézsulfáton kívül még gombatenyészetekben a  $\text{ZnSO}_4$ , a  $\text{HgCl}_2$ , azután moszatoknál a  $\text{K}_2\text{AsO}_3$  és  $\text{LiNO}_3$ . Természetesen mindezek csak kis koncentráció mellett hatnak élénkítőleg, miután nagyobb koncentráció mellett mérgezőleg hatnak. A szerves anyagok közül a morphin és az amygdalin szintén mint ingeranyagok szerepelhetnek, különösen gombatenyészetekben. Hogy most már ezeket az anyagokat táplálóanyagoknak vagy stimulálóanyagoknak tekintjük-e, úgy idevonatkozólag elfogadhatjuk Pringsheim következő megállapítását: Ha valamilyen táplálóanyag mennyiségbeli adagolásának megkétszerezése a termés mennyiségét 1/3-al emeli, úgy ezt táplálóanyagnak minősíthetjük, ha pedig a termésemelés legfeljebb 1/7 résznyi, akkor stimuláló vagy izgató anyagokról szólhatunk. Így pl. a vas a gombák számára nem stimuláló anyag, hanem táplálóanyag.

*Az erdő évi ásványi táplálóanyag szükséglete és annak fedezete.*

Ha az erdőt alkotó fának a téregységre vonatkozó évi növekedését választékok szerint (lomb, ágfa, törzsfa vagy faderék, tuskó és gyökérfa héjastól) ismerjük, akkor az előbbieik alapján az erdő évi termésének (fa-, héj- és lombtermésének) hamutartalmát, vagyis évi ásványi táplálóanyagok szükségletét megközelítőleg kiszámíthatjuk.

E b e r m e y e r - nek a bajor kísérleti erdőkben gyűjtött adatai és saját vegyelemzése alapján a bükk-, lúcfenyő- és erdeifenyőerdők szükséglete ásványi alkotórészekben évenként és hektáronként a következő:



Erdei termény	Az erdő évi termése átlagban tartalmaz									
	Összes tisztá hamu	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> és Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cl.
	hektáronként kilogramm									
I. Bükkszálerdőben 120 éves vágásforduló mellett:										
Hasáb és tuskófa	15'65	2'60	0'61	7'83	1'99	0'10	1'19	0'09	1'23	0'01
Dorongfa	6'36	0'97	0'13	2'92	1'03	0'10	0'74	0'04	0'43	—
Rőzsafa	7'59	1'08	0'17	3'67	0'83	0'05	0'94	0'09	0'75	0'01
Összesen az évi fatermésben	29'60	4'65	0'91	14'42	3'85	0'25	2'87	0'22	2'41	0'01
Összesen az évi alommennyiségben	185'54	9'87	1'99	81'92	12'22	5'11	10'45	3'62	60.36	—
Az ásványi anya- gok összege	215'14	14'52	2'90	96.34	16'07	5'36	13'32	3'84	62'77	0'02
II. Lúcfenyőerdőben 120 éves vágásforduló mellett:										
Hasáb és tuskófa	14'31	2'10	0'29	6'60	1'26	3'12	0'52	0'42	?	—
Dorongfa	1'36	0'31	0'02	0'52	0'13	0'28	0'09	0'01	?	—
Rőzsafa	6'89	1'65	0'17	2'03	0'64	1'27	0'84	0'29	?	—
Összesen az évi fatermésben	22'56	4'06	0'48	9'15	2'03	4'67	1'45	0'72	—	—
Összesen az évi alommennyiségben	135'92	4'82	1'68	60'94	6'95	3'42	6'41	2'10	49'60	—
Az ásványi anya- gok összege	158'48	8'88	2'16	70'09	8'98	8'09	7'86	2'82	49'60	—
III. Erdeifenyőerdőben 100 éves vágásforduló mellett:										
Hasáb és tuskófa	11'12	1'68	0'06	6'92	1'16	0'08	0'70	0'15	0'37	—
Dorongfa	1'42	0'24	0'04	0'82	0'14	—	0'10	0'03	0'05	—
Rőzsafa	4'00	0'68	0'11	2'30	0'40	0'03	0'27	0'08	0'13	—
Összesen az évi fatermésben	16'54	2'60	0'21	10'04	1'70	0'11	1'07	0'26	0'55	—
Összesen az évi alommennyiségben	46'52	4'84	2'04	18'87	4'80	4'07	3'68	1'69	6'53	—
Az ásványi anya- gok összege	63'06	7'44	2'25	28'91	6.50	4'18	4'75	1'95	7'08	—

Schröder pedig a bükk, jegenyefenyő és erdeifenyő, valamint a lúcfenyő évi fatermése által a talajból egy hektáron elvont hamualkotórészek mennyiségét kilogrammokban a következő kimutatásokban állítja össze:



Erdei termény	Összes ásványi anyag	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
<b>I. Bükk állományban 120 éves vágásforduló mellett:</b>							
Az évi fatermés által, beszámítva az előhasz- nálatokat	43'46	7'16	22'25	5'75	4'23	0'33	3'74
Az alomképzés által	178'44	9'87	81'92	12'22	10'45	3'62	60'36
Összesen	221'90	17'03	104'17	17'97	14'68	3'95	64'10
<b>II. Jegenyefenyő állományban 90 éves vágásforduló mellett:</b>							
Az évi fatermés által, beszámítva az előhasz- nálatokat	21'57	9'26	4'12	2'81	2'53	1'30	1'55
Az alomképzés által	116'51	8'63	79'64	8'27	9'18	3'05	7'74
Összesen	138'08	17'89	83'76	11'08	11'71	4'35	9'29
<b>III. Lúcfenyő állományban 100 éves vágásforduló mellett:</b>							
Az évi fatermés által, beszámítva az előhasz- nálatokat	23'65	4'08	10'24	1'98	1'63	0'68	5'04*)
Az alomképzés által	129'82	4'82	60'94	6'95	6'41	2'10	49'60
Összesen	153'47	8'90	71'18	8'93	8'04	2'78	54'64
<b>IV. Erdeifenyő állományban 80 éves vágásforduló mellett:</b>							
Az évi fatermés által, beszámítva az előhasz- nálatokat	13'08	2'09	7'68	1'44	1'12	0'22	0'53
Az alomképzés által	40'41	4'84	18'87	4'80	3'68	1'69	6'53
Összesen	53'49	6'93	26'55	6'24	4'80	1'91	7'06

Összehasonlítás céljából közöljük némely mezőgazdasági növény hamualkotórészbeli szükségletét évenként és hektáronként:

A növény neve	Összes hamu	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
k i l o g r a m m							
Szalmás gabonák	203	32	16	10	24	4	112
Hüvelyesek	194	50	50	12	30	10	10
Repce	234	58	44	16	48	30	10
Burgonya	260	120	40	20	36	16	9
Cukorrépa	360	184	40	27	32	12	16
Réti széna	330	80	50	20	30	12	120

\*) Befoglalva a rőzsefát és tüleveleket.



A már ismertetett, valamint Henry és Weber által közölt adatokból Ebermeyer néhány szokásosabb vágásfordulóra és üzemmódra nézve az ásványi anyagok évi szükségletét hektáronként következőképen állította össze:

F a f a j	Összes ásványi anyag	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
B ü k k:							
120 éves vágásford. mellett	30·37	5·90	14·47	3·58	2·59	0·27	2·89
50 " " "	23·50	4·90	11·59	2·00	1·77	0·42	1·87
T ö l g y:							
20 éves vágásford. mellett	56·7	9·4	31·9	5·9	6·3	1·2	0·8
50 " " "	27·28	3·05	20·81	0·96	1·08	0·22	0·37
J e g e n y e f e n y ő:							
120 éves vágásford. mellett	19·25	7·45	4·60	2·67	1·85	1·05	1·00
L ú c f e n y ő:							
120 éves vágásford. mellett	23·10	4·07	9·69	2·00	1·54	0·70	5·04
E r d e i f e n y ő:							
100 éves vágásford. mellett	14·81	2·35	8·86	1·57	1·09	0·24	0·54
N y í r:							
50 éves vágásford. mellett.	12·86	2·46	4·03	1·79	1·39	0·12	0·90

Az eddig ismeretes vegyelemzések nyomán Ebermeyer a következő lemenő sorokat állította össze az egyes fajoknak az ásványi táplálóanyagok iránt való igénye szerint:

a) Káli szükséglet tekintetében	b) Phosphorsav tekintetében	c) Káli és phosphorsav tekintetében	d) Mész tekintetében	Összes ásványi tápláló anyagok tekintetében
juhar	köris	köris	mogyoró	mogyoró
köris	mogyoró	juhar	alma	alma
almafa	gyertyán	mogyoró	szil	szil
rezgőnyár	rezgőnyár	alma	rezgőnyár	rezgőnyár
mogyoró	almafa	rezgőnyár	gyertyán	juhar
tölgysarjerdő*)	juharfa	tölgysarjerdő*)	tölgysarjerdő*)	tölgysarjerdő*)
szil	tölgysarjerdő*)	szil	tölgyszálerdő	tölgyszálerdő
barkóca	szil	barkóca	juhar	gyertyán
jegenyefenyő	barkóca	jegenyefenyő	barkóca	köris
bükk	bükk	bükk	köris	barkóca
tölgyszálerdő	jegenyefenyő	gyertyán	bükk	bükk
gyertyán	tölgyszálerdő	tölgyszálerdő	lúcfenyő	lúcfenyő
vörösfenyő	vörösfenyő	vörösfenyő	vörösfenyő	jegenyefenyő
lúcfenyő	lúcfenyő	lúcfenyő	erdeifenyő	vörösfenyő
nyírfa	nyír	nyír	jegenyefenyő	erdeifenyő
erdeifenyő	erdeifenyő	erdeifenyő	nyír	nyír.

\*) Rövid vágásfordulással cserhántásra kezelve.



Igen figyelemreméltó, hogy e sorok közül az, amely a fa-fajoknak káli és phosphorsav szükségletét tünteti ki, majdnem teljesen megegyezik a gyakorlati erdőgazdáknak, az egyes fa-fajok talajigényessége felől tisztán tapasztalathból merített nézeteivel.

Ez részint abban leli magyarázatát, hogy a talajból felvett táplálóanyagok közül (a nitrogéntartalmuakkal együtt) éppen az említett ásványi anyag van legkorlátoltabb mennyiségben jelen és így a humuszban és agyagban szegény talajban ezek apadnak le leg hamarabb a kellő mennyiségen alul, míg a többi táplálóanyagokban, ú. m. mészből, magnéziumban és kovásvanban, vasban stb. a legtöbb erdei talaj bővelkedik. A korhadó anyag ugyanis épp annyi phosphorsavat és kálit tartalmaz és ad vissza a talajnak, mint azok a növényrészek, amelyekből keletkezett; az agyag pedig azon fontos tulajdonsággal bír, hogy képes a táplálóanyagokat magába felvenni, megkötni és sokkal inkább mint a homok megakadályozni azt, hogy az elszivárgó csapadékok feloldják és a talajból magukkal vigyék a forrásokba és a folyókba.

Az erdő által termelt fa felhasználása által tehát aránylag kevés ásványi anyagot von ki az ember a talajból, úgyhogy ha az erdőt az erdei alom szedésétől megkíméljük, legalább a szál-erdőnél a talajnak ásványi anyagok tekintetében való kimerülésétől rendes viszonyok között nem kell tartanunk, mivel tapasztalás szerint a talajban előforduló közettörmelék és az anyagközet, amelyen az erdőtalaj a legtöbb esetben fekszik, elmálása által bőven fedezi a fában elhordott ásványi anyagokat.

### A szén asszimilálása.

Asszimiláció alatt általában egy az összes élőlények számára azonos folyamatot értünk, nevezetesen azt, amikor ezek a nekik juttatott táplálóanyagokat testükbe felveszik és ott olyan anyagokká alakítják vagy hasonítják át, amely szervezetük különleges konstitúciójának megfelel. Ennélfogva asszimiláció alatt maguknál a növényeknél is többféle folyamatot értünk, eltekintve attól, hogy az állati szervezetben is folynak le asszimi-



lációs folyamatok, amikor ezek a szervezetek a nekik idegen szerves anyagot annak felvétele után átalakítják, illetőleg áthasonítják.

A növényeket azonban az állati szervezetektől egy a szén asszimilálásának nevezett élettani folyamat élesen elkülöníti, nevezetesen a növények egyedül képesek arra, hogy a levegő széndioxydjából a gyökerek által felvett, vízben oldott szerves táplálóanyagokból a leveleikben lévő zöld chlorophyll közreműködésével a nap hő- és fényenergiájának hatására széntartalmú szerves anyagokat alakíthassanak. Ezekből az asszimiláció folyamata alatt képződött szénhydrátokból alakítja azután a növény szerves vegyületeit, így elsősorban a fehérjéket, zsírokat, polysaccharidokat stb., amelyekből azután részben testét építi fel, részben pedig különböző életfolyamatainál mint energiaforrásokat használ fel.

Mielőtt a növények szénasszimilálásával foglalkozunk, a növények széntartalmáról és szénforrásáról szólunk.

#### *A növények széntartalma és a szén forrása.*

A növények szénasszimilációjának anyaga — amint mondtuk — a szén. Ez a szén a növényi test anyagában jelentékeny mennyiségben van meg, hiszen — amint az előzőekben kimutattuk — a növényi test száraz anyagának átlagosan 45%-a tiszta szén. Ez a mennyiség azonban nemcsak az egyes növényekben emelkedik jelentékenyen, hanem különösen nagy, ha a növények nagy tömegét vesszük szemügyre. Ebermeyer számításai szerint éghajlatunk alatt egy hektár erdő évente kb. 11.000 kg széndioxydot használ fel a törzsek fatestének gyarapítására és a levelek megépítésére. E szerint a számítás szerint Bajorország összes erdőterülete egy évben kb. 29.000 millió kg széndioxydot használ fel és kb. 21.000 millió kg oxygént szabadít fel, megtartva a megfelelő szén mennyiségét, tehát kb. 8000 millió kg szenet.

Magyarország erdőségeinek területe 15,767.369 katasztrális hold, vagyis kerekén 9 millió hektár volt. Ebermeyer fentebb közölt adatát véve alapul, a magyar állam volt erdőségei



998,153.300, kereken 1000 millió q széndioxydot használnak fel, miközben 730 millió q oxigén szabadul fel; e közben a fák kb. 30 millió tonna szenet használnak fel fatestük gyarapítására és leveleik megalkotására.

Még nagyobb számokat nyerünk, ha azt a mennyiséget vesszük tekintetbe, amelyet szántóföldjeink terményei lekötnek. Meyer A. kimutatta, hogy egy hektáron nyert aratási eredményben a szerves száraz anyag éghajlatunk alatt átlagosan 6700—7800 kg. A Német Birodalom összes szántóföldjeinek és rétjeinek évi aratása hozzávetőleg 13 millió tonna szenet tartalmaz, amely mennyiség csak 50 millió tonna széndioxyd felbontásából keletkezhetett.

Magyarország területén az 1906. évben a mezőgazdasági termények súlya hozzávetőleg 804 millió q volt; ebben a száraz anyag — éghajlatunk alatt 40%-ot véve alapul — 322 millió q, amelynek széntartalma, 45%-os kulcs szerint, 145 millió q, ami 530 millió q széndioxyd felbomlásából keletkezhetett.

Ezek a számok is kellő képet engednek alkotni arról az óriási szénmennyiségről, amely a növények munkája folytán földünkön szerves vegyületek alakjában raktározódik. Ennek az óriási mennyiségnek összegyűjtéséhez azonban tekintélyes számú szervezet és nagy erő volt szükséges, egyúttal azonban a forrásnak is, amelyből a növények a szenet merítik, bőségesen kellett tartalmaznia széndioxydot. Minthogy pedig ez a forrás — amint a kísérletek bizonyítják — csak a levegő lehetett, ebben kell a megfelelő mennyiségű széndioxydot keresnünk. A levegőben azonban nagyon kevés széndioxyd van. A levegő 100 térfogategységében van 20'93 térfogatszázalék oxigén, 79'04 térfogatszázalék nitrogén és csak 0'03 térfogatszázalék széndioxyd. Vagy ha a levegő 100 súlyrészét vesszük vizsgálat alá, úgy találunk benne 23'28 súlyrész oxigént, 76'67 súlyrész nitrogént és csak 0'05 súlyrész széndioxydot.

Ezek szerint a levegő 10.000 literében csak 3 liter széndioxyd van, vagy 10.000 kg.-jában csak 5 kg a széndioxyd. A 0'03 térfogatszázalék széndioxydtartalom felemelkedhetik egészen 0'06 térfogatrészre is, pl. a talaj közvetlen közelében, de a növények testét körülvevő levegő összességét tekintve, a való-



ságnak jobban megfelel a 0'03 térfogatszázalék, illetőleg a 0'05 súlyszázalék széndioxydtartalom.

Brown és Escombe újabb vizsgálatai szerint a talaj közelében (3—4 angol lábnyira — kb. 6'1 méternyre — a talaj felett) júliusban volt a levegőben 0'0271—0'0286 térfogatszázalék  $\text{CO}_2$ , télen volt a levegőben 0'0300—0'0323 térfogatszázalék  $\text{CO}_2$ , márciusban volt a levegőben 0'0362 térfogatszázalék  $\text{CO}_2$ .

A talaj közvetlen közelében a széndioxydtartalom 0'12—0'13 térfogatszázalékra emelkedhetik. Magában a talajban még több a széndioxyd, amint azt már előbb kimutattuk. Nagyon fontos még az is, hogy növényekkel borított területen nappal átlag 0'2—0'3 százalékkal több a széndioxyd, mint éjjel. Mind-ezeket és más eltéréseket is figyelembe véve, mégis 10.000 liter levegőben csak 3—3'3 liter széndioxydot lehet átlagnak tekinteni. Ez a széndioxydmennyiség 7 g-t nyom és ebben 2 g a tiszta szén.

Ebből a csekély mennyiségből kell a növényeknek összes szénszükségletüket fedezniök. Összehasonlítva azonban a levegőnek csekély széndioxydtartalmát az előbb számokban feltüntetett nagy mennyiségben felhasznált szénnel, méltán kételkedhetünk abban, hogy vajjon csakugyan a levegőből származik-e ez a nagy szénmennyiség? A növények nagy szénszükséglete és a levegő csekély széndioxydtartalma volt az oka annak, hogy Ingen-Houss elmés felfedezését, amely szerint a növények a levegőből is táplálkoznak, gyarapodnak, annak idején a tudós világ is kétkedéssel fogadta és hogy oly soká kellett Saussure-nek e felfogás helyessége mellett küzdenie, bár állítását mennyiségi mérésekkel is támogatta, amíg végre a kételyt eloszlathatták és ma már senki sem kételkedhetik állításuk igaz voltában.

Ha a fentebb közölt adatok szerint a levegő széndioxydtartalma csekélynek látszik is, azért ez a tartalom mégis jelentékeny a levegő nagy tömegében, hiszen Hansen szerint a föld összes levegőjében nem kevesebb mint 1'6 trillió liter széndioxyd van, Noll szerint pedig 3000 billió kg, amelyben 800 billió kg a szén. Ez az óriási mennyiség elégséges a növények szükségletének kielégítésére nemcsak a jelenkor néhány évé-



ben, hanem igen hosszú időben még akkor is, ha nem volnának meg a legkülönbözőbb források, amelyek a növények által a levgőtől elvont széndioxydmennyiség pótlására szolgálnak. Ezekből a forrásokból pedig szinte óriási mennyiségben jut a levegőbe széndioxyd és pedig a legkülönbözőbb folyamatok által. Hiszen az élő szervezetek, az állatok és a növények által felvett és lekötött legkisebb szénrészecske is bizonyos idő múltán ismét visszakerül valamely módon a levegőbe.

Az élő szervezetek által felvett szén ugyanis már az élő testből is nagy mennyiségben jut vissza a levegőbe. Az állatok és az emberek testüknek szükségletére a szén a növényekből szerzik, testükből azonban még életükben jelentékeny mennyiséget adnak át a levegőnek a lélekzéssel. Az ember csak a tüdővel való lélekzéssel naponta átlagosan  $450.000 \text{ cm}^3$  széndioxydot juttat a levegőbe, amely térfogatmennyiség 900 g-ot nyom és ebben a tiszta szén 245 g. Ez a csekélynek látszó mennyiség tekintélyessé lesz, ha az emberek számát tekintjük. A földön élő emberek számát 1500 millióra becsülik, akik körülbelül 1350 millió kg széndioxydot lehelnek ki naponként, amelyben a tiszta szén 368 millió kg. Eszerint tehát már az emberek lélekzése által is kellő pótlást nyer a növények által elhasznált széndioxyd mennyisége. Azonban még inkább pótolják ezt az állatok, amelyek jóval nagyobb mennyiségű szerves vegyületet bontanak fel és amelyeknek száma igazán megszámlálhatatlan. Hiszen csak a rovarok fajainak száma közel jár egy negyed millióhoz.

Ezzel azonban még nincsen kimerítve a szerves vegyületek bomlása és a széndioxyd levegőbe jutásának valamennyi módja. Az oxigén, amely az élő növényi test életfolyamatainak megtartásában fejt ki nagy munkát, az élő szervezetek elhalása után sem nyugszik és azoknak korhasztásában, rothasztásában élénken közreműködik olyanformán, hogy a bonyolult szerves vegyületeket mind egyszerűbbekre bontja. E munkája közben ráakad a szénre is, megalkotja vele ismét a széndioxydot, amely így újra visszajut a levegőbe.

Azonban nemcsak az élő szervezetek szállítják a levegőbe a széndioxydot, még a szervesetlen anyagokból is tekintélyes



mennyiség jut a levegőbe. A vulkánok munkája közben kiömlő gázok nagymennyiségű széndioxydot tartalmaznak, sőt vannak gázforrások is, amelyekből jelentékeny tömegű széndioxyd ömlik ki: ilyenek a Méregvölgy Jáva szigetén, A Kutyabarlang Nápoly mellett és a torjai Búdösbarlang hazánkban.

A széndioxyd schasem hiányzik a természetes vízből, sőt a legtöbb ásványvízben több-kevesebb kötött és szabad széndioxyd van. Az ivóvíz nem is ízletes, nem is jó, ha nem tartalmaz széndioxydot. A víz széndioxydtartalma teszi lehetővé, hogy a levegőtől elzárt és a vízben alámerülve élő növények is hozzájuthatnak táplálékukhoz. A természetes víz tartalmazta széndioxyd is előbb-utóbb a levegőbe jut.

Az emberi kultúra is hozzájárul a levegő széndioxyd tartalmának szaporításához, különösen az újabb időkben, amidőn az ipari tevékenység folytán fokozott mértékben használja fel az évezredek előtti növényzet által a levegőből felvett és lekötött szenet.

A tüzelőfa, de különösen a szén elégetésével tömérdek széndioxyd jut a levegőbe. Hiszen maga Budapest is tekintélyes mennyiséggel járul hozzá a levegő széndioxydtartalmának szaporításához. Ugyanis pl. az 1907. évben Budapest elégetett 2,703.527 q tüzelőfát, 139.046 q faszenet és 16,397.806 q kőszenet. A tüzelőfa súlyából leszámítva a vizet, marad 1,352.000 q száraz anyag, amelynek 45%-a, tehát 603.400 q tiszta szén, amely elégetve 2,230.800 q széndioxydot szolgáltat. A 139.046 q faszénből 509.830 q széndioxyd lesz. A 16,397.806 q kőszén elégetéséből 60,125.288 q széndioxyd alakul. Mindezeket összegezve kitűnik, hogy Budapest egymaga összesen 62,865.918 q széndioxyddal járult hozzá a levegő széndioxyd tartalmának szaporításához. Budapest gyáripára pedig még korántsem olyan fejlett, hogy az elhasznált kőszén mennyisége tekintélyes lehetne. Ehhez képest a német és még inkább az angol ipari városok szénfogyasztása óriási. Krupp híres gyárai naponként elégetnek Hansen szerint 4,693.375 kg szenet, amely mennyiség az évi 300 munkanapon összesen 1408 millió kg-nyi mennyiségre szaporodik. Ennek az elégéséből pedig 5,163 millió kg, vagyis kerek számban 50 millió q széndioxyd származik, amely jórészt mind a levegőbe jut.

Ha tehát ez az egyetlen német gyár 50 millió q széndioxydot juttat évenként a levegőbe, mily nagy lehet az a mennyiség, amelyet az angol gyárak kéményerdői szolgáltatnak? Credner adatai szerint évenként 460 millió kg szenet bányásznak, amely 1,686.666 millió kg széndioxyddá elégetve jut a levegőbe.

A vázoltakból világosan kitűnik az a körfolyamat, amelyen a szén, illetőleg a széndioxyd keresztül megy. A szén, amelyet



a növény a levegőből felvesz, az élő szervezet alkotó anyagává lesz, amelyből azután vagy kilehelés, vagy az élet megszüntével bomlás folytán ismét visszakerül a levegőbe. Ennek a folyamatnak pedig folytonosnak, szünetnélkülinek kell lennie. A növényeknek e nélkül a munkája nélkül megszűnnék a szerves vegyületeknek szaporodása földünkön, viszont azonban a szervezetek bomlása nélkül megszűnnék évezredek multával a forrás, amelyből a levegő széndioxydtartalma gyarapodik. A levegő széndioxydjának a szerves anyagok bomlásából való szükségzerű újraalakulása a szerves életnek egyik alapfeltétele.

#### *A széndioxyd felvétele.*

Hogy a növényeknek feltétlenül szükségük van a levegő széndioxydjára és enélkül táplálkozni nem tudnak, azt egy egyszerű kísérlettel be lehet mutatni.

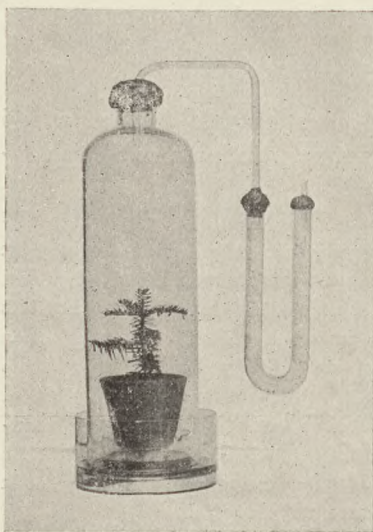
Egy virágcserepet megtöltünk kiizzított homokkal, valamely táplálódattal megöntözzük és valamely növény magjait vetjük bele; a magvak rövid idő alatt kicsíráznak. A virágcserepet azután a fiatal növényekkel együtt levegőtől jól elzárva tartjuk (l. 62. kép). A virágcserepre borított üvegharang szája a higannyal és felette vízzel megtöltött csésze fenekén áll; a virágcserep alatti csészében kálilug van és egy üveghasáb, rajta a virágcserep. A harang felső nyílásába erősített U-alakú csőben kálilúggal átitatott habkő darabocskák vannak. Az üvegharang alatti levegő széndioxyd tartalmát a kálilug leköti és miután a levegőből széndioxyd nem juthat be, a más forrásból származó széndioxyd csakhamar felhasználódik és a növény végre is néhány napi tengődés után elpusztul.

A szén asszimilálása szempontjából az élő szervezeteket most már két nagy csoportra osztjuk fel. Az egyik csoportba tartoznak azok, amelyek chlorophyllt tartalmaznak és így önálló asszimilálásra képesek, ezek az ú. n. *autotroph* szervezetek. A teljesség kedvéért már most megjegyezzük, hogy vannak olyan szervezetek is, amelyek chlorophyll nélkül is asszimilálják a szenet, ezek a nitrifikáló baktériumok, amelyek a nitriteknek nitrátokká való oxydálásával nyerik azt a hőenergiát, amely képesíti őket arra, hogy a sötétben is asszimiláljanak. A szén asszimilálásának lényege tehát — amint azt kifejtettük — abban áll, hogy chlorophyll jelenlétében a nap fény- és hőenergiájának hatására a levegő széndioxydjából és a vízben oldott szervesen sókból szerves vegyületek, mégpedig szénhydrátok keletkeznek.



### Az asszimiláció lefolyása.

Az asszimiláció teljes lefolyása kémiaiilag még tökéletesen nem ismeretes, az bizonyos, hogy a szénhidrátok a növényben a fotoszintézis hatására jönnek létre. Hogy a fotoszintézis alkalmával melyik az az első vegyület, amely a fény hatása és a chlorophyll közreműködésével a  $\text{CO}_2$ -os vízből képződik, arról igen élénk vita folyik. Liebig szerint a fotoszintézis első terméke az oxálsav,



62. kép.

A növényeknek széndioxid kizárásával való tenyésztésére szolgáló készülék. E.

ami ellen többek között leginkább az az ellenvetés szól, hogy igen nehezen képzelhető el a szénsavnak oxálsavvá való átalakulása miután ez az energetikai folyamat az energetikai potenciális csak igen kismérvű emelésével van összekapcsolva.

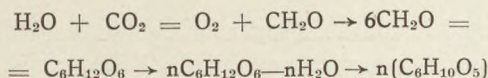
Sokkal valószínűbb azonban B a y e r elmélete, amelynek alapja az a feltevés, hogy az asszimilációnál első terméként a formalaldehid szerepel, amelynek kondenzációjával jönne létre a szőlőcukor. Ez az elmélet már 60 éves és vele szemben eddig egy ellentétes jelenséget sem sikerült kimutatni.

A formalaldehid keletkezésének feltevését nagyon megnehezítette az a körülmény, hogy ez a vegyület az erős növényi mérgek közé tartozik. Sok idevágó vizsgálat után újabban K l e i n - nek sikerült egy rendkívül ügyes kémiai eljárás segítségével magát a formalaldehidet is közvetlenül quantitative kimutatni a zöld növényekben (1925) és ezt követőleg 1926-ban kimutatta azután a formalaldehid jelenlétét, illetőleg képződését az ú. n. autotroph, tehát a  $\text{CO}_2$ -ot asszimilálni képes nitrát- és thioszulfát baktériumokban is.



Ügylátszik, hogy ez az átmenetileg fellépő vegyület a plazmában keletkezése után azonnal átalakul és kondenzálódik, mielőtt még mérgező hatása érvényesülni tudna. Klein vizsgálatainál különösen fontos, hogy neki pl. az autotroph baktériumoknál közel egyharmadát sikerült felfogni az elméletileg feltételezhető formalaldehyd mennyiségnek. Klein eljárásai és eredményei az eddigi legtöbbször qualitativ eredményekkel szemben végre quantitative mutatták ki a formalaldehyd átmeneti keletkezését a fotoszintézisnél. Legújabban (1928) Klein eredményeit is kétségbe vonták. A vita még nincs teljesen eldöntve.

Azok az ellenvetések, hogy a  $\text{CO}_2$ -nek formalaldehyddé való átalakulása az energetikai potenciálist túl magasra emelné és azért inkább a fotoszintézisnél hangyasav képződik, biológiai szempontból nem helytállóak, annál is inkább, miután akármi is az első elsődleges produktum, belőle az asszimiláció végterménye gyanánt cukor keletkezett, tehát a szénsavnak cukorra való átalakulásánál minden esetben megvan a nagy potenciális emelkedés. Általában az asszimiláció lefolyását a

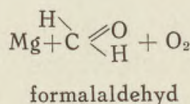
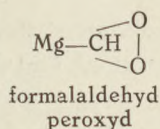
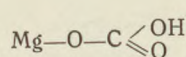


egyenletekkel jelzik. Azonban a valóságban ez jóval bonyolultabb folyamat, amelyre vonatkozólag álljon itt röviden a következő:

Hogy a széndioxyd milyen módon kapcsolódik be az asszimilációba, az még kellőleg tisztázva nincsen. Willstätter és Stoll szerint a zöld növényben először  $\text{H}_2\text{CO}_3$  képződik, amely a chlorophyll magnéziumához kapcsolódik ( $\text{Mg}-\text{O}-\text{C} \begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$ )

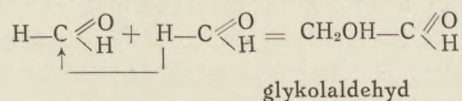
A kapcsolódás után a fény hatása alatt a szénsavmolekulában a vegyértékűségek eltolódnak, miáltal az atomok átcsoportosulnak, ami kétféle módon történhet, vagy perhangyasav, vagy pedig formalaldehyd peroxyd keletkezése által. Az utóbbi esetben a formalaldehyd keletkezése a következő séma szerint jöhet létre:



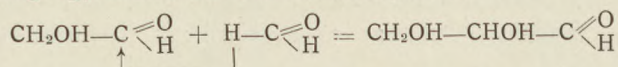


Az oxygen leválása azonban valószínűleg úgy történik, hogy kétszer válik le egy atom oxygen. Ennél a kémiai reakciónál a chlorophyll mint szenibilizátor szerepel.

Ha az eddigi eredmények után valóban feltételezzük, hogy a fotoszintézis első terméke a formalaldehyd, akkor a szénhydrátok további keletkezése már könnyen megérthető. Tudjuk, hogy formalaldehyd kondenzációjánál alkaliák segítségével egy hexózból álló cukorkeverék ( $\alpha$   $\beta$  acróz) keletkezik és ez a kondenzáció nem más, mint aldol kondenzáció, amennyiben két molekula formalaldehyd glykolaldehyddé alakul át:



amely még egy molekula formalaldehyddel:

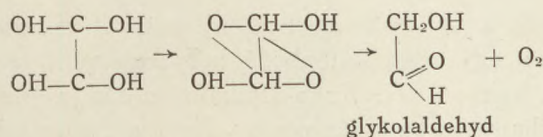


glyceraldehydet ad. A glyceraldehydből pedig a hexózek keletkezését már könnyen elképzelhetjük, amióta Fischer glyceraldehyd és dioxyaceton alkálikus kondenzációjával  $\alpha$  acrózt, *dl* fruktózt állított elő.

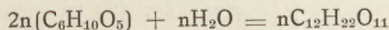
Hogy a növényben a hexózek valóban aldehidek kondenzációjával jöttek létre, azt bizonyítja még az a megfigyelés is, hogy minden különösebb energia elhasználása nélkül a glykolaldehyd gyenge lúgos oldatban hexózzá alakul át.

Hogy azonban az optikailag nem aktív formalaldehydből milyen módon jön létre a cukrokban az aszimmetrikus carbon atom, azt kellőleg megmagyarázni nem sikerült, miután a mesterségesen előállított, optikailag aktív vegyületeket csakis optikailag aktív vegyületekből sikerült előállítani. Legújabban az aszimmetrikus carbon atom létrejöttét úgy magyarázzák, hogy nem a formalaldehyd molekulák kondenzálódnak, hanem enzimek segítségével a CHOH vagy  $\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{OH} \\ \searrow \text{OH} \end{array}$  csoportok kapcsolódnak egymáshoz:

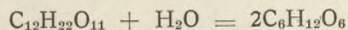




A fotoszintézisnél keletkezett hexózok vagy polysaccharidokká (keményítő, cellulóz, inulin), vagy disaccharidokká (nádcukor, maltóz) alakulnak át. A polysaccharidák oldhatatlan tartalék anyagok, míg a nádcukor és a maltóz szintén tartalék anyagot képeznek, amelyek a sejt nedvében feloldatnak és pl. a nádcukor csak igen nehezen diffundál át a plazma falán. Ezért fiziológiai szempontból az anyagcsere számára csak a hexózok jöhetnek számításba, miután ezek a plazma falán elég jól átdiffundálnak. Az asszimiláció legelső biztosan kimutatható termékei tehát a levelekben: a cukrok és a keményítő. Ez utóbbi rendszeren gyorsan átalakul a diasztáz hatására a



egyenlet szerint maltózzá, amely azután egy molekula víz felvételével



két molekula glikollá alakul át, amely most már vándorlásra képes. A reakciót a maltáz enzim idézi elő. Rendszerint nappal, amikor a levelek erősen asszimilálnak, sok a keményítő, amely azután éjjel cukorrá alakul át és elvándorol.

A zöld részekben keletkezett egyszerű cukrok és polysaccharidák tehát nem sokáig maradnak a levélben, hanem elvándorolnak onnan és a szénhydrátok keletkezése és elvándorlása között bizonyos egyensúly uralkodik. Újabb megfigyelések azt mutatják, hogy a zöld levelekben különböző évszakokban más és más szénhydrátok találhatók. Így kitűnt, hogy korán nyáron a levelekben polysaccharidák fordulnak elő, viszont őszkor, levélhulláskor a levelekben igen sok a monosaccharid. Egy éves növényekben is a vegetáció befejezése után a zöld levelekben igen sok egyszerű cukrot mutattak ki.

Az asszimilációnál keletkezett szénhydrátokat a növény részben elégeti a lélekzésnél és így a növényvilág a kellő energiára tesz szert, részben más vegyületeket (fehérjék, zsírok)



képez belőlük s így építi a fiatal új sejteket és szöveteket és végül belőlük egy részt különböző helyeken mint tartalék táplálóanyagot halmoz fel. Ez a felhalmozódás a rhizomákban, gumókban, hagymákban, fás növényeknél a faparenchyma és a bélsugár élő sejtjeiben történik, azután nagy a tartalék szénhydrát felhalmozódás a növények magvaiban. Azokon a helyeken, ahol a tartalék szénhydrátok felhalmozódnak a vegetáció szünetelése alatt, a szénhydrátok tömege majdnem kizárólag polysaccharidákból áll. Mihelyt azonban megmozdul a vegetáció és a különböző hidrolizáló fermentek a polysaccharidákból egyszerűbb cukrokat képeznek, az endosperma a magvakban s azután a többi tartalék raktárak kiürülnek. A magvak csírázásánál nemcsak a magban lévő keményítő, hanem néha a sejtfalakban elraktározott tartalék polysaccharidák (hemicellulózok) is hidrolizálódnak.

Az alacsonyabbrendű növényekben (kalapos gombáknál) a cukor szerepét a mannit veszi át, amely egyes gombákban igen nagy mennyiségben található meg és amely a trehalóz disaccharidból keletkezett, amely cukor a nádcukor szerepét játssza egyes gombákban. Viszont a polysaccharid, amely egyes gombákban a keményítő szerepét veszi át, a glikogén, amely pl. az erjesztősejtek 25—40%-át képezi. (Érdekes egyébként, hogy mihelyt az erjesztőt 3—4 óráig gyengén szárítjuk, a glikogén eltűnik.)

Miután így az asszimiláció kémiai lefolyásával megismerkedtünk, vizsgáljuk meg közelebbről ennek a fontos élettani folyamatnak körülményeit.

A chlorophyll kémijára vonatkozó legfontosabb eredményeket a legújabb kutatások alapján az I. kötetben részletesen közöltük. Hasonlóképpen ismerjük a levelek szerkezetét is és tudjuk, hogy a levegőnyílások és a lenti-cellák azok, amelyek a növény gázcicserélődését lehetővé teszik. A chlorophyll szerepe még nincsen teljesen tisztázva, így nem tudjuk, hogy vajjon a chlorophyll kémiailag összeköttetésbe jut-e molekuláris úton a szénsavval és a vízzel, vagy pedig csak mint szenzibilizátor működik és a fény felfogására és gyűjtésére szolgál.

Hogy a víz alatt élő növények a szénsavat a vízből minél nagyobb mértékben felvehessék és hogy minél több vízzel érintkezzenek, epidermisszel borított felületüket ugyanolyan tömeg mellett lehetőleg nagyobbítják. Erre a célra szolgál a levelek



nagymértékű szabdaltsága, szalagszerű megnyúlása. Példa erre a vízi boglárka (*Ranunculus aquatilis*), melynek víz alá merült levelei mélyen hasogattak és keskenyek, ellenben a vízből kiérő levelei lemezszerűen kiterülnek és csak karélyosak. A vékony falú epidermiszsejtek a szénsavat vízzel könnyen felvehetik, mert — amint említettük — a tiszta víz bőven tartalmaz szénsavat és a levegőből is mindig el tud nyelni annyit, hogy szénsavtartalma a levegőével körülbelül egyenlő lehessen. Ehhez járulnak még a vízben oldott bicarbonátok is és a vízben rothadó szerves testek szénsava. A vízben élő növény testén található, szénsavas mészből álló rétegek (inkrustáció) mutatják, hogy ezek a növények az asszimilálás céljából a bicarbonátokat is felhasználhatják; pl. az oldható  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ -t felbontják  $\text{H}_2\text{CO}_3$ -ra és  $\text{CaCO}_3$ -ra, amit sokan kísérletekkel is igazoltak.

A levegő környezetében élő növények vékonyfalú epidermisze is átveszi a gázokat, ez azonban nem elégséges arra, hogy a növény kellő módon táplálkozhassék. A gázalakú táplálék felvételére sok esetben egyedül a levegőnyílások szolgálnak, amelyek, bár a növény által felvett vizet párologtatják el, mégis a gázalakú tápláléknak a növény testébe való bejutására is szolgálnak. A levegőnyílásokkal közlekedő sejtközi járatok azután elvezetik a gázokat, tehát a széndioxydot is a növény testének különböző részeibe, ahol azután a sejtközi járatokat környező sejtek vékony falain át könnyen juthatnak a sejtek belsejébe, végre sejtről sejtre diffundálva, illetőleg vándorolva, de sok esetben közvetlen a járatokból is olyan sejtekbe jutnak, amelyekben a széndioxyd felhasználásával közvetlenül szerves vegyületek alakulnak.

Ha már most a növény testének részei közül meg kell jelölnünk azokat, amelyek a gázalakú táplálék felvételét szolgálják, akkor a növényeknek levegőnyílásokkal borított részeit kell megemlítenünk. Ebből már most azt következtethetjük, hogy a széndioxyd felvétele nem a gyökereken át történik, amit különben már a vízkultúrákkal is igazoltunk. Azonban mégis megtörténhetik, hogy a gyökerek bizonyos mennyiségű szénsavat szállítottak az edényeken át a levelekbe, amely szénsav részben a vízben a növény talajában van feloldva, részben pedig a



növény lélekzéséből származott. Mindez azonban olyan csekély mennyiség, hogy nem fedezheti a növény szükségletét.

A növények részei közül — amint már említettük — első-sorban a szárak és még inkább a levelek, illetőleg levélszerű képletek bővelkednek levegőnyílásokban, úgyhogy éppen ezeket kell a gáznemű táplálékot felvevő szerveknek tekintenünk.

Legújabbban Brown és Escombe vizsgálatai szerint a levegőnyílások szűk bejáratai a széndioxyd diffúzió sebességét annyira emelik, hogy a levél annyi széndioxydot vesz fel egy bizonyos idő alatt, mintha egész felületével adszorbeálna. Kísérletileg igazolta Brown, hogy a napraforgó levelek  $1\text{ m}^2$  felülete  $412\text{ cm}^3$ , a trombitafa levelei pedig  $345\text{ cm}^3$  széndioxydot vesznek fel egy óra alatt.

A leveleknek nagy széndioxyd-elnyelő képességét Liebig már a mészvíz széndioxyd elnyelésével hasonlí-



63. kép.

Oxygénkiválás a víz alá merített növény leveleiből a nap-sugarak hatása alatt. Pouchert és Emery után.

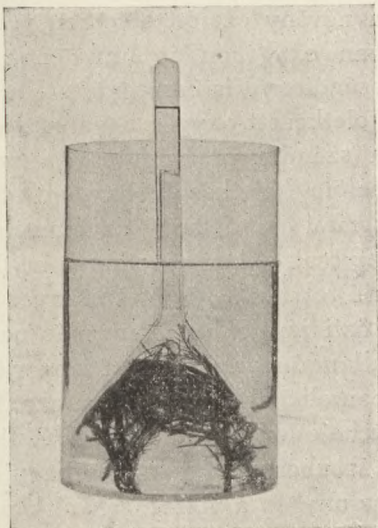
totta össze, Pfeffer pedig azt találta, hogy 75%-os nátriumlúg csak 5—6-szor annyi széndioxydot nyel el, mint a levelek. Sőt Brown újabb vizsgálatai szerint a nátriumhydroxyd oldatának felülete ugyanolyan körülmények között csak kétszer többet nyel el, mint az erősen asszimiláló levelek felülete.

A levelek, illetőleg a levelek alsó részén lévő levegőnyi-



lások széndioxyd felvételének bizonyítása végett Bonnet, Du Hamel és mások a levélnek levegőnyílásos felületét beolajozták, Boussignault faggyút használt, Mangin glicerinalgelatint, Stahl pedig a viasz és a kakaovajnak könnyen me-revedő keverékét alkalmazta. Bármily elzáró anyagot használunk is, valamennyi kísérlet annak bizonyítékát fogja szolgáltatni, hogy a széndioxyd felvételének megakadályozásával egy-uttal a táplálkozást is megakadályozzuk.

A növényi asszimiláció egyik legjobban kimutatható terméke a  $\text{CO}_2$  szétbontásánál szabaddá váló és a környezetbe jutó O. Az O-nek kivá-lását több kísérlettel igazolhatjuk, nevezetesen, ha a vízbe helyezett nö-vényeket a napfény közvetlen hatá-sának tesszük ki (l. 63. kép). A kí-sérlet az asszimilált széndioxyd meg-bontását szemmel láthatóan igazolja. Ha valamely vízzel telt üvegedénybe az átokhinár, a tócsagaz vagy a süllő-hinár nagyobb számú hajtásait he-lyezzük, az üvegedényt lefordított tölcsérrel leszorítjuk, a tölcsércső végére vízzel telt kémleőcsövet helye-zünk (l. 64. kép) és az egészet azután a napfényre tesszük, lehetőleg a szoba hőmérsékletével egyező hőfokon, ak-kor rövid idő múlva azt fogjuk észre-venni, hogy a kémleőcsőben gáz gyű-lik össze a tölcsér alá helyezett haj-tásokból felszálló buborékokból. A kísérlet jól sikerül, ha lehetőleg friss vizet használunk.



64. kép.

Oxygénbuborékok kiválása napfényre helyezett növényből. E.

A kémleőcsőben összegyűlt gáz minőségéről könnyen meggyőződhetünk, ha a víz alatt ujjunkkal elzárt és azután megfordítva a vízből kiemelt kémleőcsőbe parázshegyű fapálcikát tartunk. A parázs akkor élénken lángolni kezd, annak bizonyítékául, hogy a kémleőcsőben összegyűlemlett gáz oxigén. Ilyképen megállapíthatjuk, hogy az asszimiláláskor oxigén válik szabaddá.

Az oxigénkiválást még más módon is megfigyelhetjük és pedig az-által, hogy a fentebb elősorolt vízinövények valamelyikének 5–10 cm hosz-szú és csúcsrügygyel bíró hajtását csúcsával lefelé üvegbotra erősítve víz alá helyezzük és a víz felülete felé forduló hajtás alsó részéből a víz alatt egy kis darabot elmetszünk, hogy friss metszési felületet nyerjünk. Ha



most a növényt így fény hatásának tesszük ki, csakhamar azt fogjuk észrevenni, hogy a hajtásból gázbuborékok szabadulnak ki és emelkednek fel a víz felületére, amelyeket egy kémlecsőbe össze is gyűjthetünk és amelyről ugyancsak megállapíthatjuk, hogy oxigén. Ha friss vizet használunk és ha a fény eléggé erős, akkor az *Elodea* hajtásából egy perc alatt 50—60 gázbuborék szabadul ki.

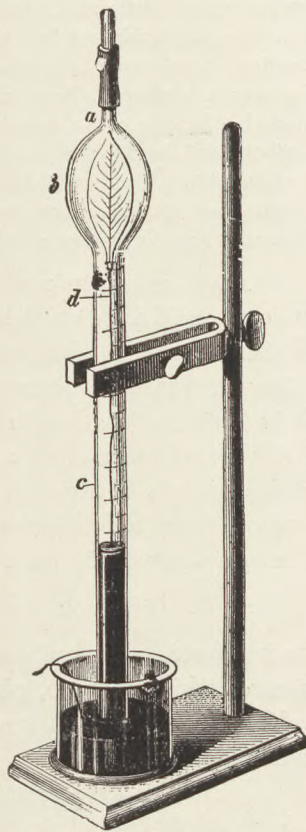
A két kísérletből világosan kiderül, hogy a chlorophyll a vízből felvett széndioxydot felbontotta a fény hatása alatt, a szénét megtartotta és az oxigént szabadon eresztette, amelyet mind a két kísérletben ki is mutathatunk. A gázbuborékok megjelenését *Jost* következőképen magyarázza: tegyük fel, hogy a növény ezelőtt sötétben volt, amidőn tágas sejtközi járataiban oxigénen és nitrogénen kívül még bizonyos mennyiségű széndioxyd is összegyűlt. Ha a széndioxyd szétbomlik, akkor a keletkezett oxigén ugyanazt a térfogatot foglalja el, mint előbb a széndioxyd, minthogy a széndioxydgáz térfogata egyenlő a belőle keletkezett oxigén térfogatával. Ilyenformán nincsen semmi ok rá, hogy az oxigén buborékok alakjában eltávozzék. Ez csak akkor következik be, ha a felhasznált széndioxyd diffúzió folytán a növényt környező vízből pótlódik, ami által a sejtközi járatokban a nyomás nagyobbodik. A nyomás mindaddig állandó marad, amíg a növénybe széndioxyd jut és ez a növényben elbomlik. Annak az oka, hogy a csendes, úgyszólván észrevehetetlen széndioxydfelvétellel szemben az oxigén a feltűnő gázbuborékok alakjában hagyja el a növényt, abban rejlik, hogy az oxigén a vízben sokkal kevésbé oldható, mint a széndioxyd, tehát a víz az asszimiláláskor kiszabaduló oxigénből aránylag csak nagyon keveset vehet fel. A 14° C. hőmérsékletű víz 100 térfogatnyi részében 3 térfogatrész oxigén, ellenben 100 térfogatrész széndioxyd oldható. A kiszabaduló gázt a kísérletek alapján meg is elemezhetjük; pontosabb vizsgálatokból be is bizonyosodott, hogy a kiszabaduló gáz legnagyobb része oxigén, de sohasem tiszta, mert többnyire elegyedve van nitrogénnel, amely a vízből jut be a növény sejtközi járataiba, vagy a vízzel közvetlenül érintkező buborékokba. És hogy az oxigén csakugyan az asszimilálás szétbontotta széndioxydból származik, azt az a jelenség bizonyítja, hogy a gázbuborékok kiválása csak szénsavtartalmú vízben figyelhető meg. Ha jól forralt vizet



használunk, vagy a víz szénsavát calciumhydroxyddal lekötjük, akkor a buborékok kiválása rögtön megszűnik, valamint megszűnik a buborékok kiválása akkor is, ha a növényt sötétbe állítjuk. A kísérlet, úgy amint bemutattuk, kivált a vízi növényekkel sikerül, de használhatók sikeresen a szárazföldi növények is, csak hogy ezek használásakor óvakodni kell a levelek ledörzsölésétől és a levelek felületére tapadó fénylő levegőréteg eltávolításától, különben a víz eldugaszolja a levegőnyílásokat, amelyeken a széndioxyd bejutna a növénybe.

A gázbuborékokban való oxigén-kiválást nemcsak az oxigén minőleges kimutatására használhatjuk fel, de egyúttal az asszimilálás mértékének meghatározására is, mert a növény hajtásából egy adott időben kiszabaduló gázbuborékok mindig a széndioxyd elbontásának a szaporaságát bizonyítják. Minél több gázbuborék szabadul ki a hajtásból, annál erőteljesebb az asszimilálás. Nagyon természetesen, hogy ha ezt az úgynevezett „gázbuborék számlálási” módszert használjuk az asszimilálás mértékéül, ügyelnünk kell arra, hogy a buborékok nagysága és sokszor a száma is függ a kísérletül szolgáló növényen készített metszési felülettől is. Az erősen asszimiláló hajtásból kevés, de nagy buborék, ellenben a kevésbé asszimiláló hajtásból sok, de apró buborék szabadulhat ki.

Ezzel a módszerrel tehát csak az asszimilálás viszonylagos mértékét tudjuk meghatározni, de nem kapjuk meg egyúttal az asszimilálás abszolút erősségét, amely éppen a kiszabaduló



65. kép.

Az asszimilálaskor szabadabbá lett oxigén térfogatának meghatározására szolgáló Pfeffer-féle készülék. Detmer után.



oxigén térfogati meghatározásából állapítható meg. Erre a célra már Ingen-Houss óta az asszimiláló növényt környező levegő elemző meghatározását használják.

A legegyszerűbb erre szolgáló készülék a Pfeffer-féle (l. 65. kép), amely egyik végén zárt, tágabb, másik végén nyílt, fokokra beosztott csőből áll. A cső tágabb végébe helyezzük (a) a platinadrótra erősített és ismert felületű növényrészt, pl. levelet (b) és azután a cső nyílt végét a higanyba helyezzük olyképen, hogy a higany a csőben a kívánt magasságra emelkedjék. Erre a csőbe széndioxydot vezetünk be, amelynek mennyiségét a csövön lévő beosztásból meghatározhatjuk. A fénynek bizonyos ideig tartó hatása után a levelet a csőből a platinadrót segítségével eltávolítjuk és a csőben lévő gázkeveréket megelemezzük és megmérjük, megállapítva az elhasznált széndioxyd és a kiszabadult oxigén mennyiségét.

A gáz mérésén alapuló készülékek sorában különösen Bonnier és Mangin készülékét említjük meg, amellyel a gáz-elemzéseket meglehetősen könnyen és rövid idő alatt lehet elvégezni. Hasonló célra szolgáló eszközt készítettek Hampel, Richards és legújabban Polacci. Valamennyi készülékkel végzett kísérletből az az eredmény derült ki, hogy az asszimilálás alatt a növényt környező gáz térfogata nem változott, vagyis, hogy a felhasznált széndioxyd és a felszabadult oxigén térfogata egyenlő, amit a következő képlettel fejezhetünk ki:

$$\frac{O_2}{CO_2} = 1.$$

Igen sok esetben azonban ettől kis eltérés volt tapasztalható, amennyiben bizonyos okokból valamivel több oxigén volt kimutatható, pl. Bonnier és Mangin azt tapasztalták, hogy a  $CO_2$  aránya a borostyánnál 1'08, az orgonánál 1'06.

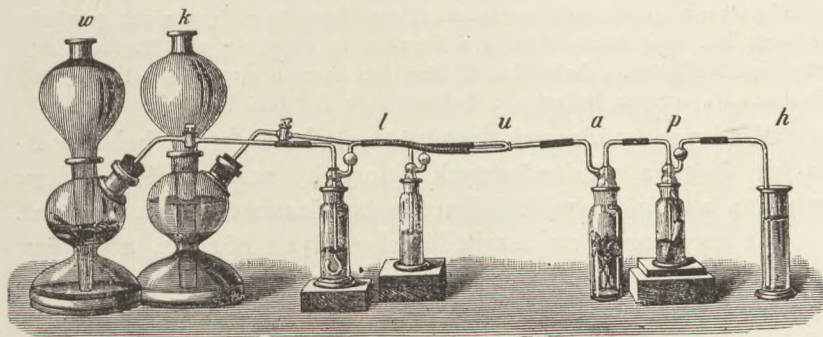
Minthogy az asszimiláláskor — amint látjuk — oxigén válik ki a növényből, ennél fogva az oxigén kiválását mindig az asszimilálás jelének kell tekintenünk. Minthogy pedig az oxigén bármely csekély mennyisége kimutatásának többféle módja van, a kémikusok az asszimilálás kimutatására sokféle módszert dolgoztak ki.

Ezek között a módszerek között vannak igen egyszerűek és tanulságosak, néhányat ezek közül ismertetni fogunk. Egyike a legegyszerűbbeknek a Beijerinck-féle módszer (1890), amely szerint a vízbe indigókármint teszünk addig, amíg a víz égbéke színű lesz. E mellett a nátrium-hydroszulfát,  $NaHSO_4$  telített oldatát cinkporral jól összerázzuk és azután



mésztejjel a savat lekötjük. Az indigókárminoldatba helyezünk pl. *Cladophora*-moszatot és néhány cseppet adunk hozzá a nátriumsó oldatából, az egészet azután elzárjuk. Ha a nátriumoldatból eleget vettünk, akkor rázás után a redukáló hatásnál fogva a víz kék színe eltűnik és a víz sárgás lesz. Ez a színe meg is marad, ha sötétbe helyezzük. Ha ellenben az edényt a fény hatásának tesszük ki, akkor a folyadék a zöld *Cladophora* közelében ismét megkékül az asszimiláláskor keletkező oxigéntől.

Az asszimilálás beálltának, illetőleg az oxigénkiválásnak nagyon csekély mértékét is elárulja már a Frank közölte és módosította Boussingault-féle kísérlet (l. 66. kép), amelynél a zöld levelek a levegőtől egy *a* üvegben teljesen el vannak zárva; ezen az üvegen oxigéntől teljesen mentes gázkeveréket, pl. hidrogén és széndioxid keveréket hajtunk át (*w*, *k*). A leveleket tartalmazó üvegből kiszabaduló gázt egy másik edé-



66. kép.

Frank által módosított Boussingault készülék az asszimiláláskor kiváló oxigén kimutatására. Frank után.

nyen hajtjuk át, amelybe phosphorrudacskát helyezünk (*p*). Mindaddig, míg a leveles edényt sötétben tartjuk, az átáramló gáz nem mutat változást, mielőtt azonban fény éri a leveleket és a levelek asszimilálni kezdenek, az átáramló gáz az oxigént a phosphorhoz juttatja, amely most, amint mondani szokás, „füstölni“, illetőleg világítani fog. A kísérlet egymásután sokszor megismételhető.

A meglehetősen bonyolódott Frank-féle módszer után még csak két igen érzékeny módszert óhajtunk leírni, amelyek mindegyike azon az élettani jelenségen alapszik, hogy az alsóbbrendű növények, nevezetesen a baktériumok, életfolyamataik fenntartása végett az oxigént keresik fel és az oxigénnek már nyomait is megérik és jelzik.

Engelmann (1881) közölte az ő úgynevezett baktériummódszerét, amely egyike a legérzékenyebb módszereknek. Ha kismennyiségű nyers, sovány húst kevés vízzel leöntve állani hagyunk, akkor a rajta lévő folyadékokban néhány nap múlva sok baktérium fejlődik ki. A folyadék egy csepp-



jét a tárgyüvegre helyezzük, a csepp közepébe zöld moszatot, pl. *Chroococcust*-t teszünk, az egészet fedőlemezzel letakarjuk és a fedőlemez szélét vazelinnel elzárjuk. Ha a készítményt mikroszkóp alatt a tükörrel megvilágítjuk, akkor a baktériumok élénk mozgással a moszat köré csoportosulnak. Ezek a baktériumok ugyanis aerotaktikusok, vagyis az életfolyamatukhoz szükséges oxigén ingerére az oxigén forrása felé iparkodnak. A fény hatására a moszat asszimilál és az oxigén szabaddá lesz és ez idézi elő a baktériumok gyülekezését. Ha a készítményt sötétbe állítjuk, a baktériumok mozgása, gyülekezése megszűnik és ők a készítményben szerte-szélednek. Éppen ilyen, vagy talán még érzékenyebb és könnyebben megfigyelhető kísérlet, illetőleg módszer az, amelyet Beijerinck alkalmazott, kimutatva egyszersmind azt is, hogy bizonyos baktériumok fénylése — amelyről később még szólni fogunk — az oxigén jelenlétéhez van kötve. Beijerinck a *Photobacterium indicum* és a *Ph. luminosum* példányait moszatokkal összekeverte és igen vizes gelatinba helyezte két üveg közé; mihelyt a készítmény valamely pontját megvilágította, bekövetkezett a baktériumok fénylése, mert a megvilágított moszatok kiválasztotta oxigén hatására a baktériumok fényleni kezdtek.

Mindezen módszerek segítségével kétségtávolúan bebizonyíthatjuk, hogy a zöld növények chlorophyllszemecskéje a fény hatására a széndioxydot felbontja és felszabadítja az oxigént.

Az oxigénnek az asszimiláláskor ilyen bőséges, a növény testéhez képest jelentékeny mennyiségben való kiszabadulása adott okot arra a téves hitre, hogy a növények széndioxydot lélekzenek be és oxigént lélekzenek ki, ellentétben az állatokkal, amelyek oxigént lélekzenek be és széndioxydot lélekzenek ki. Amint azonban látjuk és amint a következőkben még bizonyítani is fogjuk, a növények oxigénkiválasztása nem lélekzési, hanem táplálkozási folyamat; a növények lélekzésekor nem oxigén szabadul fel, amint később látni fogjuk. Az asszimilálás voltaképpen dezoxydálás (redukálás), ellenben a lélekzés oxydálás.

Mínthogy pedig — amint a kísérletek bizonyítják — az oxigén kiválása csak a fény hatására következik be, ennél fogva, amint az oxigénkiválásból az asszimiláció folyamatára következtethetünk, úgy az oxigénkiválásból egyúttal a fény nélkülözhetetlenségére kell következtetnünk. A fény hatása nélkül nincs oxigénkiválás, nincs asszimilálás, miért is a fény az az energiaforrás, amely az asszimilálást fenntartja. A növény e szerint az asszimilálás munkájához szükséges energiát a fénytől nyeri.



Az asszimilálás látható terménye. Megismerkedve az asszimilálás székhelyével, a folyamat energiaforrásával, a fénynyel és az asszimiláció anyagával, rá kell még mutatnunk az asszimilálás látható terményére. Az asszimilálás eddigi bizonyítékai sorában legfontosabb volt az, hogy a növény széndioxydot vett fel és evvel egyenlő térfogatú oxygént szabadított fel. A növény tehát a szénét okvetlenül megtartotta; ebből és a talajból felvett úgynevezett nyers táplálékanyagokból alakul meg a chlorophyllszemecskékben a szilárd vegyület. Mellőzve most előzetesen a chlorophyll lekötötte szén további sorsának vázolását, csak a chlorophyllszemecskében lévő szilárd anyaggal kívánunk foglalkozni.

Erről az anyagról könnyű meggyőződést szerezni közvetlenül is, ha például valamely mohalevél fény érte chlorophyllszemecskéit nézzük meg mikroszkóppal. Ha a mohalevél chlorophyllszemecskéje színanyagát alkohollal eltávolítjuk, majd a jódnak alkoholos oldatával kezeljük, akkor csakhamar arról fogunk meggyőződni, hogy a chlorophyllszemecskébe zárt szilárd szemecske megkékül, amely megkékülésről biztosan következtethetünk a keményítő jelenlétére. A legtöbb zöld növény chlorophyllszemecskéjében kimutatható ez a keményítő, kivált ha a vizsgálandó növényrészt forró vízben, meleg alkoholban és chlorálhydrátban hosszabb-rövidebb ideig áztatjuk és azután jód- vagy jódkáliumoldattal kezeljük. Az erősen szembetűnő kék szín mindig el fogja árulni a keményítő jelenlétét. Némely esetben azonban a kékülés nem fog bekövetkezni, hanem a sejtek megbarnulnak. Ugyanis az alsóbbrendű növényekben — nevezetesen sok moszatban — a keményítő helyett a chloroplasztban olajnemű anyag keletkezik, sőt sok egysziklevelű növény (hagymafajok, *Orchis*, *Musa*) is, kivált a csekélyebb asszimiláláskor nem keményítőt, de olajat vagy cukrot tartalmaz. A zöld növények nagy többségének chloroplasztjaiban az asszimilálás első látható terménye a keményítő. A tudomány ezt az eredményt azonban nem régen ismeri. Igaz ugyan, hogy már a múlt évszázad első felében megállapította *Mohl* (1837) más kutatókkal együtt, hogy a chlorophyllszemecskék keményítőszemecskéket tartalmaznak, de csak *Sachs*-nak sikerült az 1862.



évben bizonyító erejű kísérleteivel kimutatni, hogy ezek a chlorophyllszemecskék csak a széndioxyd felvétele után tartalmazzanak keményítőszemecskéket. Széndioxyd hiánya, vagy az asszimilálás egyik vagy másik feltételének elmaradása esetén a keményítőszemecskék nem jelentkeznek a chlorophyllszemecskékben. Nevezetesen a fény elmaradásánál nem képződik új keményítőszemecske. Sachs-nak sikerült azt is kimutatni, hogy a nappal fényében keletkezett keményítő ismét eltűnik az éj folyamán, hogy azután a következő nappal fényében új keményítőszemecske képződjék, vagyis megállapította azt, hogy a chlorophyllszemecskékben képződött keményítőszemecskék kivándorolnak, amely folyamat közelebbről való megismerését csak későbbi vizsgálatoknak köszönhetjük.

A Sachs kiderítette jelenségekről könnyen meggyőződhetünk az általa először alkalmazott úgynevezett jódp próbával, amely a keményítőnek éppen azon az előbb ismertetett tulajdonságán alapszik, hogy a jódtól megkékül. A jódp próbát alkalmazása Sachs szerinti úgy történik, hogy a sarkantyúka, a paszuly, a dohány levelet, vagy levél darabját közel öt percig áztatjuk forró vízben és azután leöntve róluk a vizet, alkoholba tesszük. Az alkoholt melegen alkalmazhatjuk, vagy a vízfürdőn a levelekkel együtt kevéssé megmelegítjük, aminek következtében a levelek elszíntelednek. Ezután a leveleket jóddaloldatba tesszük és így hagyjuk mindaddig, amíg újabb színváltozást nem tapasztalunk, ekkor a jóddaloldatból kiemeljük a leveleket és vízbe tesszük. Ha a levelek chlorophyllszemecskéiben nincs keményítő, akkor a levelek világos vagy bőrszínű sárgák lesznek, ellenben a keményítő jelenlétét a levelek kékesfekete színe árulja el. Ez utóbbi színeket fogják öltetni azok a levelek, amelyeket a kora délutáni órákban szedtünk le a növényről, ellenben a nappal kora reggeli óráiban szedett levelek csak sárgaságok maradnak. És hogy csakugyan a fény hatására megy végbe az asszimilálás, azt bebizonyíthatjuk az olyan levelekkel, amelyeket egész napon át sztaniolpapirosba burkolva, tehát a fénytől elzárva tartottunk és amelyek a jódp próbát alkalmával a kékesfekete színt nem fogják mutatni. Ez a jelenség különösen akkor meglepő, ha nem az egész levelet burkoljuk sztaniolba, ha-



nem csak a levéllemez felét, vagy pedig csak a levél sztaniolburkolatából vágunk ki néhány betűt, vagy végül egészen egyszerűen a levél két felületét két vékony gombostűvel megerősített parafadugó közé fogjuk. Valamennyi esetben a levél eltakart részein a jódpróbával nem lehet a keményítőt kimutatni, ellenben a be nem burkolt rész a jódpróba után kékesfeketére színeződik. A jódpróbának egyszerűsége mellett nagy előnye, hogy könnyen kezelhető és az asszimilálásról közvetlen bizonyítékot szolgáltat.

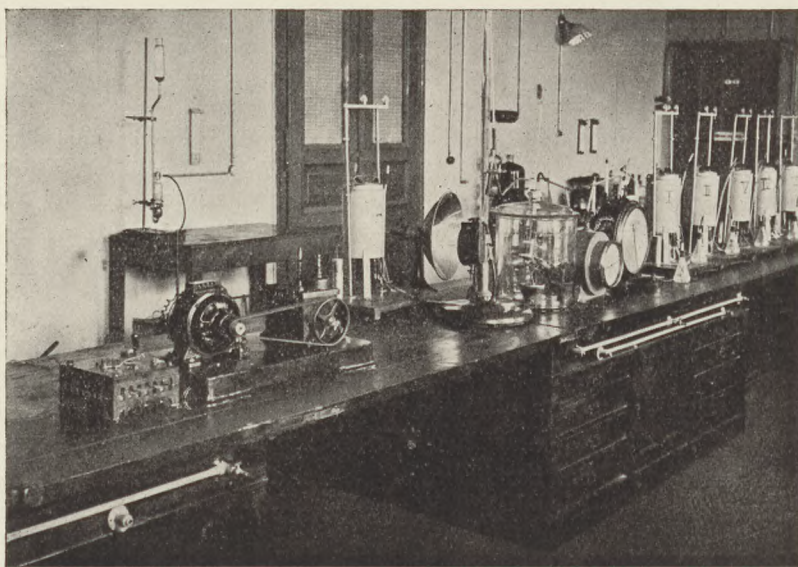
Az asszimiláció mennyiségi lefolyására vonatkozólag csak röviden annyit óhajtunk megjegyezni, hogy általában 1 g szénhidrátra 1'5 CO<sub>2</sub>-t kell számítani. G i l t a y adatai szerint, aki nagyszámú növényvel dolgozott, a keletkezett szénhidrát mennyisége óránként és m<sup>2</sup>-ként Európában 0'4—0'8 g, Indiában pedig 0'4—1'4. A napraforgó pl. Európában és Jávában is ugyanazt az értéket, 0'58 g-t adta.

Az asszimiláció mérésére a legkülönbözőbb eljárások vannak használatban. Így pl. a fél levél eljárás, amelynél egy adott levelet megfelelnek, a levél egyik felét sötétben tartják, a másikat világosságban asszimiláltatják és a száraz anyag súlykülönbségéből határozzák meg az asszimiláták mennyiségét. Újabban több eljárás van folyamatban, így L u n d e g a r d h dolgozott ki egy kitűnő módszert az asszimiláció mérésére olyan módon, hogy a levágott leveleket jól elzárt üvegedényben helyezte el és ezeken ismert CO<sub>2</sub>-tartalmú levegőt vezetett keresztül, majd a levegő CO<sub>2</sub>-tartalmát az edények elhagyása után megmérte és az elhasznált CO<sub>2</sub>-mennyiségből az előbb említett 1'5 faktorral számította ki az asszimiláták mennyiségét.

Hasonló módszeren alapszik a F e h é r -féle készülék is, amelyet a 67. kép tüntet fel. Ez a készülék az ú. n. L u n d e g a r d h -féle volumetrikus készülékkel határozza meg az asszimiláló zöld növények körzetéből kikerülő levegő CO<sub>2</sub>-tartalmát. Az újítás ennél a módszernél abban áll, hogy nem levágott növénylevelekkel dolgozik, hanem légmentesen záruló nagy üvegedényekben egész növényeket helyez el üvegcserepekben és a talajlélekzés útján a CO<sub>2</sub>-nek a levegőbe való jutását a földfelületeknek parafinnal való bevonásával akadályozza meg.



Miután a növények szénasszimilációjának lefolyásával nagy vonásokban megismerkedtünk, nézzük közelebbről, hogy vajjon az egyes tényezők minő körülmények között járulnak hozzá ahhoz, hogy ez az asszimilálás a növényre nézve a legkedvezőbb eredménnyel járjon.



67. kép.

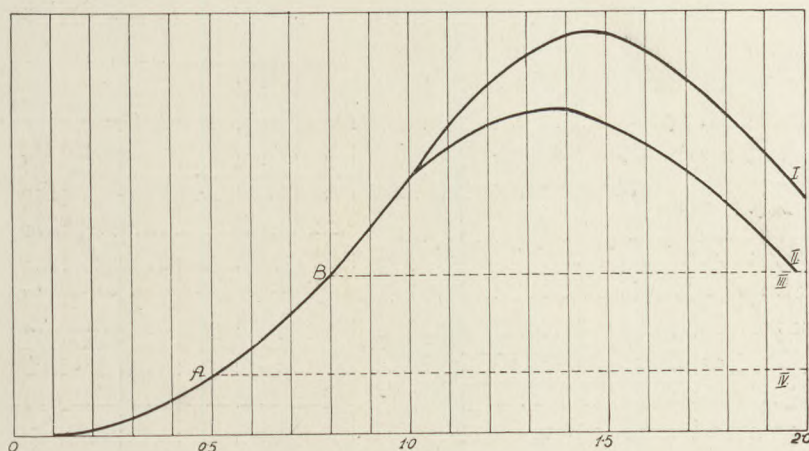
Fehér-féle készülék a növényi asszimiláció által elhasznált  $\text{CO}_2$ -mennyiség meghatározására. A készülék baloldalán látható a mesterséges fényforrás. A légmentesen elzárt üvegedényben elhelyezett növény levelei felett a jobboldalon elhelyezett Lundegårdh-féle harangok segítségével levegőt szívunk keresztül, amelynek  $\text{CO}_2$ -tartalmát ismerjük és azután meghatározzuk a levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmát az átszívás után káliúggal való titrálással. A két adat különbsége adja az asszimiláció által elhasznált  $\text{CO}_2$ -mennyiséget. E.

### *A fény szerepe az asszimilációnál.*

A szén asszimilációjánál a fény intenzitása, tehát a fény erőssége kétségkívül fontos szerepet játszik, azonban az intenzitás foka, amely a növényi asszimilációra hatást gyakorol, meglehetősen változó. Azt a fényintenzitást, amely mellett, adott hőmérsékletet feltételezve, a növény által kilélektett  $\text{CO}_2$  mennyisége az asszimiláció által felhasznált  $\text{CO}_2$ -al egyezik, nevezzük *kompenzációs pont*-nak. A kompenzációs pontnál



tehát a növény nincsen rászorulva a levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmára, hanem csak éppen annyi  $\text{CO}_2$ -t vesz fel és használ fel, amennyit saját lélekzése közben termel. A két folyamat közötti korrelációt azért fejezi ki legjobban a kompenzációs pont, miután a fény erősödésével az asszimiláció intenzitása növekszik, a fény intenzitásának csökkenésével pedig csökken, azonban ezzel szemben a lélekzés — amint azt látni fogjuk — a fénytől teljesen függetlenül megy végbe. A kompenzációs pont némely nö-



68. kép.

Az ABI és az ABII görbék a fényintenzitás és az asszimiláció közötti viszonyt tüntetik fel. Az abszcissán jelzett számok a fényintenzitást fejezik ki a napfény intenzitásának részeiben. A BIII és a BIV vonalakat akkor nyerjük, ha a levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma csökken. Blackmann után.

vénynél nagyon alacsonyan fekszik,  $20^\circ\text{C}$ -nál a *Helodea*-nál 1—17 Heffnergység, míg a *Spirogyra*-nál 174 Heffnergység.

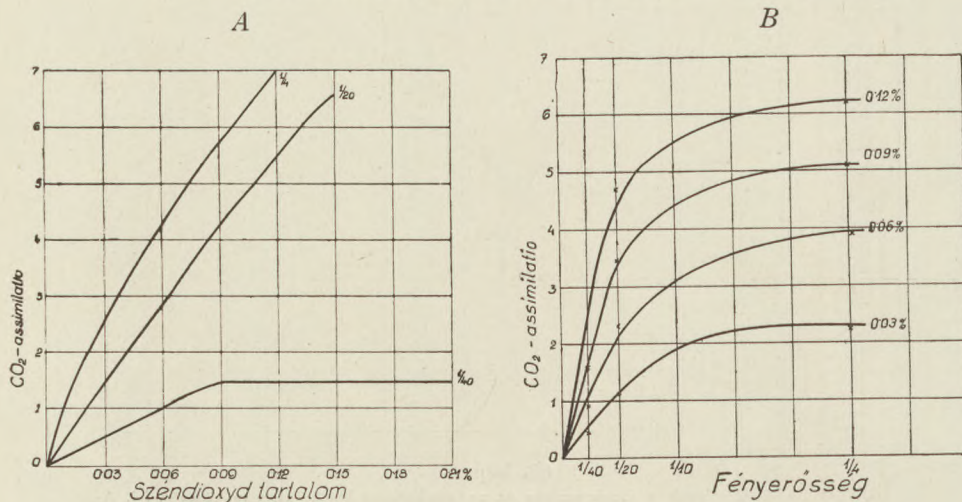
Általában igen érdekes, hogy a levelek szerkezete és magának a növénynek ökológiai helyzete és kifejlődése erősen befolyásolja a fényintenzitás hatását. Így például a világosságban növő vörösfenyő majdnem tízszer annyi fényt igényel, mint az árnyékban növő *Taxus*. Amint az újabb vizsgálatok mutatják, a  $\text{CO}_2$ -asszimiláció nagysága kezdetben a fényintenzitás erősségével arányosan nő. Később azután egy bizonyos magasságban megmarad és a fényintenzitás emelkedésétől függetlenné



válík, de annak túlságos erős fokozása esetleg ennek süllyedését vonhatja maga után (l. 68. kép). Azonban a fény és a szénsav-tartalomnak hatása rendszerint együtt érvényesül az asszimilációnál. Ilyen asszimilációs görbét mutat a 69. sz. kép.

A nagyobb fényintenzitás úgylátszik a chlorophyllt inaktívalja, de az is lehetséges, hogy a fényintenzitás emelkedését a növény nem tudja kellőleg kihasználni, miután a levegőben nem áll elegendő  $\text{CO}_2$  rendelkezésre.

Csak tájékoztatásul jegyezzük meg, hogy a fényintenzitás



69. kép.

Az *Oxalis acetosella* asszimilációjának  $\text{CO}_2$ - (A) és fénygörbéje (B). A  $\text{CO}_2$ -görbe  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{20}$  és  $\frac{1}{40}$  fényerősségre, a fénygörbe pedig 0.03, 0.06, 0.09 és 0.12%-os  $\text{CO}_2$ -koncentrációra vonatkozik. Lundegårdh után.

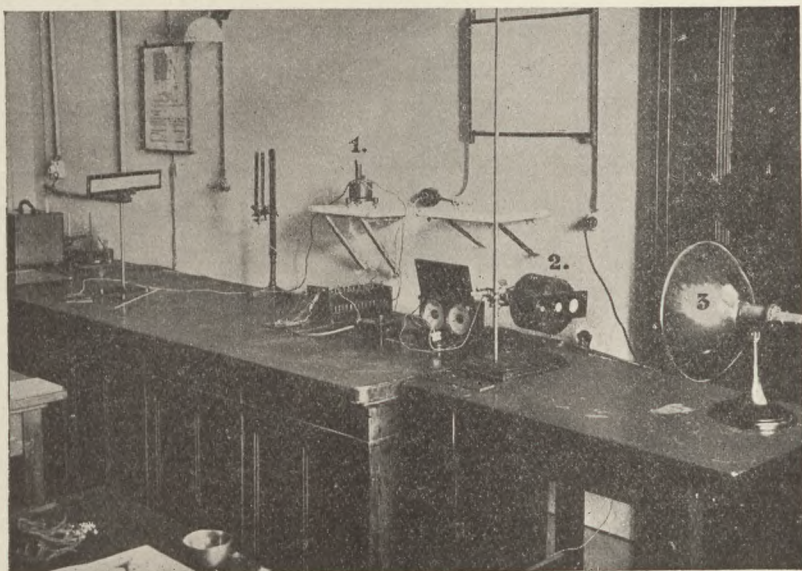
mérésére régebben különféle fotométereket, pl. az Eder—Hecht-féle fotométert használták, újabban azonban galvanometrikus úton mérik a fényt a különböző fotocellák segítségével (l. 70. kép), amelyeknek lényege az, hogy a fény egyes fémekben, pl. az alkáli földfémek közül a káliumban elektron kiválást idéz elő és ha most ezeket vezetővel, egy fémgyűrűvel kötjük össze, a galvanométerrel a fény erősségének megfelelő különböző áramerősségeket mérhetünk.

Ami most már a fény különböző részeinek hatását illeti, arra vonatkozólag röviden a következőket közöljük:



Az asszimiláció szempontjából elsősorban azok a fénysugarak jönnek tekintetbe, amelyeknek nagysága 760—400  $\mu\mu$  között változik. Világos tehát, hogy a spektrumnak ultraibolya része a chlorophyll asszimilációs munkája szempontjából úgyszólván teljesen hatástalan. A leghatásosabbak tehát a spektrumnak vörössárga sugarai.

A fény hatását az ú. n. ökonomikus hányadossal szokták kifejezni, amely alatt azt a viszonyszámot értjük, amely az ab-



70. kép.

Kálium fotocellás berendezés a fény mérésére. 1. galvanométer, 2. fotocella, 3. fényforrásul szolgáló reflektor. E.

szorbeált sugárzó energia  $E$  és az általa teljesített munka  $U$  között fennáll:  $\frac{U}{E} \cdot 100$ . Az  $U$  értékére vonatkozólag álljon itt a következő: Ha az abszorbeált fényenergiát kifejezzük a levélre jutó és a levelen átbocsátott fénymennyiséggel, úgy a különböző növények más és más mennyiségű fényenergiát abszorbeálnak. Így a Lappa major 72'8%-ot, a Senecio grandifolius 77'4%-ot. Az  $\frac{U}{E} \cdot 100$  értékei a különböző sugárfajtákra a következők:



A sugarak hullámhossza	$\frac{U}{E} \cdot 100$ nagysága
Vörös $\lambda = 610-690 \mu\mu$ . . . . .	59.0
Sárga $\lambda = 578 \mu\mu$ . . . . .	53.5
Zöld $\lambda = 546 \mu\mu$ . . . . .	44.4
Kék $\lambda = 436 \mu\mu$ . . . . .	33.8

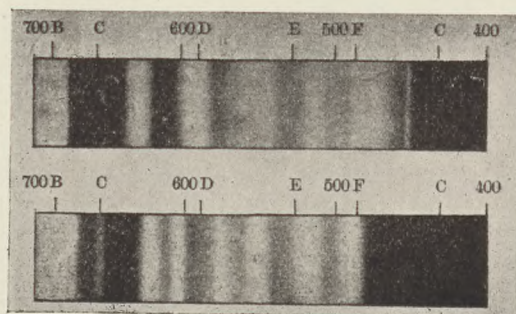
$\frac{U}{E}$  értéke tehát a sugarak hullámhossz kisebbedésével szintén fokozatosan kisebbedik, úgyhogy ennek alapján azt a régi nézetet, amely szerint  $\frac{U}{E}$  értéke az összes spektrum részekben egyenlő volna, megdöntöttnek kell tekintenünk.

Az ökonomikus koefficiens megleghehetősen egyszerűen kiszámíthatjuk, ha a felvett  $\text{CO}_2$ -mennyiséget a növények által

termelt  $\text{O}_2$ -mennyiséggel hasonlítjuk össze. Vagyis

$$k = \frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} \cdot 100$$

Ez az ökonomikus koefficiens Timiriaseff kutatásai szerint a vörös sugarak körzetében sokkal nagyobb, mint a kék sugarakéban.



71. kép.

A chlorophyll szinképe. A felső az  $\alpha$  chlorophyll, az alsó kép a  $\beta$  chlorophyll szinképe. Willstätter és Stoll után.

Warburg és

Negelein fentebbi kísérletei és eredményei a quantum elméletnek is megfelelnek. A quantum elmélet szerint ugyanis a gyengébben törő sugarak fotokémiai hatásának nagyobbak kell lenni, mint az erősebben törőkének, miután az Einstein-féle aequivalens törvény szerint minden anyag a fotokémiai reakciónál a sugárzó energiát quantumokban abszorbeálja, mégpedig minden molekulára egy quantum esik. Ha már most  $h$ -val jelöljük a Planck-féle világossági állandót és  $\nu$ -vel az illető fénycsillag rezgéseit, úgy a quantum  $Q = \frac{h}{\nu}$ . Tehát a vörös sugarakban 1 gramm kalóriára sokkal nagyobb quantummennyiség

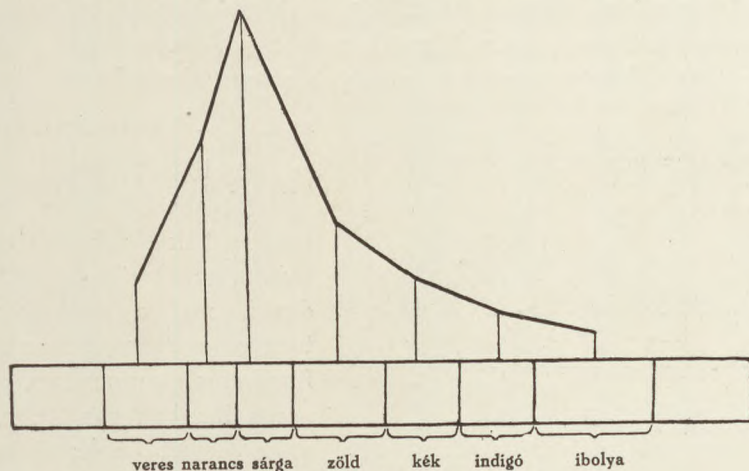


jut, mint az ibolya sugarakban. Minthogy pedig nem a quantumoknak nagysága, hanem ezek mennyisége határozza meg a fotokémiai munkák nagyságát, úgy a fényenergia átváltozása  $\varphi$  a különböző spektrál területekben a sugár hosszúságával  $\lambda$ -val arányos

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Most már Warburg szerint:

$\lambda$	207 $\mu\mu$	253 $\mu\mu$	282 $\mu\mu$	486 $\mu\mu$	589 $\mu\mu$	880 $\mu\mu$
$\varphi$	0.7286	0.8904	0.9924	1.710	2.073	2.816



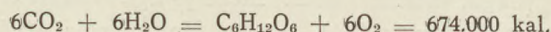
72. kép.

A színek különböző részeinek az asszimilálásra való hatását feltüntető görbe, amely Pfeffer szerint a sárga színben a legmagasabbra emelkedik. Giesenhagen után.

Idevonatkozólag a vizsgálatok még nem teljesen egységesek, bár nagy vonásokban az eredmények már elég világosak. E mellett a Warburg-féle eljárás mellett, amelyet Warburg és Negelein a legjobb fizikai módszerekkel hajtottak végre, még más vizsgálatok is vannak, amelyek a kibocsátott légbuborékok számából, vagy a képződött keményítő mennyiségéből vizsgálták a különböző sugaraknak az asszimilációra gyakorolt hatását. Kétségtől Warburg és Negelein által meghatározott számok is elég kicsinyek, ha tekin-



tetbe vesszük az asszimiláció kalorimetrikus egyenletét, amely szerint:



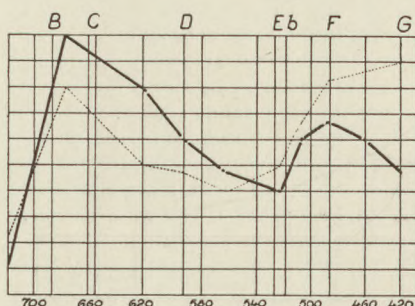
Csak a kék sugarak számára nem lehetett elég pontos eredményeket kapni, miután a vizsgálatok szerint  $\frac{\varphi_{578}}{\varphi_{436}} = 1.55$

míg elméletileg  $\frac{578\mu\mu}{436\mu\mu} = 1.32$ .

Warburg és Negelein egyébként kiszámították, hogy a szénsav molekulák szétbontására a spektrum kék részében 5 quantum, a vörösben és a sárgában 4 quantum szükséges. Részletesen 660  $\mu\mu$ -nél 4.1 quantum, 578  $\mu\mu$ -nél 3.8 quantum, 436  $\mu\mu$ -nél 4.7 quantum. Világos tehát, hogy a chlorophyllnak vörösszínű fluorescens fénye, amely 2 színképsávot ad, melyek 630—650, 660—690  $\mu\mu$  között vannak és amelyek erősen abszorbeálva lesz-

nek,  $\frac{U}{E} \cdot 100$  értékeit erősen emeli (l. 71. kép).

Egyébként egyes kutatók a kék fényben is egy maximumot vélnek felfedezni, míg a vizsgálatok túlnyomó része szerint a fényhatás maximuma a vörös fényben van és azután ismét fokozatosan csökken. Idevonatkozólag közöljük Pfeffer jellemző képét (l. 72. kép)



73. kép.

A zöld sejtek asszimilációja (kihúzott vonalú görbe) és abszorpciója (szaggatott vonalú görbe)  $\lambda = 420-750$ . Engelm ann után.

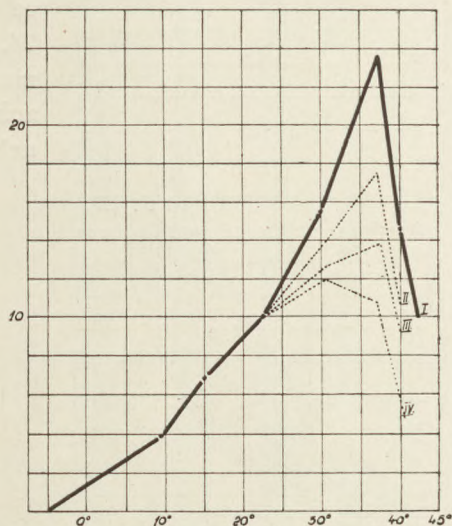
és Engelm ann görbét (l. 73. kép).

Tájékoztatóul még rá akarunk mutatni arra, hogy az asszimiláció intenzitása és a fényabszorpció között határozott összefüggés van, vagyis a spektrumnak éppen az a része, amelyet a chlorophyll legélénkebben nyel el, tehát a spektrumnak a vörössárga része leghatékonyabb az asszimiláció szempontjából. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy nemcsak közvetlen a napfény, hanem a diffúz reflexió által az atmoszférában elszórt fény is jelentékeny szerepet játszik. Miután a chlorophyll a kék sugá-



rakat is abszorbeálja, amint az előzőekben már szintén említettük, még ma sincsen teljesen eldötve, hogy vajjon nincs-e egy ilyen maximum a spektrumnak kék színében is? Az azonban bizonyos, hogy a spektrum vörös színében, ahol legerősebb az abszorpció, ott legélénkebb az asszimiláció.

A zöld sugarak a chlorophyllon áthatolnak és ennek St a h l szerint valószínűleg az az oka, hogy ezek az erősen meleg természetű zöld sugarak különösen közvetlen napfényben erősen felmelegítenék a növényi részeket és éppen ezt akadályozza meg a növény a chlorophyll zöld színével. Egyelőre még nem tudjuk, hogy az asszimilációnál csak a chlorophyll, vagy pedig a kísérő festőanyagok is szerepet játszanak-e? Az bizonyos, hogy a maximum a vörös sugárrészben van. A kérdés eldöntésénél az exakt vizsgálatoknál mindenestre nem az a fény mennyiség jön tekintetbe, amelyet a levelek elnyelnek, hanem az, amelyet az asszimilációnál tevékeny chlorophyll festőanyag nyel el és ez utóbbi rendszerint jelentékenyen kevesebb a levelek által elnyelt fény mennyiségénél.



74. kép.

A hőmérsékletnek az asszimilációra gyakorolt befolyása. Matthaei után.

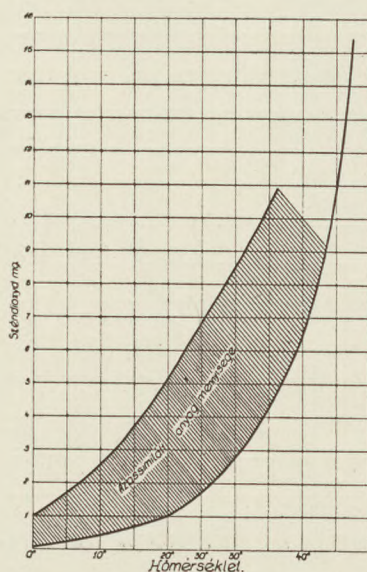
#### *A hőmérséklet szerepe az asszimilációnál.*

A hőmérsékletnek az asszimilációra gyakorolt hatását illetőleg szintén nagyon precíz és beható kísérletekkel rendelkezünk. Idevonatkozólag a döntő vizsgálatokat Matthaei végezte, aki elegendő fény és szén-sav jelenlétében, különböző hőmérséklet mellett végezte kísérleteit. Vizsgálatainak eredmé-



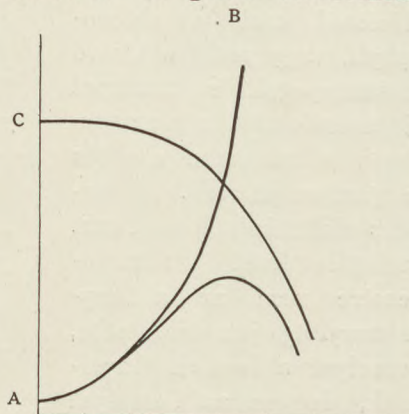
nyét a 74. sz. kép tünteti fel. A képen kihúzott vonal az első órában elért eredményeket mutatja, míg a II., III. és IV. görbe az első megállapítás utáni 1, 2 és 3 óra leforgásakor elért eredményeket tünteti fel. Megjegyezzük, hogy *Matthaei* levágott levelekkel végezte vizsgálatait. Általában az idevonatkozólag későbbben lefolytatott vizsgálatok is megerősítették azt, hogy rendes körülmények között, a mi éghajlatunk alatt fejlődő növényeknél az asszimiláció optimumát  $37.5^{\circ}\text{C}$ -nál éri el,

$45^{\circ}\text{C}$ -nál már alig észrevehető, illetőleg — amint a 74. sz. kép mutatja — az optimum elérése után hirtelen erős zuhanás észlelhető a görbe menetében. A görbe menetének



75. kép.

A hőmérséklet hatása az asszimilációra és a lélekzésre és az asszimilált anyagának a hőmérséklet-hez való viszonya. *Lundegårdh* után.



76. kép. E D

Az asszimiláció és a lélekzés közötti összefüggés. *Blackmann* után.

megváltozása kétségkívül arra a körülményre vezethető vissza, hogy az asszimilációt a lélekzés erősen befolyásolja és ha most  $k$ -val jelöljük az asszimiláció és a lélekzés hányadosát, vagyis  $k = \frac{a}{l}$ , úgy *Willstätter* és *Stoll* szerint  $15-25^{\circ}\text{C}$  között az asszimiláció jelentékenyen felülmúlja a lélekzést, úgyhogy a koeficiensnek a következők voltak:

*Ulmus campestris*  $15-25^{\circ}\text{C}$  között  $k = 1.48$

$20-30^{\circ}\text{C}$  között  $k = 1.29$



*Sambucus nigra* 15—25° C között  $k = 1'52$

20—30° C között  $k = 1'45$ .

A növény anyagcseréje szempontjából azonban nemcsak a  $k$  viszonylagos értékei bírnak fontossággal, hanem a növénytermesztés számára az a körülmény bír elsősorban jelentőséggel, hogy az asszimiláció folytán képződött szénhidrátok abszolút mennyisége emelkedik-e vagy nem és azért előállhat az az eset, hogy a  $k$  csökkenő értékei mellett is az asszimiláció által képzett szénhidrátok hozzájárulásával a növény szénhidráttartalma fokozatosan emelkedik, míg végül egy pontot el nem ér, amelyen felül a lélekzés értékei már olyan naggyá válnak, hogy az asszimiláció következtében a növény számára anyagcsere-nyereség nincsen. Ezt az esetet nagyon jól mutatja a 75. sz. kép.

Általában 0—37° C között az asszimiláció reakciósebessége a Van't Hoff - féle GRT törvénynek felel meg. Így pl. Blackmann és Smith Helodea - val végzett kísérleteiknél  $q_{10}$ -nek értékeit a következőknek találták:

7—13° között  $= 2'05$ ,

13—21° között  $= 1'35$ .

Warburg szerint viszont magas fényintenzitás mellett  $q_{10}$ -nek értéke 15—25° között  $= 2$ . Viszont, ha nem áll elegendő fény rendelkezésre, abban az esetben a fény hiánya már mint akadályozó tényező szerepel (limiting faktor). Ha már most az asszimiláció és a lélekzés összefüggését sematikusan ábrázolni akarjuk, úgy Blackmann után a 76. sz. képen feltüntetett ábrát nyerjük. Ezen a képen az  $AB$  vonal mutatja az asszimiláció intenzitásának a hőmérséklettel kapcsolatban való elméleti lefolyását. Blackmann szerint azonban a magasabb hőmérséklet nemcsak a lélekzés folytán hat gátlólag, hanem egyúttal azáltal is, hogy a chloroplasztákat inaktíválja. Ennek az inaktíváló hatásnak elméleti lefolyását mutatja a  $CD$  vonal. Az inaktíválás hatása azután az lesz, hogy az asszimiláció a képen  $AE$  görbével jelzett, kísérletileg tapasztalt lefolyást adja.

A mi klimatikus viszonyaink mellett az asszimiláció rendszerint 0° C-on felül veszi kezdetét, de az újabb vizsgálatok

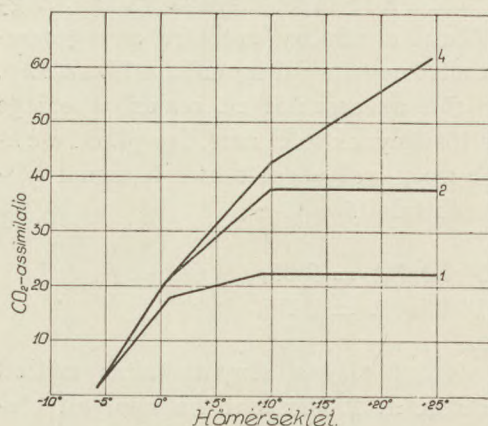


szerint a sarkvidéken egyes zuzmók  $-20^{\circ}\text{C}$ -nál is asszimilálnak, sőt egyes árnyékban növő alpesi növények  $-16^{\circ}\text{C}$ -nál és még az alpesi napfényt igénylő növények is asszimilálnak  $0^{\circ}\text{C}$  alatt.

*Egyéb, az asszimiláció menetét befolyásoló tényezők.*

Az asszimiláció menetét ezenkívül még a levegő  $\text{O}_2$ -tartalma is befolyásolja, amelyre vonatkozó vizsgálatok azonban még nincsenek véglegesen lezárva. Warburg szerint, ha

az  $\text{O}_2$   $1/50$ — $1$  atm. nyomási arányban van jelen, akkor, ha az  $\text{O}_2$  nyomását csökkentjük, az asszimiláció emelkedik valószínűleg azért, mert az  $\text{O}_2$  kevesedésével az asszimilátáknak  $\text{CO}_2$ -á való oxydálása is gátlást szenved.



77. kép.

A hőmérsékletnek az asszimilációra gyakorolt hatása 1., 2. és 4-es fényerősség mellett. Matthei után.

Végül rá kell mutatnunk arra a körülményre is, hogy a

levegőnyílások természetesen mint a gázcserélődésnek közvetítői szintén erősen befolyásolják az asszimiláció menetét és különösen a kísérleti berendezéseknél vigyáznunk kell arra, hogy a levegőnyílások nyitását és zárását befolyásoló tényezőket szintén optimális állapotban tartsuk.

Az asszimiláció lefolyását egyébként nemcsak az a faktor befolyásolja, amelyik optimumban van jelen, hanem az is, amelyik minimumban jelentkezik. A folyamatot a Liebig-féle minimum törvény újabb értelmezése szerint a maximumban lévő és a minimumban lévő faktor korrelációja szabályozza. Így pl. — amint a 77. sz. kép mutatja — a fényintenzitás különböző fokai mellett más és más az asszimiláció intenzitása, a fényerősség



emelkedésével állandóan növekszik. Hasonlóképpen gátlólag, illetőleg erősítőleg hat a szénsavtartalom emelkedése is.

Igen érdekesek Blackmann-nak és Matthei-nak kísérletei is, akik kimutatták, hogy a természetben diffúz világítás mellett a levegő kis szénsavtartalma nem engedi elérni az asszimiláció maximumát, ha pedig a szénsavtartalmat emeljük, akkor viszont a hőmérséklet hat akadályozóul, míg melegebb nyári napokon megint a fényintenzitás nem elegendő ahhoz, hogy a hőmérsékletnek megfelelő asszimiláció erősséget elérjünk.

A  $\text{CO}_2$ -asszimiláció különösen erdőgazdasági szempontból alapvető fontossággal bír. Hiszen — amint tudjuk — a fa száraz anyagának 50%-a C és ezt a C-t a növény az asszimiláció útján szerzi meg. Azért úgy az erdő-, mint a mezőgazdaságokban, különösen az újabb időben nagyon sok kísérletet végeztek a növények asszimilációs tevékenységének fokozása céljából és különösen próbálták kutatni azt, hogy vajjon a levegő szénsavtartalmának emelésével nem lehetne-e a növények asszimilációját és ezzel a fák növekedését fokozni, miután az előbb tárgyalt faktorok közül éppen a levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma az, amely megakadályozza, hogy a többi tényező emelésével a  $\text{CO}_2$ -asszimiláció intenzitását fokozzuk.

### Az erdő $\text{CO}_2$ -táplálkozása.

Amíg a fák testét alkotó sejteknek falát túlnyomórészen a cellulóznak nevezett hatvegyértékű polysaccharida  $n(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)$  és a szintén a polysaccharidák csoportjába tartozó hemicellulózok: a hatértékű galaktánok és az ötértékű  $n(\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4)$  pentózok: a xylánok és arabánok alkotják, addig a pektin anyagok jelentősége ezzel szemben elenyészően csekély. A sejtfal az érett fában a ligninnek nevezett, egyelőre ismeretlen összetételű inkrusztáló anyagok hatására az elfásodásnak nevezett kémiai és fizikai átalakuláson megy keresztül.

Mindezek a vegyületek az organikus C-tartalmú vegyületekhez tartoznak és így a C a fa száraz anyagának majdnem 50%-át teszi, amely C-t a fa az asszimiláció útján a levegő  $\text{CO}_2$ -jából nyeri.

A levegőben lévő  $\text{CO}_2$  tehát a növényeknek és így az erdő-



nek is fontos táplálóanyaga és világos, hogy ennek mennyiségi fokozása a növények növekedésére jó hatást gyakorol. A kezdeményező kutató lépések ezen a téren a mezőgazdaság terén történtek és a kérdést különösen Fischer, Reinau, Bornemann és Lundegardh kutatásai vitték előbbre. A levegőben a  $\text{CO}_2$  mennyisége ugyanis rendkívül csekély, mindössze 0'03% térfogatrész. Ez tehát szerintük megakadályozza a növény teljes növekedését még akkor is, ha a többi növekedést befolyásoló tényező optimális mennyiségben van jelen. Ezt a jelenséget a Liebig-féle minimum törvénnyel magyarázzák, amely szerint a termés nagysága mindig attól a növekedési tényezőtől függ, amely minimumban van jelen. Ugyanennek a törvényszerűségnek adott Blackmann is kifejezést a „limiting faktor” elnevezéssel. E szerint a felfogás szerint a növények növekedése elé akkor, amikor a többi növekedési faktor (fény, hő, táplálóanyagok stb.) mennyiségét fokozzuk, gátat vet a levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma, amely a legkisebb mennyiségben van jelen. Ha tehát a levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmát fokozzuk, a növények növekedését is fokozhatjuk. Ennek az elméletnek kapcsán fejlődött ki azután az újabb mezőgazdasági irodalomban olyan sokat vitatott  $\text{CO}_2$ -probléma, amely még a mai napig sincsen véglegesen eldöntve.

Bár egyes kísérletek határozottan jó eredménnyel végződtek (Riedel), ellenkező eredmények sem hiányzanak (Denns és Hunnius). Az eredmények eddigi átlaga azt mutatta, hogy különösen üvegházi mesterséges kulturáknál a termést határozottan fokozni lehet. Különösen Kreusler, Reinau, Fischer stb. kísérletei igazolták, hogy kb. 10 térfogatszázalékig lehet a  $\text{CO}_2$ -koncentráció fokozásával a termés nagyságát fokozni.

Újabban Mitscherlich és tanítványai, Jannert és Spirgatis, végeztek ezen a téren alapvető vizsgálatokat, amelyeknek legalább nagy vonásokban sikerült a kérdés kvantitativ vonatkozásait felderíteni.

Mitscherlich 1909 óta elsősorban a növényi termésnek az egyes növekedési tényezőkkel való összefüggését igyekezett megfelelő matematikai képletben kifejezni és felállította a növekedési tényezők hatásfokára vonatkozó törvényszerűséget.



Szerinte, ha a termést befolyásoló többi tényezőket állandónak vesszük és egyet kiválasztva, ennek értékét növeljük, akkor a terméseredményeket analitikusan felhordva, egy logaritmikus görbét kapunk. Ha már most a faktor fokozásával elérhető legnagyobb termést  $A$ -val, az ehhez hiányzó mennyiséget  $A-y$ -val, a változó növekedési faktort  $x$ -el jelöljük, akkor, ha  $y$  a termés változását jelenti  $x$  változásainak megfelelően:

$$\frac{dy}{dx} = (A-y) c \quad \text{I.}$$

ahol  $c$  a kérdéses faktor hatóértékét, illetőleg hatásfokát jelenti.

Ezt a képletet integrálva, a

$$\log (A-y) = C - c'x \text{ egyenletet kapjuk.}^*)$$

Ha azonban  $x = 0$  és  $y = 0$ , akkor:

$$\begin{aligned} \log A &= C, \text{ vagyis} \\ \log (A-y) &= \log A - c'x \end{aligned} \quad \text{II.}$$

Ha tehát az elérhető legnagyobb termésfokozás a termésnek 100%-a lehet és mi az  $x = 1$  értékkel  $y = 50\%$ -ot elértük, akkor  $x = 2$  esetén:

$$x = 50\% + \frac{100-50}{2} \% = 75\%$$

$x = 3$  esetén:

$$y = 75\% + \frac{100-75}{2} = 87.5\%$$

$x = 4$  esetén:

$$y = 87.5\% + \frac{100-87.5}{2} = 93.75\%$$

lesz. Vagyis a faktor fokozásával végre is el fogunk érni egy határt, amelyen túl a termés fokozása már nem lehetséges.

Baule végre az eredeti képletnek a következő formát adta:

$$\log (A-y) = \log A - c' \cdot x$$

\*)  $c' = 0.4343 c$ .



vagy:

$$\frac{A-y}{A} = e^{-c \cdot x}$$

illetőleg:

$$y = A (1 - e^{-c \cdot x}) \quad \text{III.}$$

Ha már most két faktorra  $x_1$ -el és  $x_2$ -vel van dolgunk, amelyekhez  $c_1$  és  $c_2$  tartoznak, akkor B a u l e szerint:

$$y = A (1 - e^{-c_1 x_1}) (1 - e^{-c_2 x_2})$$

és ebből általában:

$$y = A (1 - e^{-c_1 x_1}) (1 - e^{-c_2 x_2}) (1 - e^{-c_n x_n}) \quad \text{IV.}$$

A leggyakrabban használt formája a Mitscherlich-féle egyenletnek a II. forma. Ebből lehet  $y$ -nak és  $c'$ -nek értékét esetről esetre kiszámítani. Természetesen alapfeltétel, hogy  $x$  és  $y$  kezdő értékei 0-val legyenek egyenlők. Minthogy azonban a legtöbb kísérletnél az illető faktor kis mértékben már megvan, azért  $y > 0$  és ezért a II. képletet, minthogy ebben az esetben  $\log (A - y_0) = C$ , a

$$\log (A - y) = \log (A - y_0) - c' \cdot x \quad \text{V.}$$

alakban kell használni, ahol  $y_0$  azt a termésmennyiséget jelenti, amelyet az  $x$  faktornak már kísérlet előtt meglévő mennyisége elő tud idézni.

Nagyon fontos ezenkívül  $c'$ -nek a kérdéses tényező (pl. tápsó,  $\text{CO}_2$ , O, fény stb.) hatóértékének megállapítása.

Ezt az V. egyenletből:

$$c' = \frac{1}{x} [\log (A - y_0) - \log (A - y)]$$

vagy másképen:

$$c' = \frac{1}{x} \log \frac{A - y_0}{A - y} \quad \text{VI.}$$

alakban is írhatjuk.

$c'$ -nek megállapítása a kísérleteknél rendkívül fontos. Ezt a német „Wirkungswert” szó után egyesek  $W$ -vel is jelölik. Viszont  $y$ -nak a változó növekedési faktornak hatására kialakult terméseredményeknek kiszámítása az V. egyenletből a



$$\log \frac{A-y}{A-y_0} = -c' \cdot x \quad \text{egyenlet szerint}$$

$$\frac{A-y}{A-y_0} = e^{-c' \cdot x} \quad \text{és}$$

$$A-y = (A-y_0) e^{-cx} \quad \text{és} \quad y = A (1-e^{-cx}) + y_0 e^{-cx} \quad \text{VII.}$$

Újabban Mitscherlich olyan kísérleteknél, amelyeknél a talajban már eleve jelenlévő növekedési faktornak minden beavatkozás nélkül már bizonyos  $a$  terméseredmény felel meg, az eredeti képletnek a következő formát adja:

$$\log (A-y) = \log (A-a) - c' \cdot x$$

mert ha  $x = 0$ , akkor  $y = a$ .

Ha feltételezzük, hogy  $a$ -t  $x$ -nek  $b$  értékű változása eredményezi, akkor

$$\log (A-a) = \log A - c' \cdot b \quad \text{és ezt V-be helyettesítve}$$

$$\log (A-y) = \log A - c' \cdot b - c' \cdot x, \quad \text{illetőleg}$$

$$\log (A-y) = \log A - c' (x+b), \quad \text{ahol } b \text{ a kérdéses faktornak azt a mennyiségét jelenti, amely a talajban eredetileg benne volt.}$$

Ezeket a törvényszerűségeket elsősorban csak a termőhely: a talaj és a klíma növekedési tényezőire lehet vonatkoztatni. A belső, ú. n. individuális fejlődési faktorokat ma még legalább quantitativ értelemben annyira elhatárolni nem lehet. Természetesen itt nem szabad a matematikai megoldás jelentőségét túlbecsülni és nem szabad azt hinni, hogy ezekkel a számításokkal matematikai értelemben lehet megoldani a gyarapodás kérdését.

Ezek a matematikai megfontolások csak a már meglévő kísérleti adatok közötti quantitativ összefüggések kifejezésére szolgálnak és ezért a Mitscherlich-féle törvényszerűségek matematikai része csak nagy vonásokban jelzi a gyarapodás útját, amelyet a külső és belső tényezők egymásrahatásából kialakult komplikált viszony szabályoz és amelynek megismerése legalább exakt matematikai értelemben még messze van.

Mitscherlich e törvényszerűség alapján most már egyes fontosabb gyarapodási tényezők szerepét tette kísérleti úton vizsgálat tárgyává és ezen kutatásai eredményeképpen megállapította, hogy az egyes kémiai és fizikai növekedési faktorok hatásfoka állandó és úgy a belső, mint a külső növekedési tényezőtől független.

Természetesen a törvényszerűség alkalmazásának logikus



következménye az volt, hogy a Liebig-féle minimum törvényt megfelelően ki kellett bővíteni, miután Mitscherlich eredményei megmutatták, hogy a termést bármelyik faktor befolyásolhatja, ha azt változtatjuk, tekintet nélkül arra, hogy a minimumban van-e az a tényező vagy nincsen.

Rippel ezt azután úgy hozta összefüggésbe Liebig eredeti tételével, hogy kimutatta, miszerint ez a tétel csak akkor érvényes, ha egyik faktor abszolút minimumban van, tehát értéke  $= 0$ . Ha a  $\text{CO}_2$ -asszimilációnál a  $\text{CO}_2$  vagy a fény értéke  $0$ , akkor hiába emeljük a  $\text{CO}_2$  vagy a fény értékét egyedül, a másik tényező  $0$  értéke mint limiting faktor fog szerepelni és ezért a kérdéses élettani folyamat fokozását meg fogja akadályozni. Rippel, Pfeiffer és Vater egyébként a hatóértékek teljes állandóságát is kétségbevonják és bizonyos fokú ingadozásokat lehetségesnek tartanak. A kérdés még nincsen lezárva, azonban Mitscherlich tételeit eddig hatékonyan megcáfolni még nem sikerült.

A  $\text{CO}_2$ -faktor viselkedésére vonatkozólag Mitscherlich tanítványai Jannert és Spirgatis végeztek beható tanulmányokat. Kutatásaik rendkívül éles vitát provokáltak, amelyekben Mitscherlich és tanítványai ellen különösen Rippel, Lundegardh, Reimann és Bornemann foglaltak állást, azonban dacára annak, hogy Jannert és Spirgatis kísérleteinél nem egy kísérleti hibának fennforrását sikerült kimutatniok, a törvényszerűség általános érvényét megcáfolni nem sikerült.

Spirgatis eredményei főleg a következőkben foglalhatók össze: 1. A  $\text{CO}_2$  hatásfoka  $W$  nem állandó, hanem függ a fény intenzitásától. 2. Teljes fény élvezetét feltételezve, a növények a levegő normális  $0.03\%$  (térfogat)  $\text{CO}_2$ -tartalmához belsőleg aklimatizálódnak és azért normális fényviszonyok mellett a  $\text{CO}_2$ -tartalom fokozásával jelentékeny terméseredményt elérni nem lehet, mert ilyen viszonyok mellett  $0.03\%$   $\text{CO}_2$  jelenlétében a növények a legnagyobb termés  $95.6\%$ -át produkálják.

Spirgatis szerint a  $\text{CO}_2$  hatásfoka  $W$  és a fény intenzitása között a  $\log W = 2.1 - 0.3447$  viszony áll fenn. A fény intenzitását az illető tenyészetű időszak közép fényintenzitásának ( $= 1$ )  $\%$ -ában fejezik ki.



Ha tehát

$$\log W = 2 i - 0.3447 \text{ akkor}$$

$$\log (100 - y) = \log 100 - 0.03 \cdot W \text{ és } y = 95.6$$

Ha azonban a fény mennyisége kevesbedik, akkor a helyzet lényegesen megváltozik, mert abban az esetben az asszimiláció intenzitását a  $\text{CO}_2$ -koncentráció emelésével jelentékenyen fokozni lehet.

Pl. 0.5 fényintenzitás mellett a  $\log W = 2.05 - 0.3447$  egyenlet szerint 0.3 térfogatszázalék  $\text{CO}_2$  kell a 95% terméseredmény eléréséhez.

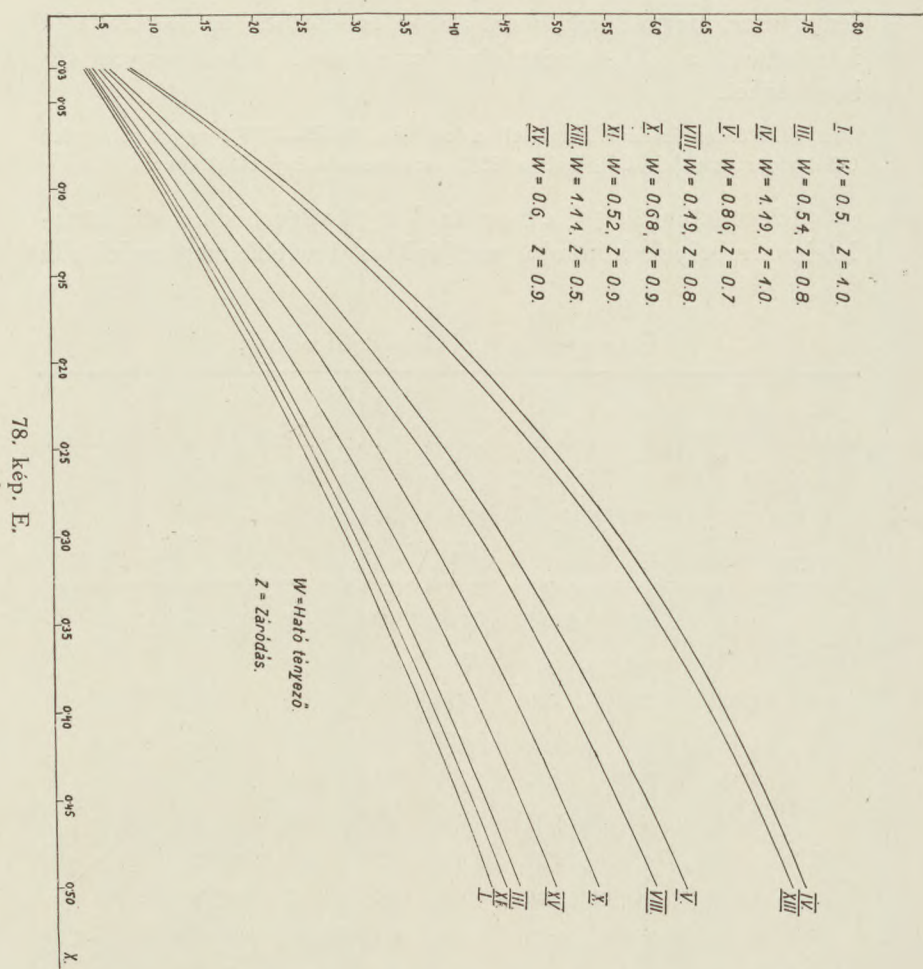
Idevonatkozólag Fehér és Vági végeztek beható kísérleteket, amelyek kiinduló pontjául és további meggondolásuk

#### Fényintenzitási adatok.

A kísérleti terület száma	Bunsen-Roscoe egységek		Teljes fény és át- eresztett fény viszonya	Az át-eresztett fény % -a	A korona által vissza- tartott fény mennyisége a teljes fény %-ában (i)	Törzsszám egy hektáron	Cieslar f. árnyé- kolási koeficiens $\frac{i}{n} \cdot 100$	Zárlat	Megjegyzés
	Teljes fényben	Erdőben							
I.	46.1	1.04	44.33	2.26	97.74	12,000	0.8145	1.0	* Fialat sarjerdő
II.*				100.0	0			0.9	
III.	15.02	2.10	7.15	3.98	86.02	1,800	4.778	0.8	
IV.	15.02	3.21	4.68	21.37	78.63	1,675	4.6943	1.0	
V.	53.16	7.45	7.22	14.00	86.00	725	11.862	0.7	
VI.	81.037	17.303	4.689	21.40	78.60	600	13.1	0.4	
VIII.	8.009	0.9646	8.22	12.17	87.83	1,200	7.3192	0.8	
X.	61.039	5.6188	10.863	9.21	90.79	2,300	3.9473	0.9	
XI.	87.19	2.79	31.25	3.19	96.81	2,100	4.61	0.9	
XIII.	53.163	10.608	5.0115	19.95	80.05	3,50	22.871	0.5	
XV.	70.41	4.25	16.57	6.04	93.96	3,050	3.080	0.9	
XVI.	13.057	2.1032	6.208	16.11	83.89	1,725	4.863	0.9	
XVII.	24.618	2.9986	8.214	12.18	87.82	4,100	2.1420	0.9	
VXIII.				100.0				0.2	



alapjául Mitscherlich eredményeit választották, miután azok legalább nagy vonásokban a probléma quantitativ összefüggéseire felvilágosítást adnak. A mi erdőállományaink túl-

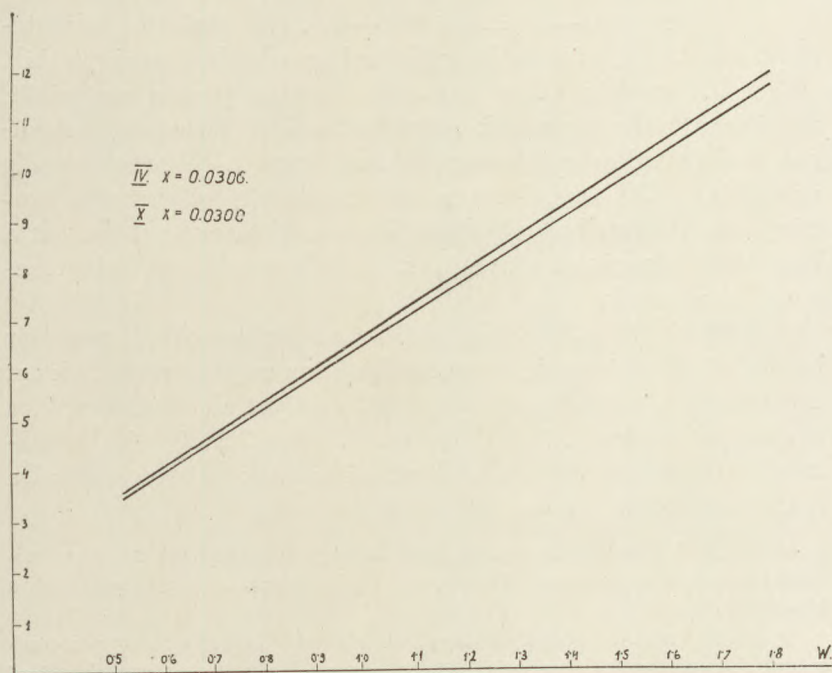


78. kép. E.

nyomó része, különösen a helyesen kezelt és ennek következtében jól zárult középkorú és idős állományok koronazárlata a fény jelentékeny részét visszatartja. Ezért csak a koronák felső része áll a fény teljes élvezetében, az alsó rész már árnyékban



van, amely a korona tömötsége szerint folyton fokozódik. Amint a mellékelt táblázatban a fényintenzitás adatai mutatják, a jól záródott koronák alsó részén már csak kereken 2—25% fény jut keresztül és ezért a meglevő  $\text{CO}_2$ -koncentráció mellett csak kis százalékát érhetjük el a maximális termésnek, illetőleg fatömegnövekedésnek.



79. kép. E.

Fehér és Vági a csatolt grafikonokban kiszámították, a) hogy a Mitscherlich-féle törvényszerűség alapulvétele mellett a levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmának fokozása az egyes kísérleti területeken milyen terméseredményeket hozna létre az elérhető legnagyobb termés százalékában (l. 78. kép); b) hogy az adott és mért  $\text{CO}_2$ -koncentráció mellett a fény intenzitásának növelése hogyan befolyásolná a termés, illetőleg a fatömegnövekedés nagyságát (l. 79. kép).

Amint a grafikonokból látjuk, a fák  $\text{CO}_2$  asszimilációját



ezekben a szintekben a  $\text{CO}_2$ -mennyiség növelésével már jelentékenyen fokozni lehet.

Ez utóbbi számítás alapjául a Spirgatis—Mitscherlich-féle

$$\log W = 2i - 0.3447 \text{ egyenletet vették.}$$

Ebből kiszámították a különböző fényintenzitásokkal  $W^*)$  értékét és azt

$\log (100 - y) = \log 100 - W \cdot x$  képletbe helyettesítve,  $x = \text{CO}_2\%$  különböző értékeivel az adatokat kiszámították.

A 78. sz. kép adatai mutatják, hogy a termés nagyságát, illetőleg a fatömegnövekedés nagyságát a  $\text{CO}_2$  térfogatszázalékának emelésével jelentékenyen fokozni lehetne. Minthogy pedig az erdőtalaj  $\text{CO}_2$ -termelését az erdőtalajban folyó korhadás szabályozza, világos, hogy gyakorlati beavatkozásainkkal, ha ezt a korhadási folyamatot elősegítjük, a  $\text{CO}_2$ -produkciót jelentékenyen fokozhatjuk.

A 78. és 79. sz. képeken feltüntetett grafikonokból most már bármelyik állományunkra tapasztalati úton meghatározhatjuk azt a legnagyobb évi fatömegnövekedést, amelyet elérni óhajtunk és azután meghatározhatjuk, hogy ennek vagy 70, 80, 90 stb. százaléknak eléréséhez a  $\text{CO}_2$ -koncentrációnak milyen fokozása lenne szükséges.

Ha pl. 1 h területen egy 50 éves lúcfenyőállomány évi  $10 \text{ m}^3$ -es növekedést mutat és ha mi ezt  $15 \text{ m}^3$ -re akarjuk fokozni, akkor számításunk a következő lesz:

Ha  $20 \text{ m}^3$ -ben állapítjuk meg az elérhető legnagyobb terméseredményt A-t, akkor  $15 \text{ m}^3$  ennek 75%-át képezi. Ha a fényintenzitást átlag 30%-al mértük, akkor a grafikon szerint a 75% fokozást pl. 0.4%  $\text{CO}_2$  koncentráció mellett érhetjük el.

Ha pedig a koronában 0.05%  $\text{CO}_2$ -t mértünk és tudni akarjuk, hogy az adott 30% fényintenzitás mellett a  $10 \text{ m}^3$  évi növekedés hány %-át adja az elérhető legnagyobb terméseredménynek, akkor

$$\log W = 2i - 0.3447$$

kiszámítjuk  $W$  értékét és ezzel a

$$\log (100 - y) = \log 100 - W \cdot 0.05 \text{ egyenletből}$$

kiszámítjuk  $y$  értékét %-ban és ebből természetesen a  $\text{CO}_2$  fokozásával az adott fényintenzitás mellett az elérhető fatömegnövekedést  $\text{m}^3$ -ben is ki tudjuk számítani.

\*)  $W = c$ .



Természetesen ezeket az adatokat nem szabad másnak mint tájékozódásnak tekintenünk. A feleletet a kísérleti adatoknak kell megadniuk. Bizonyosnak látszik azonban, hogy az erdőben az ott uralkodó világossági viszonyok mellett a  $\text{CO}_2$ -tartalom fokozása a fatömegnövekedés fokozására vezet.

Egy bizonyos mértékig a levegő szén-sav tartalmának növelése feltétlenül maga után vonja a  $\text{CO}_2$ -asszimiláció intenzitásának arányos emelését. Így Lundegardh azt találta, hogy a levegő  $\text{CO}_2$  tartalmának majdnem hatszoros növeléséig megmarad az asszimiláció intenzitásának arányos emelkedése. Később aztán csökkenés áll be. Általában úgy látszik, hogy a  $\text{CO}_2$ -tartalom emelése is idővel a  $\text{CO}_2$ -tartalom és az asszimiláció intenzitása közötti viszonyt ábrázoló görbék logaritmikus lefolyását eredményezi. Úgy látszik tehát, hogy a levegő szén-sav tartalmának egy bizonyos fokon túl való növelésével benső akadályozó tényezők lépnek fel, amelyek az asszimiláció intenzitásának tovább fokozását megakadályozzák. Vannak kísérletek, amelyek szerint viszont kertészeti növényeknél egészen 10 térfogatszázalékig lehet a levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmát emelni és azzal még mindig termésnövelés jár együtt. Ezen a téren kétségtől még szintén alapos vizsgálatokra van szükség.

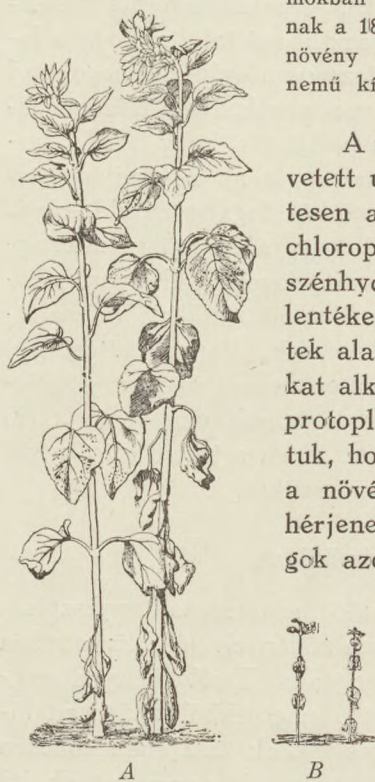
### A nitrogén asszimilálása.

Amidőn a növények vízben való mesterséges tenyésztésével foglalkoztunk, kimutattuk, hogy a növények nélkülözhetetlen táplálékainak sorába tartozik a nitrogén is. Erről könnyen meggyőződhetünk olyan kísérletek útján, amelyekből világosan kiderül, hogy azok a növények, amelyeknek talajában nincsen nitrogén, növekedésükben nem fognak haladni, nem fognak jól tenyészni (l. 61. kép); bár bizonyos mértékű gyarapodást fognak mutatni, amennyiben a fiatalabb részek a magból nyert nitrogén felhasználása után, a fejlődésükhöz szükséges nitrogént az idősebb részekről fogják elragadni.

A nitrogénnek szükséges voltát bizonyította be kísérleteivel Bous-singault (1860), amidőn a kísérletül szolgáló növényt, a *Helianthus argophyllus*-t először hamualkotórészek nélkül, másodszor hamualkotórészekkel és salétromsavas káliummal, harmadszor hamualkotórészekkel és szén-savas káliummal, de nitrogén nélkül tenyésztette homokban. A ki-



sérlet eredménye világosan bizonyította a nitrogén szükségességét, mert az első és harmadik kísérletben a növény hosszabb idő múltán is nagyon kevés, alig számbavehető mennyiséggel gyarapodott, a második kísérletben azonban tetemes volt a gyarapodás (l. 80. kép). A csekély mennyiségű gyarapodás (a száraz anyag 77 nap alatt 4'6-szeresére emelkedett) az elégtelen nitrogénnek tudandó be, amely még a talajban maradt, vagy pedig esetleg a levegőből került a növénybe. A salétromsós homokban a száraz anyag 77 nap alatt eredeti súlyának a 188-szorosára szaporodott. A nitrogénnek a növény táplálkozásában való szükségességét ilyen mű kísérletek kétségtelenül bizonyítják.



80. kép.

A *Helianthus argophyllus* A salétrommal trágyázott, B salétromot nélkülöző talajban Boussingault kísérlete szerint. Mindkettő ugyanolyan mértékben kisebbitve.

A nitrogén fontosságáról azonban közvetett úton is meggyőződhetünk. Nevezetesen a széndioxyd asszimilálás folytán a chlorophyllszemecskékben megalakul a szénhydrát, amely a növényi testnek jelentékeny részét alkotja különböző vegyületek alakjában, pl. mint cellulóz a sejtfalakat alkotva meg. Ámde a sejt testének, a protoplazmának ismertetésében kimutattuk, hogy a sejtnak ez az élő része, tehát a növényi testnek legfontosabb része fehérjenemű anyagokból áll. A fehérjeanyagok azonban a szénhydrátokat alkotó szén, hydrogen és oxygenen kívül még nitrogénből is állnak és ezenkívül még kevés ként és phosphort is tartalmaznak. A nitrogén ezek sorában, a különböző fehérjeanyagokat tartva szem előtt, körülbelül 15—19%-nyi mennyiségben van meg, amit átlagosan 17%-nak vehetünk. E szerint tehát a

növénynek a nitrogén mindig nagyobb mennyiségben szükséges, mint bármely más hamualkotórész. A hüvelyesek nitrogénben bővelkedő magja száraz anyagának 4—9%-a, a gabonaneműek magjának 2—3%-a nitrogén. A gumók, zöldségfélék, levelek száraz anyagában 1'5—6% nitrogén van, míg friss,



duzzadt állapotban 0'3—1'2%-ot tartalmaznak. A növényekben, különösen az emberek élelmiszereiben foglalt nitrogénről, K ö - n i g elemzései, míg a fák és különböző részeik nitrogéntartalmáról E b e r m e y e r elemzései adnak felvilágosítást. Ez utóbbi közlése szerint a bükkmakk száraz anyaga 3'04%, a gesztenye 2'50% nitrogént tartalmaz. Minél fiatalabb valamely növényrész, annál több nitrogént tartalmaz, tehát a friss hajtások, fiatal levelek nitrogéntartalma nagyobb, mint a fatesté. A különböző lombos fák leveleinek nitrogéntartalma 1'24—2'84% között változik; a tűlevelű fák leveleiben valamivel kisebb a nitrogéntartalom (0'91—1'06). Általában nitrogénben bővelkednek azok a növényrészek, amelyekben új sejtek képződésével járó élénk növekedés tapasztalható, mint a kambiumban, rügyekben, fiatal hajtások csúcsában. Ezek a jelenségek kapcsolatban azzal a jelenséggel, hogy a nitrogént egyetlen élő szervezet sem nélkülözheti — legalább eddigelé ilyesméről kifogástalan bizonyítékaink nincsenek — azt bizonyítják, hogy a nitrogén a növényeknek szükséges és fontos anyaga, amely a növény testében a táplálkozás folyamán gyarapodik, hogy az újonnan alakuló sejtekben a szükséges fehérjeanyagok megalakulhassanak.

#### *A nitrogén forrása és felvételének módja.*

A nitrogén fontossága a növény táplálkozásában arra indít, hogy rámutassunk azokra a forrásokra, amelyekből a növény nitrogénszükségletét fedezi és rámutassunk azokra a vegyületekre, amelyeknek alakjában a nitrogén bejut a növény testébe.

A levegőben tudvalevően tekintélyes mennyiségű szabad nitrogén van, hiszen 100 térfogatrészben 79 térfogatrész és 100 súlyrészben 77 súlyrész a nitrogén, ami már így is tekintélyes mennyiség. Még szembetűnőbb e mennyiség nagysága, ha a földünket körülvevő levegőtenger tömegét vesszük tekintetbe. Ha csak egy hektár terület felett nyugvó levegő tömegét vesszük számításba, úgy ebben már 800.000 q nitrogén van, tehát annyi, amennyit 5 millió q chileisalétrom ( $\text{NaNO}_3$ ) tartalmaz.

Ilyen körülmények között kézenfekvő volt az a gondolat, hogy a N-t a növények talán a levegőből is felvehetik. Ezen a téren az utolsó évtizedekben nagyon sok kutatás és vita folyt



le, amelyeknek eredményeképpen ma már tudjuk, hogy a növények, vagy legalább is a zöld növények a levegő szabad nitrogénjét felvenni nem tudják és nitrogén táplálkozásukat illetőleg néhány kivételes, később említendő esettől eltekintve, ahol szimbiotikus baktériumok közvetítik a levegő nitrogénjének felvételét, úgyszólván kizárólag a talaj N-tartalmú vegyületeire, mégpedig elsősorban a nitrátokra vannak utalva.

A magyar kutatók közül K ö v e s s i egy nagyon ügyesen megszerkesztett műszert állított össze, amelynek segítségével kísérleti úton bebizonyította, hogy a zöld növények a levegő nitrogénjét felvenni, hasznosítani és asszimilálni nem tudják (l. 81. kép).

A levegőben csekély mennyiségű ammóniát, továbbá az esővízben lévő N-vegyületeket a levelein keresztül is fel tudja venni a növény, illetőleg ezek a leveleken keresztül is be tudnak jutni a növény belső szöveteibe, azonban ezeknek mennyisége olyan kevés, hogy gyakorlati szempontból nem is jöhetnek tekintetbe.

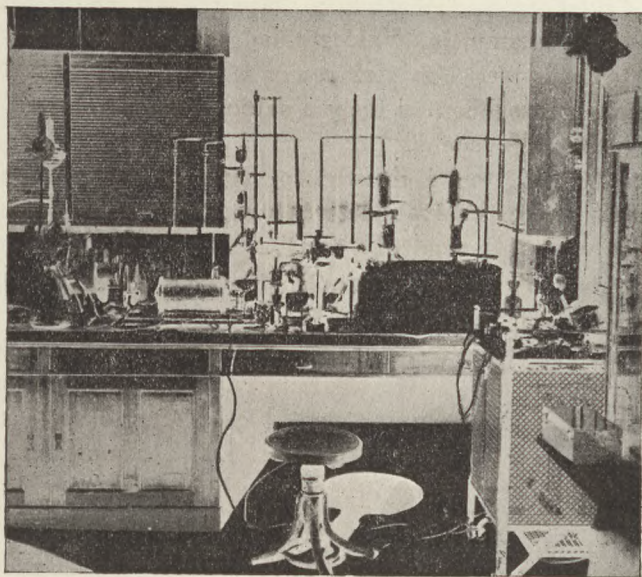
A termőtalajban a nitrogén mint a nitrát- és az ammónia-vegyületek alkotója van jelen; ezeken kívül a talajba jutott szerves anyagokban fordul elő különböző összetett vegyületek alakjában, amelyek azonban a folytonos bomlás folytán egyszerű N-tartalmú vegyületekké esnek szét. A termőtalaj adszorpciós sajátságainál fogva azonban a nitrátokat alig, vagy egyáltalában nem tartja vissza, mert ezek a talajból nagyon könnyen kimosódnak. Különbözik pedig ezeket az anyagokat, mint nélkülözhetetlen táplálékot, a talajból a növények is nagy mértékben fogyasztják. Ily módon a termőtalajból a nitrogénvegyületek csakhamar eltűnnének és pedig annál is inkább, mert a nitrogénvegyületek megbontásában még a talajban élő baktériumok is közreműködnek. Ezekkel a folyamatokkal ellentétben azonban ismerünk olyan folyamatokat is, amelyek által a talaj nitrogéntartalma folyton gyarapodik.

A mezőgazdaságnak tehát gondoskodni kell arról, hogy a talajokból elvitt, illetőleg felhasznált N-vegyületeket pótolja, amely pótlás célját szolgálja a trágyázás. Az erdőgazdaságban az erdő maga gondoskodik a lombhullás által a N-ben gazdag táplálóanyagok pótlásáról, amint azt F e h é r - nek „az erdőtalaj N-anyagcseréje” című szakaszban vázolt vizsgálatai kimutatták.



A következőkben most már röviden foglalkozni fogunk az-  
zal, hogy milyen formában jut a talajba a nitrogén és így fog-  
lalkozni fogunk a termőtalajok N-tartalmát szaporító folyama-  
tokkal.

Régi idő óta ismeretes, hogy a légkör levegőjében nagyon  
csekély mennyiségben található a salétromossavas, salétromsavas  
és a szénsavas ammónia, amelyek elektromos kisülések által, el-  
égéskor vagy párolgás útján jutottak bele. Különösen fontosak



81. kép.

Kövessi-féle készülék annak bizonyítására, hogy a magasabbrendű növények nem képesek  
a levegőből önállóan a gázalakú N-t felvenni. Kövessi után.

e tekintetben az elektromos kisülések, amelyeknek hatása alatt  
a nitrogén oxydálódik salétromossavvá és salétromsavvá, külö-  
nösen nedves levegőben, tehát zivatarok alkalmával. Az elektro-  
mos szikrák a levegőn átcsapva, kisebb mértékben száraz leve-  
gőben is oxydálják a levegő nitrogénjét, sőt nem lehetetlen az  
sem, hogy egyéb elektromos áramok bizonyos körülmények kö-  
zött a talajban magában is megkötik a nitrogént.

A levegőben különben még égési folyamatok útján és pedig



a vulkáni kitörések alkalmával kötődhetik meg a nitrogén, mert hiszen ismeretes, hogy égéskor és magasabb hőmérsékleten a nitrogén más elemekkel vegyületet alkothat.

A légkörben lévő nitrogénvegyületek azután az eső, a hó, sőt a köd által is a talajba jutnak.

Az esőnek és a hónak ebből a sajátosságából következik, hogy minél gyakoribb a csapadék, annál több nitrogén jut a talajba. És ezt nem módosítja nagy mértékben a zivatarok gyakorisága vagy elmaradása sem, mert zivatar nélküli időben is még elég nitrogén mutatható ki a csapadékban, amint azt a hóvíz vizsgálata bizonyítja. Valószínűleg összefügg ez azzal a jelenséggel, hogy gyengébb elektromos kisülések és áramok mindig vannak a levegőben és hogy a salétromsav a talajból a porral is bejuthat a levegőbe.

Bár látszólag ez a mennyiség csekély, mégis szaporodik a csapadék gyakoriságával, de mindamellett évente sem jut tetemes mennyiség a levegőből a talajba. Mayer szerint ugyanis egy évben egy hektár területre 1 kg kötött nitrogén sem jut a levegőből. Welbel és Bieler szerint azonban egy hektárra jóval több jut; előbbi szerint 4'25 kg, utóbbi szerint 5—6 kg.

Boussingault vizsgálataiból tudjuk, hogy az eső salétromsavtartalmának maximuma 1 l esővízben 6 mg, de többnyire csak 1—3 mg, vagy még kevesebb. De nemcsak az esővíz képes a légkör nitrogénvegyületeit esés közben magával ragadni, hanem a hó is. Boussingault a frissen esett hó 1 l-ében 1'78 mg ammóniát talált. Göppelröder a baseli hó vizében átlag 2'78 mg salétromsavat tudott kimutatni. Waller és Schutt kevésbé megbízható vizsgálatai szerint a hóvízben az ammónia és a salétromsav is még nagyobb mennyiségben van meg. Már ezekből az adatokból is kitűnik, hogy a hónak a mezőgazdaságban is jelentős szerepe van, mert nemcsak megvédi a fagyás ellen az őszi vetéseket, hanem még táplálékot is juttat a talajba.

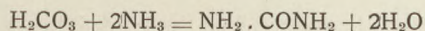
De ha még ezeket az utóbbi, aránylag nagy mennyiségeket vesszük is figyelembe, a mezőgazdaság szempontjából ezeket is nagyon csekélyeknek kell tartanunk ahhoz a mennyiséghez képest, amelyet évente aratáskor a termőtalaj 1 hektárjáról elszállítunk, amely átlagosan évente 50 kg-ra becsülhető. Éppen



ezért ez a csekély mennyiség a gyakorlat szempontjából alig bír jelentőséggel.

A nitrogén főforrása a talajban azonban kétségkívül a talajba jutó N-tartalmú szerves vegyületeknek korhadása, amelyet nitrifikáció név alatt ismerünk. Ennek a folyamatnak végeredményeképpen a talajba nitrátok jutnak, amelyek a zöld növények legfőbb nitrogéntáplálékát képezik. A nitrátoknak a talajban való képződését és általában a nitrogéntartalmú szerves anyag bomlását, feldolgozását, továbbá a denitrifikációt már a fehérjék bomlása című fejezetben részletesen ismertettük. Kiegészítésül a nitrifikáló baktériumokról még röviden a következőket jegyezzük meg:

A nitrifikáló baktériumok a szerves táplálóanyagokon, különösen a cukortartalmú szerves táplálóanyagokon nem tenyésznek és amint kísérletileg bebizonyították, ezek a szervezetek a felvett egész  $O_2$ -mennyiséget az ammónia, illetőleg a nitritek oxydációjára fordítják. Közelfekvő volt tehát az a gondolat, hogy ezek az élő szervezetek életfolyamataikhoz cukrokat egyáltalában nem igényelnek. Itt tehát egy tipikus esettel van dolgunk, amelyben az élő szervezetek számára különben olyan fontos cukoranyagok teljesen jelentőség nélkülivé válnak. Ez a körülmény Winogradskyt arra indította, hogy a nitrifikáló baktériumok  $CO_2$  asszimilációjára vonatkozólag, amely baktériumok — amint a kísérleti adatok bizonyítják — a levegő szén-savát a vízzel kapcsolatban felveszik és felbontják, anélkül, hogy  $O_2$ -t termelnének, a következő elméleti egyenletet állítsa fel:



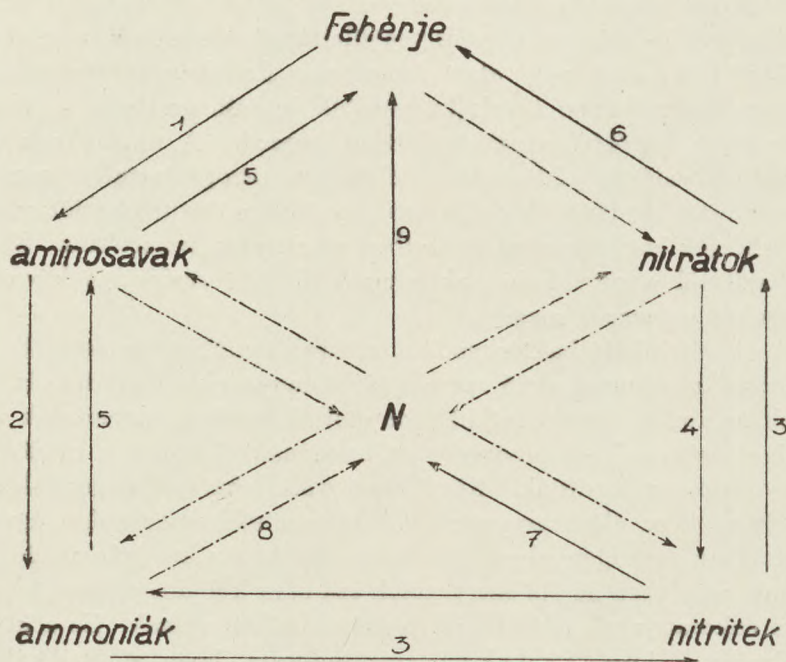
Ezeknél tehát, ellentétben a zöld növények fotoszintetikus folyamataival, tipikus chemoszintetikus folyamatokkal van dolgunk.

Újabban Meyerhof ezeket a baktériumokat illetőleg beható vizsgálatokat végzett a N-oxydációra és a C-asszimilációra vonatkozólag. Az ő adatai a következők:

Oxydált N	= 475,	476,	375,	378
Asszimilált C	= 352,	355,	263,	295
N + C viszonya	= 135,	131,	143,	138



A N-anyagcsere körfolyamatát egyébként a következő vázlatban adjuk:



1. fehérjebomlás, 2. ammóniaképződés, 3. nitrifikáció, 4. denitrifikáció, 5. ammónium és aminosav asszimiláció, 6. nitrát asszimiláció, 7. denitrifikáció, 8. ammónium oxydáció, 9. N-kötés a levegőből. A pontozott vonalakkal jelzett folyamatok még nem ismeretesek eléggé. Löhner után.

A levegő nitrogénjét megkötő talajbaktériumok. A talaj N-vegyületeinek másik forrása a levegő szabad nitrogénjét megkötő baktériumokban, gombákban és moszatokban keresendő. Berthelot (1885) volt az első, aki kimutatta, hogy a műveletlen talajban a levegő nitrogénje lekötődik és pedig különböző baktériumok által. Később azonban Winogradsky kitaró és hosszadalmas vizsgálatok alapján megállapította, hogy a nitrogént a talajbaktériumok közül csak az általa kiválasztott *Clostridium Pasteurianum*-nak nevezett baktérium tudja lekötöni. Ezt a baktériumot Winogradsky-nak sikerült tisztán tenyésztenie.



A *Clostridium Pasteurianum* (*Bacillus Pasteurianus*) hengeres, élénken mozgó,  $5\mu$  hosszú,  $1.2\mu$  vastag, pálcikaalakú, amely a spóráképzés előtt közepén feldagad. A spóra kiszabadulásakor pedig a spóráképző sejt fala nem bomlik szét, hanem felreped. A *Clostridium Pasteurianum* szigorúan vett (obligát) anaerob baktérium; nitrogénmentes táplálóanyagokban is tenyészik, amelyek szervesetlen sókon kívül dextrózt tartalmaznak és ez alatt nitrogént köt meg, amely csak a levegőből származhatik. A nitrogén lekötése, illetőleg asszimilálása annál élénkebb, minél több cukor van a táplálóanyagban. A nitrogén asszimilálásához szükséges energiát a cukor erjedésekor felszabaduló energia szolgáltatja. Winogradsky kísérleteiben a 4% cukrot tartalmazó táplálóanyagban 20, illetőleg 15 nap múlva 28.87, illetőleg 24.68 mg nitrogén kötődött le. Érdekes, hogy ez a baktérium aerob módon, tehát oxigén hozzájárulásával is tenésztethető, de csak más, ugyancsak aerob mikroorganizmusok, nevezetesen baktériumok jelenlétében, amelyek az oxigént elhasználják. A táplálóanyagokba helyezett nitrogénvegyületek korlátozzák a szabad nitrogén lekötését.

A nitrogénlekötő baktériumokkal való foglalkozás folyamán megszorodott e baktériumok száma is. Ezek sorában különösen a Beijerinck felfedezte *Azotobacter chroococcum*-ot említjük meg, amely többé-kevésbé az előbbihez hasonlóan viselkedik, eltér azonban tőle azáltal, hogy aerob és hogy a táplálóanyagokban kevésbé válogatós.

Az *Azotobacter*-nek rendszerint két fajtát különböztetjük meg: az *Azotobacter chroococcum*-ot, amely nem mozgékony és az *Azotobacter agile*-t, amely mozog és fluoreszkál. Az *Azotobacter*, ellentétben a nitrifikáló baktériumokkal, nagyon élénken lélekzik és ezért a N-kötéshez mindig szerves anyagokra, illetőleg szénhidrátokra van szüksége. Rendkívül érdekes, hogy ez a baktériumfaj nagyon gyakran szimbiozisan áll egyes *Cyanophyceae*-kkel, amelyek neki cukrot szolgáltatnak és viszont a baktérium a moszatot ellátja N-vegyületekkel. Az *Azotobacter*-t kísérő baktériumok közül csak tájékoztatásul említjük meg a *Bacterium aerogenes*-t és a *Bact. radiobacter*-t, amelyek szín-



tén megkötik a nitrogént (a baktériumokra vonatkozólag lásd a képmellékletet).

Ezeket és más hasonló baktériumokat, mint *Azotobacter* organizmusokat egybefoglalva, különösen Krüger és Schneidewind, továbbá Gerlach és Vogel és mások is pontosan megvizsgálták és a végzett kísérletekből megállapították, hogy megfelelő feltételek között elég tekintélyes mennyiségű nitrogén gyűlik meg a talajban, vagy a táplálóanyagban a baktériumok munkája folytán. Az *Azotobacter* megfelelő feltétele pedig az, hogy a talajban meglegyen a szilárd szénhidrát és a szükséges szerves anyag, továbbá a megfelelő hőmérséklet és a talajnak célszerű szellőztetése.

A kutatók sorában azonban nem hiányoztak olyanok sem, akik ezeket az eredményeket kétellyel fogadták. Nevezetesen Thiele (1906) elismeri ugyan, hogy az *Azotobacter* a laboratóriumban nitrogént képes lekötni, de nem tartja lehetetlennek, hogy a nitrogént lekötő tulajdonsága a laboratóriumban csak az éhség folytán nyilvánul meg, vagy pedig a bőséges szerves táplálék folytán váltódik ki. Bredemann (1908) azt tartja, hogy a különböző nevek alatt leírt nitrogénlekötő baktériumfajok (névszerint: *Clostridium americanum* Pringsh., *Bacillus amylobacter* I. Gruber, *Bacillus saccharobutyricus* v. Klecki, *Granulobacter butyricum* Beij. és *Gr. pectinovorum* Beij. et v. Delden) tulajdonképpen csak egy fajt alkotnak, a *Clostridium Pasteurianum* Winog. fajt, amelynek spórája alakban és nagyságban változhatik, amelynek azonkívül a különböző szénhidrátanyagokra vonatkozó felhasználási képessége is változást szenvedhet; megváltozhatik azután a létrehozott erjedés eredménye és mennyisége, végül pedig a baktériumnak nitrogénmentes anyagban való tenyésztése és a szabad nitrogént lekötő képessége is. Ez utóbbi képessége különösen a mesterséges tenyésztésben elvész, de valamennyi nitrogéngyűjtő baktérium ismét helyreáll a sterilizált talajban való tenyésztés által. Bredemann kísérleteiben a nitrogén lekötése nagy ingadozásokat mutatott, amennyiben a felhasznált 1 g dextrózra 0'35—6'6 mg lekötött nitrogén esett.

Hogy azonban a nitrogén lekötése, illetőleg asszimilálása



miként megy végbe, még a mai napig is ismeretlen. Wino-gra d s k y azt gyanította, hogy a baktérium plazmájában a szabad nitrogénből és a vajsavas erjedéskor felszabaduló hidrogénből talán ammóniát alkot, amely azután legnagyobb részét a további folyamatok alatt oldhatatlan szerves vegyületté alakul át és csak kis részben lesz belőle oldható vegyület.

Bármiként vélekedjünk is ezekről a még tisztázandó kérdésekről, annyi bizonyos, hogy nitrogént lekötő baktériumok vannak a talajban. Hasonló tulajdonságot véltek találni némely gombában is. Újabban azonban Frölich (1907) kimutatta, hogy a *Penicillium glaucum* és az *Aspergillus niger* nem képesek a szabad nitrogént lekötni, ellenben az elhalt növényrészeken élő *Alternaria tenuis*, *Macrosporium commune*, *Hormodendron cladosporioides* és a *Cladosporium herbarum* nitrogénmentes anyagokon tudnak tenyészni és a levegő szabad nitrogénjét szénhidrát jelenlétében asszimilálják. Ellenben több alsóbbrendű moszat nem képes a nitrogént lekötni, jóllehet sokan ezt a képességet náluk feltalálni vélték. Azonban kétségtelenül bebizonyított tény, hogy egyes moszatok — amint már előbb említettük — ezekkel a szabad N-kötő baktériumokkal valóban szimbiózisban állanak.

A N-kötés valószínűleg redukciós folyamat, úgyhogy az *Azotobacter* a nitrátokat is képes ammóniává redukálni és kétségtelen, hogy az *Azotobacter* munkája a talajban néha éppen fordítottja a nitrifikáló baktériumok munkájának. A redukció leggyakoribb terméke az ammónia és nem az elem formájában jelenlévő szabad nitrogén. Általában az újabb adatok egybevetésével becslésszerűen megállapíthatjuk, hogy a levegő szabad N-jét megkötő mikroorganizmusok hektáronként 15—25 kg nitrogénnel gazdagítják a talajt. Jellemző, hogy minél délebbre megyünk, annál intenzívebb a talajoknak baktériumok útján való N-kötő képessége.

A talajban való szabad nitrogén lekötése nem egykönnyen bizonyítható a termőtalajban közvetlenül. A közvetett bizonyításra például szolgál K ü h n kísérlete, amikor 25 éven át ugyanazon a szántóföldön rozst termelt anélkül, hogy nitrogéntar-



talmú trágyával trágyázta volna. A termés pedig nem csökkent, sőt emelkedett. Ugyanis egy hektáron termett:

	1879		1894/8	
	széna	szalma	széna	szalma
Trágya nélkül . . .	18'20	24'60	19'74	39'14
Nitrogénmentes trágyával	17'70	25'20	19'76	43'63

K ü h n ebből az eredményből azt következteti, hogy évente több nitrogén kötődött meg, mint amennyit aratáskor a szántóföldről eltávolítottak, minthogy pedig a rozs maga nitrogént nem képes megkötni és a csapadékkal is a talajba jóval kevesebb nitrogén jutott, a nitrogén nagyobb mennyiségét csak a talajban lévő baktériumok köthették meg.

P f e i f f e r számításokkal és párhuzamos kísérletekkel azt igyekszik bizonyítani, hogy K ü h n kísérleteinél tulajdonképpen a rablógazdaság jelensége előtt állunk, amennyiben más pontos termelési kísérletekben az aratási eredmény csökkenését mutatták ki. Nagyon természetesen a kísérletül szolgáló talaj állapota is döntő súlyú a kísérletek eredményére nézve. Ezért jegyzi meg S c h n e i d e w i n d, hogy minél kisebb a talaj termőképessége, annál kisebb a nitrogéntartalma és annál kevesebb nitrogént fog a talaj a növény rendelkezésére bocsátani, ellenben minél nagyobb a termőképessége, annál nagyobb a nitrogéntartalma és annál több nitrogént fog a növénynek átadhatni. Amiből önkét következik, hogy a nitrogéntrágya elhagyásával minden esetben rablógazdaságot üzünk; lehetnek azonban esetleg olyan viszonyok, amelyek között a szabad nitrogén lekötése éppen olyan nagy, mint a talajnak az aratás által való nitrogénvesztése. A nitrogént lekötő szervezetek jóformán minden talajban megvannak kisebb-nagyobb mértékben, tehát a baktériumok nitrogénlekötő munkáját éppen ezért nem szabad lekicsinyelni, de túl sem becsülni. Mindenesetre a mezőgazdaság helyesen jár el, ha figyelme a termőtalaj kezelésében e munkára is kiterjed.

A nitrogént lekötő gyökérbeli baktériumok. A *Clostridium Pasteurianum* és az *Azotobacter chroococcum* munkájánál könnyebben bizonyítható módon kötik le a szabad, elemi nitrogént azok a baktériu-



mok, amelyek a hüvelyes és némely más növények gyökerein lévő gumószerű képletekben élnek.

Már a régi római mezőgazdasági írók tudósítanak arról, hogy némely növény, különösen a hüvelyesek képesek a talaj „trágyaanyagait” gazdagítani. És mégis erről a sajátosságról, ha itt-ott a gyakorlati megzögzözdák előtt ismeretes volt is, a tudományos világ nem vett tudomást.

Boussingault, a jeles kutató, mutatott először rá 1838-ban arra a Hellriegel-től később nagy fáradsággal bizonyított jelenségre, hogy a hüvelyesek és a gabonaneműek nitrogénnel való táplálkozása között jelentős különbség van.

Schultz mezőgazda Lupitzban azt találta, hogy sovány talajú szántóföldjén a nitrogéntartalom nem apadt 20 év alatt, holott arról évenként csillagfürt (*Lupinus*) termést nyert, amelynek nitrogéntartalma az utolsó évben egy hektáron 148 kg volt. A szántóföld talaja csak nitrogénmentes trágyát kapott, a csapadék pedig legfeljebb 27 kg nitrogént adhatott a talajnak. Ugyanilyen talaj márgával, kálium- és phosphorsavtartalmú trágyával javítva német holdanként eleinte csak 4 q rozsot vagy zabot termett, míg a csillagfürt művelése után a termés 9–11 q rozs volt. Schulz azonban ezzel nem érte be, hanem gondoskodott a talaj nitrogéntartalmának meghatározásáról is, amelynek a következő eredménye volt: a 15 év óta trágyázatlan és csak jühlegelőnek használt terület talajában 158 cm mélységig 0'027%, 158–63 cm mélységű rétegben 0'021% nitrogén volt kimutatható, ellenben az előbbivel teljesen megegyező területű talajban, amelyen 15 éven át csillagfürtöt termeltek és csak nitrogénmentes trágyával trágyázták, volt 21 cm mélységig 0'087%, 21–63 cm mélységű rétegében 0'025% nitrogén. Ezek a számok világosan bizonyítják azt, hogy a talaj nitrogénben gyarapodott a csillagfürt tenyésztése folytán.

Hellriegel és Wilfarth hasonló eredmények alapján a kérdést behatóan tanulmányozták és vizsgálataik alapján a hüvelyeseknek a nitrogéntrágyázással szemben való eltérő viselkedését véglegesen megállapíthatták (1886). Az ő érdemük annak a bebizonyítása, hogy a hüvelyesek nitrogénygyűjtők és hogy ebbeli tulajdonságuk kapcsolatban van a gyökereiken fejlődött daganatokkal, amelyeket gyökérgumócskáknak neveztek, végül, hogy a megfelelő talajkivonattal való öntözés által a hüvelyes növények gyökerei gumócskák fejlesztésére bírhatók. Ezzel azután valószínűvé lett az is, hogy a gyökérgumócskák mikroorganizmusok fertőzése (infekciója) folytán jönnek létre, amit azután Schlösing és Laurent (1890) pontos kísér-



letekkel be is bizonyítottak. A további vizsgálatok azután a gyökérgumócskák megismerésére irányultak.

A hüvelyes növények (*Papilionaceae*, *Leguminosae*), tehát a pillangósak (*Papilionatae*), továbbá a *Caesalpinioideae*, a *Mimosaceae* és néhány más családba tartozó növény abban térnek el az összes növényektől, különösen a többi művelt növénytől, hogy gyökereiken sajátos, különféle kisebb-nagyobb daganatokat, gyökérgumócskákat fejlesztenek, amelyeknek szövettani szerkezetét az I. kötet 257. és a következő oldalakon már ismertettük (I. I. kötet 236—242. képek).

A gumócskák bakteroidszövet sejtjeiben lévő pálcikaalakokat első megfigyelőjük, Woronin (1867), a gumócskában élő gombabaktériumhoz hasonló részeknek nézte, későbbben Frank (1988) plazmaszerű képződménynek tartotta, amely a gomba és a virágos növény plazmájának keveredéséből állott elő, mások azután, mint Brunchorst, élettelen kristályhoz hasonló alakú fehérjeképződményeknek tekintették őket; Brunchorst el is nevezte a képződményeket bakteroidoknak. Beijerinck-é az érdem, hogy az 1888. évben kimutatta, miszerint az illető pálcikaalakú testcskék valóban baktériumok és elnevezte őket *Bacillus radicolá-nak* (*Rhizobium leguminosarum* Frank), amelyeket hasonló alakkal minden hüvelyes gumócskájából képes volt kiválasztani.

A *Bacillus radicola* szabad mozgásra képes, le-gömbölyödő végű, 3—4  $\mu$  hosszú és 1  $\mu$  széles, pálcikaalakú baktérium, amelynek spórája még nem ismeretes. Ezt az alakját azonban csak fiatal gumócskákban tartja meg, később alakja különbözőképpen eltorzul és többnyire Y-alakú lesz, vagyis szabálytalanul háromágú, vagy vastag orsóalakú, vagy egészen széles tojásalakú. Ez az az alak, amelyet még ma is bakteroidnak nevezünk. A baktériumok ily involúciós alakoknak nevezett alakbeli eltorzulása ismeretes más fajokon is. A gumócskák baktériumai különben aerobok és a szoba hőmérsékletén a hüvelyesek nedvével, továbbá cukorral és kevés asparaginnal kevert gelatinán jól tenyésznek, a gelatinát nem teszik folyóssá, az involúciós alakok is kifejlődnek rajta, kivált kevésbé savas



gelatinán, vagy magasabb hőmérsékleten ( $35^{\circ}$ ). Sokan éppen ezért az involúciós alakok keletkezését a sejtnedv savas hatásának tulajdonítják.

Hiltner és Nobbe kísérletileg kimutatták, hogy csak az egymással közel rokonságban lévő hüvelyes, illetőleg pillangós virágú növényeket lehet kölcsönösen a gumócskáik baktériumaival fertőzni.

Annyi bizonyos, hogy minden faj a maga baktériumával legkönnyebben fertőzhető, a fertőzés mértéke csökken a vele rokonságban lévő fajokkal szemben és pedig annál nagyobb mértékben, minél távolabbi a fajok közti rokonság. A baktérium fertőzőképessége (virulenciája) azonban megfelelő tenyésztések által fokozható.

Fehér és Bokor 1926-ban tették közzé vizsgálataiknak eredményeit, amelyek azt mutatják, hogy a Robinia-nak gyökérgumóiban a *Bacillus radicolá*-val együtt él egy a talajban nagyon közismert másik baktérium: a *Bacillus mycoides*. Ugyanezt a *Bac. mycoides*-t a *Bac. radicolá*-val együtt az *Amorpha fruticosa* gyökérgumóiban is megtalálták. Ennek az együttélésnek lényegét még nem ismerjük teljesen, de a vizsgálatok alapján bizonyos az, hogy csak e két baktériumfaj együttélése képes az illető növényeknek jó tenyészetet biztosítani.

Fehér és Bokor ezenfelül még újabb szerezológiai eljárásokkal kimutatták a különböző erdei fák gyökerén élő *Bac. radicola* baktériumoknak közeli rokonságát, amelynek kimutatására a bakteriológiában elterjedt ú. n. agglutinációs módszert használták.

Az agglutináció alatt azt a jelenséget értjük, amikor valamilyen baktériumtörzsszel beoltott nyúl vérsavóját különböző hígítási fokokban elegyítik a baktérium tiszta tenyészetekkel. A rokon baktériumokat az ebben a szérumban képezett anyagok, az ú. n. antitoxinok megölik és ezek nagyítóval jól látható pelyhek alakjában csapódnak ki. A különböző hígítási fokokat, amelyeknél a szérum még hatékony, agglutinációs titernek nevezik.

Amint a közölt táblázatok mutatják, a vizsgálatok bebizonyították a *Laburnum anagyroides*, a *Robinia pseud-*



acacia, a *Gleditschia triacanthos* és az *Amorpha fruticosa* gyökérbaktériumainak közeli rokonságát (I. I. kötet 236. ábra).

Az *Amorpha fruticosa* gyökérgumójából tenyésztett *Bacillus radiciticola*-val oltott nyúl vérsavójának agglutinációs hatása.

Hígítások	Az agglutináció bekövetkezett			
	Robinia	Amorpha	Laburnum	Gleditschia
	anyanövény gyökérgumójából tenyésztett baktériumokkal			
1 : 10	+	+	+	+
1 : 100	+	+	+	+
1 : 200	+	+	+	+
1 : 500	+	+	+	+
1 : 1.000	+	+	+	0
1 : 2.000	+	+	0	0
1 : 3.300	0	+	0	0
1 : 4.000	0	+	0	0
1 : 5.000	0	+	0	0
1 : 10.000	0	0	0	0

A *Laburnum vulgare* gyökérgumójából tenyésztett *Bacillus radiciticola*-val oltott nyúl vérsavójának agglutinációs hatása.

Hígítások	Az agglutináció bekövetkezett			
	Robinia	Amorpha	Laburnum	Gleditschia
	anyanövény gyökérgumójából tenyésztett baktériumokkal			
1 : 10	+	+	+	+
1 : 100	+	+	+	+
1 : 200	+	+	+	+
1 : 500	+	+	+	+
1 : 1.000	+	+	+	+
1 : 2.000	+	0	+	0
1 : 3.300	+	0	+	0
1 : 4.000	+	0	+	0
1 : 5.000	+	0	+	0
1 : 10.000	0	0	+	0



A *Robinia pseudacacia* gyökérgumójából tenyésztett  
*Bacillus radicola*-val oltott nyúl vérsavójának  
 agglutinációs hatása.

Hígítások	Az agglutináció bekövetkezett			
	Robinia	Amorpha	Laburnum	Gleditschia
	anyanövény gyökérgumójából tenyésztett baktériumokkal			
1 : 10	+	+	+	+
1 : 100	+	+	+	+
1 : 200	+	+	+	+
1 : 500	+	+	+	+
1 : 1.000	+	+	+	+
1 : 2.000	+	+	+	0
1 : 3.300	+	0	+	0
1 : 4.000	+	0	+	0
1 : 5.000	+	0	+	0
1 : 10.000	+	0	0	0

A nem oltott nyúl vérsavója szintén agglutinálja a fenti *Bac. radicola* fajtákat, azonban titerje nagyon alacsony, mert 1—100-nál van.

Mindezek alapján a kutatók arra a megállapodásra jutottak, hogy a hüvelyesek baktériumai egy fajhoz tartoznak és ez a *Bacillus radicola* Beij. és hogy ennek csak alkalmazkodott fajtái azok, amelyek bizonyos növényfaj vagy rokonfajok fertőzésére alkalmasak.

Az oly talajban, amelyben megvan a megfelelő faj vagy fajta, ott a hüvelyesek jól tenyésznek és nitrogénben gyarapodnak. De hogy ez bekövetkezhessék, a talajban lévő baktériumnak az illető növényt meg kell fertőznie. Már Beijerinck megállapította azt, hogy a *Bacillus radicolá*-nak van egy kisebb, csak 0'9  $\mu$  hosszú és 0'18  $\mu$  széles, de nagyon mozgékony alakja, amiért is ezt az alakot rajzónak nevezte el. A fertőzés helye a gyökérszörszál. A talajban lévő gyökérszörszálak — amint már előbb említettük — bizonyos anyagokat választanak ki magukból. A kiválasztott anyag kémiai ingert gyakorol a közelébe jutó baktériumokra, minél fogva azok már né-



hány óra alatt a gyökérszál köré gyűlnek. A meggyűlt baktériumok is bizonyos anyagot választanak ki, amelynek hatására a gyökérszörzsálaknak hegye többé-kevésbé eltorzul vagy pásztorbot módjára meggörbül. Ez az anyag valószínűleg valamely sejtfalat oldó enzim, amelynek hatására a sejtfal meglazul és a baktériumok bejutnak a szörzsálba (l. I. kötet 242. kép). Itt gyorsan szaporodnak és a leválasztott nyálkában úgynevezett baktériumtelepet alkotnak, amely fonálszerűen alakulva meg, a szörzsál belsejében előre halad és csakhamar áttöri a kéregsejtfalát, ami által a gyökér elsődleges kérgébe jut, ahol tovább szaporodva, a sejteket is szaporodásra ingerli; ez által a már ismeretes daganatok, a gumócskák jönnek létre. Némely hüvelyes gumócskája a gyökérszálba jutott egyetlen baktérium szaporodása folytán jön létre. Minden gumócska egyébként különálló helyi fertőzés eredménye.

Minthogy a tapasztalat azt igazolta, hogy a gumócskával bíró hüvelyesek nitrogénmentes talajban is nitrogéntartalmukban gyarapodva tenyésznek, kérdésessé vált annak eldöntése, vajjon egyedül a hüvelyes növénynek, vagy pedig egyedül a gumócskát alkotó baktériumok munkájának köszönhető-e a levegő szabad nitrogénjének felhasználása, de az az eset is lehetséges, hogy a nitrogén asszimilálása a kettőnek közös munkája.

Elsősorban vizsgálat tárgyává tették, vajjon a baktérium mesterséges tenyésztés alatt leköti-e a szabad nitrogént? A baktériumok mesterséges tenyésztése könnyen sikerült e célra megfelelő anyagban, t. i. 7%-os gelatina, 0'5%-os nádcukor és 0'25%-os asparagínoldatban, amely a hüvelyesek leveleinek forrázatával elegyítendő. Ilyen kultúrában megkísérelték a nitrogént az asparagín helyett ammónia alakjában juttatni a tenyészetbe, sőt oly kísérletet is végeztek, amelynél egyáltalában mellőzték a tenyésztő anyagban a nitrogént, abban a hiszemben, hogy a kultúrába helyezett baktérium maga fogja azt megszerezni. Mindezek a kísérletek meddők maradtak, míg végre M a z é a tenyésztő anyagba fehérjét helyezett, abból a feltevésből indulva ki, hogy a baktériumoknak a növényben is ilyen vegyület áll rendelkezésre. M a z é kísérleteinek a következő eredménye volt:



	I.	II. kísérlet	III.
Nitrogén a táplálóoldatban . . .	62'1 mg	70'7 mg	22'4 mg
Nitrogén a kísérlet végén . . .	102'9 mg	118'2 mg	45'8 mg
Nitrogén szaporulat . . . . .	40'8 mg	47'5 mg	23'4 mg

Ezzel a meglepő eredménnyel bizonyossá lett, hogy a *Bacillus radicola* fehérje jelenlétében képes a levegő szabad nitrogénjét megkötni. Ezzel kapcsolatban állt azután az a tény, hogy a hüvelyes növény nitrogénmentes talajban nem képes egyedül gyarapodni és hogy csekély mennyiségű nitrogént tartalmazó talajban baktérium nélkül szintén kevésbé gyarapodik. A mesterséges táplálóoldat bizonyossága szerint azonban még valamely szénhydrát is szükséges ahhoz, hogy a baktérium szaporodhasson és végül a hüvelyes növény talajában is a nitrogén kivételével elő kell fordulnia a szükséges hamualkotórészeknek, amint azt a 82. kép is igazolja.

A nitrogén lekötéséről, illetőleg a hüvelyesek nitrogénben való gyarapodásáról *Hellriegel* és *Willfarth* csak közvetett bizonyítékot szolgáltattak, amennyiben kimutatták, hogy a létrejött gyarapodás máshonnan nem származhatott, csak a levegőből. *Schlösing*-nek és *Laurent*-nek (1890) sikerült közvetlen bizonyítékot is szerezni, amennyiben meghatározták azt, hogy a kísérletül használt borsónövény mennyit vett fel az öt környező levegőből és egyúttal meghatározták azt, hogy ezalatt mennyit gyarapodott a növény teste és talaja is nitrogénben. A meghatározások pedig azt bizonyították, hogy az utóbbinak gyarapodása igen kis eltéréssel ugyanannyi volt, mint a nitrogén mennyiségének fogyása a levegőben.

Vizsgálat tárgyát képezte az is, vajjon nem a növény leveleiben kötődik-e le a nitrogén, éppen a baktérium hatása folytán. *Nobbe* és *Hiltner* a hüvelyesek gumócskás gyökereit vízbe merítették, aminek folytán a nitrogén felvétele rögtön megszűnt, sőt a nitrogénmentes talajban fejlődött gyökerek fertőzés után vízbe helyezve csak nagyon nyomorúságos gumócskákat fejlesztettek, amelyek csak a rendes talajba való átültetés után indultak jobban fejlődésnek és kezdték meg működésüket. Ebből két tényt állapíthatunk meg: először, hogy a víz a gumók



fejlődésére károsan hat és hogy a gumók képesek a nitrogén lekötésére.

Kérdés már most, hogy a gumókba jutott szabad nitrogént a baktériumok miként köthetik meg. Erről azonban mindezideig még semmit sem tudunk, sőt még az sem bizonyos, hogy a bak-



82. kép.

A borsó (A) és a zab (B) tenyésztése nitrogénben nagyon szegény talajban, mindennemű trágya hozzáadása nélkül (O), azután káliumphospháttal (KP), végül (KPS) káliumphosphát és káliumnitrát hozzáadásával. A többi hamúalkotórész a kellő mennyiségben volt meg a talajban, sőt kevés nitrogén is volt benne, aminek köszönhető, hogy a borsó és a zab jobban fejlődött, mintha teljesen nitrogénmentes talajban fejlődött volna. Wagner után.

tériumoktól lekötött nitrogén miként jut be azután a hüvelyes növény anyagforgalmába. Eleinte úgy fogták fel a jelenséget, hogy a növény a szénhidrátot szolgáltatja a baktériumnak, a miért az cserébe fehérjeanyagokat ad a növénynek. Ez a feltevés ilyen egyszerű alakban nem nyert beigazolást és a hüvelyes növény bizonyára jóval bonyolultabb folyamatok és átalakulások által nyeri a baktériumok szabad nitrogénfelvételéből alakult vegyületeket. Annyi kétségtelen, hogy a bakteroidok



a magérlelés idején bizonyos mértékben megfogynak és a gumók is petyhüdtek lesznek, átadva fehérjeanyagaikat a hüvelyes növénynek; némelyek szerint azonban ez csak nagyon csekély mértékben történik meg és nagyon csekély jelentőségű mennyiség ahhoz a nitrogénmennyiséghez képest, amelyet a növény a tenyésztési időszak alatt a baktériumok közvetítése folytán magába vesz.

Különben a gumók alakulása is korlátozódik és a szabad nitrogén felvétele is csökken akkor, ha a talajban a gyökerek által könnyen felvehető nitrogénvegyületek, nevezetesen salétromsók vannak, vagyis a sovány, nitrogénvegyületekben szűkölködő, pl. homokos vagy tözezes talajokban a baktériumok munkája a legjelentékenyebb. Éppen így előnyös a gumócskák alakulására és munkájára az, ha a talaj bővelkedik hamúalkotórészekben különösen kálium- és phosphorsav-vegyületekben, továbbá, ha a talaj elegendőképpen át van nedvesedve és kellőképpen szellőződik.

A *Bacillus radicolá*-nak ez a nagy jelentősége a szabad nitrogén lekötésében érlelte meg azt a gondolatot, hogy a hüvelyes növények tenyésztésének elősegítése végett talajukban szaporítani kellene a baktériumokat, különösen arra a tapasztalatra támaszkodva, hogy a hüvelyesek nem mindenütt tenyésznek a kellő eredménnyel. Ennek a célnak elérése végett elsősorban alkalmasnak látszott egyszerűen a különböző, de megfelelő hüvelyesek nagyobb mértékű tenyésztése, majd ezeknek nagyobb eredményt biztosítandó, a megfelelő baktériumoknak a talajba való juttatását, vagyis — amint mondani szokás — a t a l a j o l t á s t ajánlották. A talajoltást első sorban a hüvelyesek talajával végezték. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy talajoltással kedvező eredményt csak olyan talajban érhetünk el, amely különben kedvező a hüvelyesek tenyésztésére, mert a talajoltás által nem lehetséges egy meszes talajt el nem bíró csillagfürtöt meszes talajt elbíróvá alakítani.

Nobbe és Hiltner (1896) a *Bacillus radicola* mesterseges és tiszta tenyészetét használták az oltásra. Az ő ösztökélésükre a höchsti festékgár nitragin név alatt hozott tiszta tenyésztésű baktériumokat forgalomba talajoltási célokra. Meg-



felelő módon alkalmazva és megfelelő körülmények közt az eredmény igen kedvező volt.

Nagyobb területen Schneewind végzett a nitraginnal kísérleteket:

	Zöldanyag 100 kg egy hektáron	Nitrogén 100 kg
Ornithopus sativus, oltatlan talajban . .	27'0	18'80
Ornithopus sativus, nitraginnal oltva . .	75'5	57'81

Ezek a számok bizonyítják legjobban a nitraginnal való oltás kedvező eredményét, de nem megfelelő talajon és nem megfelelő körülmények között a nitragin a talajoltásnál rosszabb eredményt ad. Ezért is sokan pl. Fischer, a nitraginnal való talajoltást mellőzendőnek tartották, amiért is a nitragin használata nem terjedt el nagyon.

Hiltner azonban nem tudott belenyugodni a nitraginnak látszólagos kudarcába, hanem húzamosabb kísérletek és kutatások nyomán kimutatta, hogy nem mindegy, minő baktériumfajta alkotja a nitragint, ezért a gyár a nitragint olyan növények gyökeréből készítette, amely olyan talajon tenyésztett, ahol már több éven át egymásután ugyanaz a növény nőtt. Ezzel a baktériumok fertőző képessége erősödik. Azután az egyes hüvelyes növényfajok és fajtákhoz alkalmazkodott fajtákból külön készítettek tiszta tenyészetet, illetőleg nitragint, amelyet a megfelelő hüvelyes növényfaj és fajta megnevezésével hoztak forgalomba.

De módosították az oltás módját is. Ugyanis a talajoltás helyett a vetendő magvak oltását ajánlották, de ez is meghiúsult, mert a magvak felületére tapadt baktériumokat a csírázáskor a magvakból kiváló anyagok elpusztították. Sok próbálgatás után végre sikerült megállapítani, hogy a baktériumokat nem vízbe, de 1—2 százalékos szőlőcukor és peptonos vízoldatba vagy tejbe keverik és ebbe áztatják az elvetendő magvakat.

A kísérletek, amelyeket az ilyen módon készült nitraginnal és az ily eljárással való oltással szerte az egész földön végeztek, kedvező eredménnyel jártak és a termés eredményét egészen 80—200%-al emelték.



Meg kell azonban még jegyeznünk, hogy a legtöbb szántóföld talajában az oltás által belekerült baktériumok igen gyorsan pusztulnak el és hogy a talajoltás igen kedvező eredménye többnyire azokon a talajokon várható, amelyeken az illető hüvelyes még sohasem, vagy csak régebben tenyészett.

A nitraginhoz hasonló más oltószerek is kerültek újabban forgalomba, pl. a nitro - baktérin, amelynek kísérleti eredményei azonban még nem ismeretesek. Azonfelül vannak még más oltóanyagok is forgalomban, ilyenek pl. azok, amelyek a levegő szabad nitrogénjét megkötő *Azotobacter* kultúrákkal kísérleteznek és ezen a réven nagyon sokféle és ki nem próbált készítmény került és van még forgalomban, amelyek tisztán nyerészkedési célokat szolgálnak és gyakorlati eredményekre egyáltalában nem vezetnek.\*)

Nem hagyhatjuk még említés nélkül azt sem, hogy a hüvelyesekhez hasonlóan más növények gyökerén is találtak még gumókat, amelyekben gombák, illetőleg baktériumok vannak. Nevezetesen találtak ily gumókat az ezüstfa (*Elaeagnus*) és a homoktövis (*Hippophaë*), az égerfajok, a *Cycas*-ok, a *Podocarpus*, továbbá a csormolya és a kakascimer



83. kép.

Az égerfa gyökérgumócskái Tuboeuf után.

\* Idevonatkozólag utalunk az agrikultúrkémia kézi könyveire



(*Rhinanthus*), azután a *Datisca cannabina*, a *Myrica*-fajok, az *Isopyrum biternatum* és a *Ceanothus* gyökerein.

Ezek közül azonban csak az éger és az ezüstfa gumói ismeretesek közelebbről (l. 83. kép). Ezek több évesek, el is fásodnak és egészen ökölnagyságra is növekednek. Mellőzve e



84. kép.

A mézgás éger (*Alnus glutinosa*) nitrogénmentes táplálóoldatban tenyésztve; a szélsők gyökérgumócskákkal, a középső gumócskák nélkül. Lafar után.

gumók belső szerkezetének és a gombáiknak leírását, amelyet különben sem ismerünk teljesen, csak azt emeljük ki, hogy ezeknek a gumóknak segítségével az égerfák a szabad nitrogént le tudják kötni, amint azt Nobbé és Hiltner be is bizonyították (l. 84. kép). Érdekes, hogy az éger gumói nitrogént gyűjtenek még nagyon nedves talajban, sőt vízben is, aminek nagy a jelentősége különösen a lápos, mocsaras területeken.



Legújabbán Lieske - nek sikerült az *Alnus* gyökerében az *Actinomyces*ek sajátságait mutató, ú. n. *Actinomycesalni* sugaras gombákat tenyésztenie. Hasolóképen az *Elaeagni* gumókból az *Actinomyces elaeagni*-t tenyésztették ki, amely szintén sugaras gomba.

A most tárgyalt életjelenségekkel kapcsolatban rá kell mutatnunk arra, hogy a gyökérbeli baktériumok esetében tipikus és jellemző *symbiózis*ről van szó, míg a nitrifikáló baktériumok különböző alakjainak egymás mellett való és egymás munkáját kölcsönösen kiegészítő életmódja, hasonlóképen a cellulózbontó baktériumoknak a denitrifikáló baktériumokkal való élettani kapcsolata egymás mellett élést, tehát a *metabiózis* esetét tárja elénk.

#### A fehérjék szintézise a növényben.

A fehérjék az élő növényi testnek fontos és elmaradhatatlan alkotórészeit képezik. A sejtek élő anyagának, a protoplazmának jelentékeny részét teszik ki a fehérjevegyületek. Így Reinke analízisei, amelyeket a *Myxophyták* sejtfal nélküli plazmódiumán végzett, a következő eredménnyel jártak.

A plazmódium száraz plazmája tartalmazott:

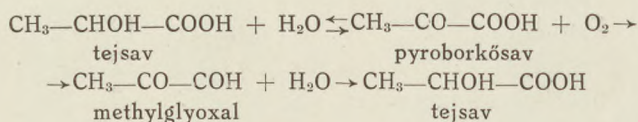
P-tartalmú fehérjevegyületek . . . . .	40'—%
P-nélküli fehérjevegyületek . . . . .	15'—%
Aminosavak . . . . .	1'5 %
Zsírck . . . . .	12'—%
Szénhidrátok . . . . .	12'—%
Szerves és szervetlen sók . . . . .	7'—%
Lecithin . . . . .	0'3 %
Cholesterin . . . . .	2'—%
Gyanta . . . . .	1'5 %
Egyebek . . . . .	8'7 %
	<hr/>
	100'—%.

A fehérjék összetételét az I. kötetben részletesen tárgyaltuk. A fehérjék kétségkívül a plazma legfontosabb alkotórészei, az élet a priori jelenlétükhöz van kötve. Amint már az előzőkben láttuk, a fehérjék kémiaja még rendkívül kevésbé van ki-

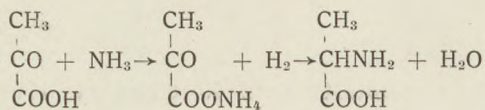


derítve, kémiai összetételük még alig ismert és éppen ezért az élő szervezetben való működésük és szerepük teljes megismerése és feltárása ma még rendkívül nehéz és e téren túlnyomólag csak elméleti megoldások állanak rendelkezésünkre. Egy azonban kétségtelenül eldöntött valóság: az élők világában csak a növények, mégpedig a chlorophylltartalmú és önálló asszimilációra képes zöld növények bírnak azzal a képességgel, hogy a talajból felvett N-tartalmú szerves nitrátok, nitritek és aminosavak, illetőleg a levegőből felvett szabad N-ből és az asszimiláló levelek útján létrehozott szénhidrátokból szintetikus úton fehérjéket képezzenek. Ezek a fehérjék azok, amelyek azután a növényevő állatok táplálkozása révén az állatvilág anyagcseréjének körforgásába jutnak.

Az élő szervezetek fehérjetartalma tehát a növényeknek köszöni eredetét és a tudományos kutatás mai állása mellett nem ismeretes olyan állati szervezet, amely a szerves anyagokból és szénhidrátokból önállóan fehérjéket volna képes alkotni. A növényi szervezetben lefolyó fehérjeszintézist illetőleg ma még kellő kísérleti bizonyítékaink nincsenek. Az elméleti megfontolások legfontosabbjait a következőkben foglaljuk össze: Fischer szerint a növényben képződött szénhidrátok között sok olyan van, amelyek aminosavakká, tehát a fehérjeszintézis alapanyagainak alakulhatnak. Így pl. a tejsav, a metilglyoxal és a pyroborkósav szerkezetileg közel rokonok:



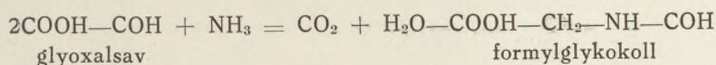
Viszont úgy a tejsav, mint a pyroborkósavból az ammonia közbejöttével már az aminosavakhoz juthatunk:



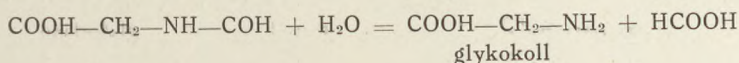
Erlenmayer- és Kunlin-nak sikerült is kísérletileg kimutatni, hogy ha ammonia a ketonsavakra hat, úgy a megfelelő



aminosavak keletkezhetnek. Így sikerült kimutatniok, hogy pl. a glyoxalsavból ammonia hatására formylglykokoll képződik:

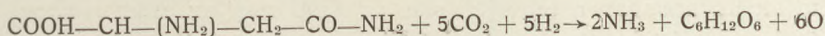


És ez utóbbiból hydrolyzis után glykokoll és hangyasav képződik:

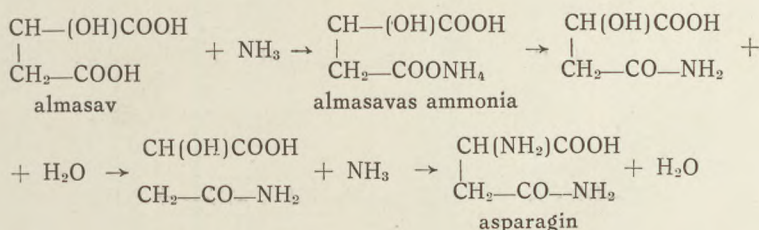


Glyoxalsav a növényekben gyakran található és azért az aminosavak keletkezésének ez a módja nem valószínűtlen.

Hasonló irányban dolgozott K n o o p is. Ugyancsak meg kell említenünk S m i r n o w kutatásait, akinek viszont sikerült az asparaginra vonatkozólag kimutatni, hogy ez a növényekben ammoniumok hatására fejlődik ki. Kísérleteit a kukorica csíra-növényein végezte, amelyeket almasavas ammoniákkal táplált. Idevonatkozólag egyébként már L o e w 1896-ban felállította a következő elméleti megfontolásokon nyugvó egyenletet:



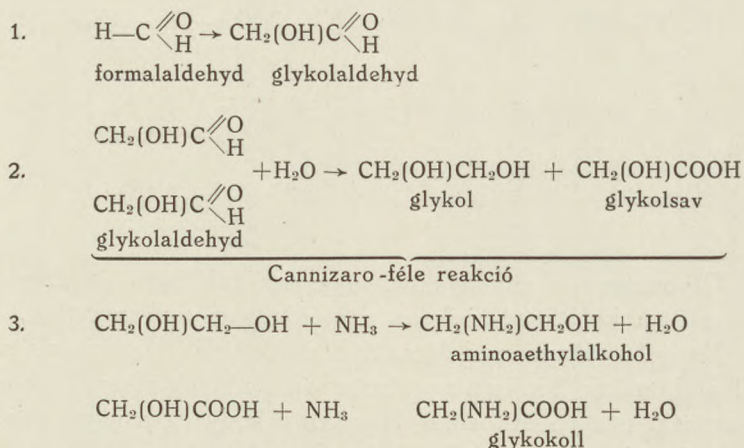
Ez az egyenlet azonban nem mutatja a reakció részletes lefolyását. K o m m szerint pl. az asparagin almasavból a következő módon keletkezhetik:



Rendkívül érdekesek T r i e r megfontolásai is, aki nem a szénhydrátokból, hanem ezek szintézisének kiindulásául szolgáló aldehidekből indul ki a már ismertetett C a n n i z a r o -féle reakció figyelembe vételével. Szerinte először az asszimiláció-nál keletkezett formalaldehyd glykolaldehyddé kondenzálódik

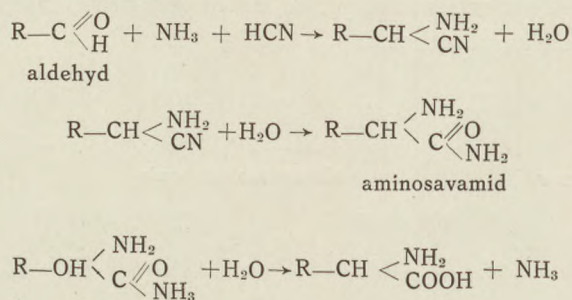


és ez utóbbiból ammonia hatására aminosavak keletkeznek. Trier elméletének általános lefolyása a következő:



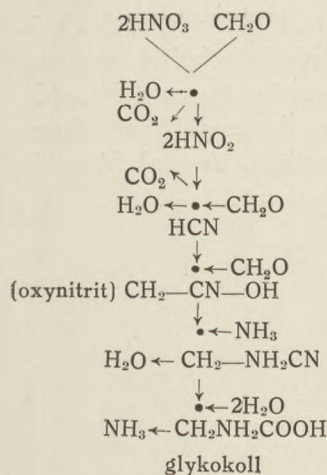
Úgy az aminoethylalkohol, mint a glykokoll fontos kiinduló anyagai a fehérjék és lecithinek szintézisének. Újabban különösen Treub és Franzen szintén az aldehydekből indultak ki, azonban a fehérjék szintézisének még az ammoniákon kívül a cyanhydrogénsavnak (HCN) is szerepet juttatnak.

Treub szerint:



Franzen ezt az eredeti gondolatmenetet azután tovább kiépítette. Szerinte először a formalaldehyd a nitrátokat nitrtekké redukálja, miközben cyanhydrogénsav keletkezik, amely azután a formalaldehyddel tovább reagálva, végül is ammonia jelenlétében  $\alpha$  aminosavak keletkezését teszi lehetővé.





Az itteni ábrán látjuk pl. a glykokoll szintézisét.

A salétromsavnak, illetőleg sóinak redukcióját a növényekben már többször megfigyelték. Viszont a kéksav, illetőleg sói rendkívül sok növényekben mutathatók ki. A többi aminosav keletkezését elméleti úton szintén eléggé kielégítő módon magyarázza *Franzen*. A nitrátok elszappanosodása pedig valószínűleg savak és lúgok hiányában a növény által képezett  $\text{H}_2\text{O}_2$  segítségével történik.

Hogy azután az aminosavakat hogyan szintetizálja a növény polypeptidekké, az ma még elméletileg sem mutatható ki kielégítő módon.

Természetesen az ammonia mint erős növényi mérég csak sói alakjában szerepel és vegyületből vegyületbe pillanatnyilag lép át, mielőtt mérgező hatása érvényesülhetne.

Az eddigiek folyamán a N a vegyületekbe az  $\text{NH}_3$  közvetítésével lépett be. A valóságban az ammóniasók csakugyan — amint ezt kifogástalan kísérletek bizonyítják — elsőrendű növényi táplálósók. Dacára azonban ennek a körülménynek, a növény mégis a N-tápanyagok túlnyomó részét nitrátok alakjában veszi fel, amelyek azután a növényekben redukción mennek át és amino- és iminovegyületcsoportokká alakulnak. *Baudisch* szerint a növény szénhidrátok jelenlétében nitrátokból is képezhet fehérjéket. A nitrátok redukciójánál az előbbi elméletek

aldehycsoportjához hasonlóan egy nitrolylcsoporthoz  $\left( \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \text{N} \diagdown \\ \text{H} \end{array} \right)$

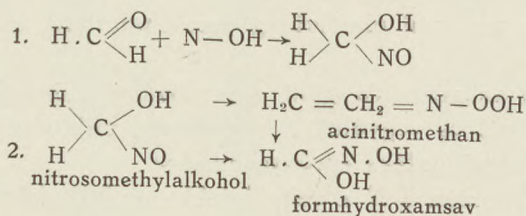
keletkezik, amelynek biológiai szerepe szerinte a hasonló szerkezetű aldehycsoport szerepével egyezik. A redukció *Schimper* és *Baudisch* szerint egy fotokémiai folyamat, amelynél tehát a fény energiája nagyon fontos szerepet játszik. *Baudisch*-nak sikerült is in vitro  $\text{KNO}_2$ -ből oxigén kilépése mellett fényhatásra nitrosylkáliumot és ezt formalaldehiddel kap-



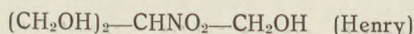
csolva formhydroxamsavat, tehát egy N-tartalmú vegyületet előállítani. Még jobb eredményt kapott methylalkohollal, amelyet a nitrit redukciójánál felszabaduló oxigén formalaldehyddé oxydál. A reakció közbeni termékeken keresztül jön létre, amelyek közül legfontosabb az acinitromethan. A reakció valószínű elméleti lefolyása egyébként a következő:

1.  $\text{KNO}_2 \rightarrow \text{KCNO} + \text{O}$   
nitrosylkálium
2.  $\text{CH}_3\text{OH} + \text{O} \rightarrow \text{HCOH} + \text{H}_2\text{O}$   
methylalkohol    formaldehyd
3.  $\text{HCOH} + \text{KCNO} \rightarrow \text{HC.OH} = \text{N.O.K}$   
formhydroxamsavas kálium

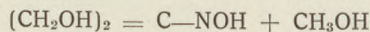
A nitrosyl és formaldehyd átalakulása formhydroxamsavvá valószínűleg a következő módon megy végbe:



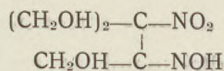
Maga az acinitromethan rendkívül sok nitrogénvegyületnek képezheti a kiindulását. Így  $\text{K}_2\text{CO}_3$  jelenlétében formaldehyddel isonitrobutylglycerint ad:



amely azután tovább dioxyacetonoximmá alakulhat.

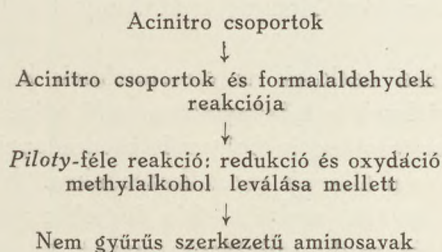


amely viszont a fény hatására nitritek jelenlétében, redukciók és oxydációk láncolatán átmenve és methylalkoholt leválasztva, a következő az aminosovaleriansav szerkezetéhez hasonló felépítésű vegyületté alakulhat át (P i l o t y):



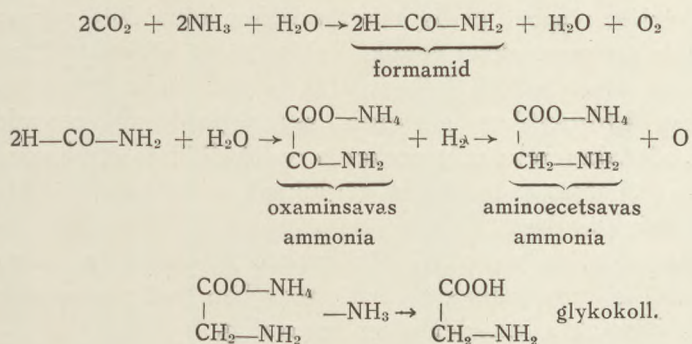


K o m m szerint tehát a nitrátok közbenjöttével való fehérjlesztés főbb fázisai a következők lesznek:



Végül a teljesség kedvéért meg kell még Loeb hypothézisét is említenünk, aki a fehérjéknek endothermikus képződését a növényben elektromos energia közbenjöttével magyarázza a legegyszerűbb növényi táplálóanyagok,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  és  $\text{H}_2\text{O}$  alapul vétele mellett. Az elektromos energiát ő csendes kisülésekre vezeti vissza, amelyeknél az energia főképen ultraibolya sugarak keletkezésében nyilvánul meg. Közelfekvő volt most már az a feltevés, hogy a növény az elektromos energiát ultraibolya sugarakkal, amelyek a nap sugaraiban képviselve vannak, helyettesíti szintetikus folyamatainál.

Meglehetősen fáradságos kísérletezés után sikerült is neki ultraibolya sugarak hatására és megfelelő hőmérséklet mellett in vitro glykokollt — bár kis mennyiségben — előállítani a következő séma szerint:



Ez az újabb, részben kísérletileg is beigazolt elmélet élet-tani szempontból különös jelentőséggel bír, miután — amint



látjuk — ez a meggondolás a fehérjék szintézisét már a leg-egyszerűbb, a természetben közvetlenül a növény által felvett egyszerű szervesen táplálóanyagok közbenjöttével érthetővé és lehetővé teszi.

Amint azonban ezeknek az elméleteknek kritikai bírálata mutatja, a fehérjéknek a növényekben való szintézisére vonatkozólag biztos, kísérletileg is beigazolt eredmények és törvényszerűségek még nem állanak rendelkezésünkre. Hogy az elméletek közül a valóságot melyik fogja legjobban megközelíteni, azt majd a további exakt kutatások vannak hivatva eldönteni.

Amint az újabb növényélettani kutatások bizonyítják, a növények fehérjeszintézise elsősorban a levelekben megy végbe, mégpedig ugyanott, ahol az asszimiláció történik: a palisszádsejtekben. A növényekben nagyon gyakori savamidokat, így elsősorban az asparagint, lysint, arginint, tyrosint úgylátszik a növények közvetlenül hasznosítani nem tudják, hanem belőlük először  $\text{NH}_3$  lekapcsolásával aminosavakat készítenek és ezeket használják fel a további szintézisnél, sőt ezen célból magát az ammoniát is hasznosíthatják és így a savamidokat mint a növény N-tartalékanyagát foghatjuk fel. Az aminosavakból a fehérjeképzés azután valószínűleg a polypeptideken keresztül megy, de idevonatkozólag még elméletileg sem tudunk egyelőre elfogadható magyarázatot adni.

Az önálló asszimilációra nem képes parazita és saprophyta növények N-táplálékukat részben az élő szervezetek szolgáltatja fehérjék, részben pedig a korhadáskor képződött polypeptidekből és aminosavakból veszik. Valószínűleg közvetlenül csak az aminosavakat tudják felhasználni, a magasabb összetételű fehérjéket hydrolytikus enzimek segítségével aminosavakká bontják, sőt talán néha még ezeket is redukálják és így használják fel az ő saját individuális céljaiknak legjobban megfelelő fehérjék szintéziséhez.

Ugyanez áll a rovarrevő növényekre (*Dionaea*, *Drosera* stb.) is, amelyeknek emésztő nedvében lévő proteolytikus enzimek bontják a fehérjéket aminosavakig.

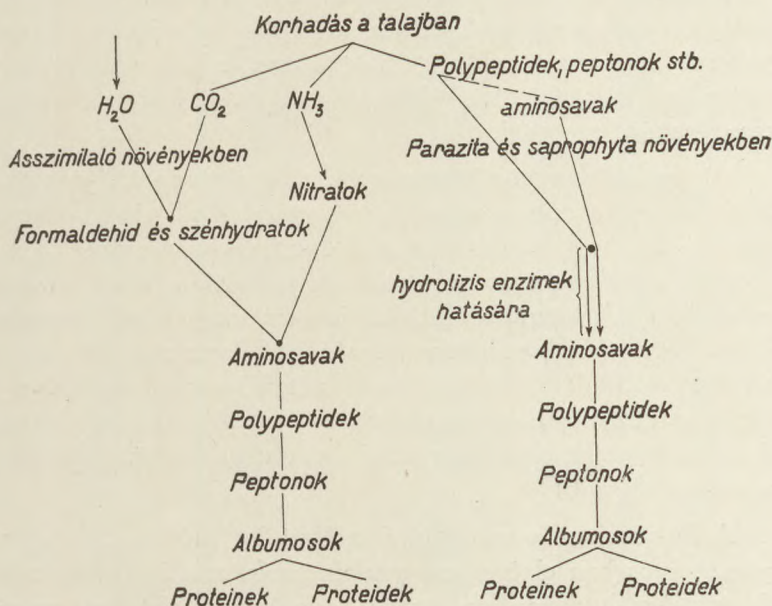
Természetesen a növények anyagcseréjük folyamán nemcsak fehérjéket képeznek, hanem ezeket szükség szerint le is bontják. Ez az eset főleg akkor áll be, amikor a növények a



tartalék fehérjeiket elszállítják a felhasználás helyére, hogy itt azután a szükségleteiknek megfelelő szerkezetű fehérjét képezzenek belőlük. A bontás proteolytikus enzyme, a pepsin, trypsin és erepsin segítségével hydrolytikus úton megy végbe.

A savamidok képzése és jelenléte a növényi fehérjeanyagforgalom egyik jellemző tünete, amelyet az állati testben nem találunk meg.

Befejezésül álljon most már itt egy rövid tájékoztató összeállítás a növényi fehérjeszintézis általános menetéről:



### A mykorrhiza élettani jelentősége.

Nagyon sok erdei fa gyökerein a gyökérszörszálak nem fejlődnek ki rendszeresen, hanem ezeknek a gyökereit finom gombamycéliumok borítják be, amelyek a gyökerek epidermiszein keresztül a növények belső szöveteibe is behatolhatnak, sőt baktériumok útján az élő sejtek plazmájával is érintkezhetnek. A mykorrhiza morfológiai tárgyalását illetőleg utalunk az I. kötet 247.—249. oldalaira, ahol azt már részletesen ismertettük.



Általában megkülönböztetjük az endotroph és az ektotroph mykorrhizát. Az első az erdei fák legtöbbször nem fordul elő. Jellemző esetei az *Orchideák*, az *Erica*, a *Calluna*, a *Vaccinium*, továbbá a *Taxus* mykorrhizája. E típus gombamycéliumai a gyökér elsődleges kérgének sejtjeibe hatolnak be és a mélyekben fekvő szöveti részekben is meg lehet találni őket. Ellenben az ektotroph mykorrhiza gombájának mycéliumai ugyan sűrűn borítják be a gyökér külső felületét, de mélyebbre nem hatolnak és a haustoriumok-at legtöbbször az epidermisz szintjeiben találjuk meg. Amíg az endotroph mykorrhiza a sejtek belsejében él és a gyökerek környezetével alig függ össze, addig az ektotroph mykorrhiza kétségtelül a gyökerek és a talaj között összekötő szerv gyanánt szerepel.

A mykorrhiza gombák szerepe még nincsen teljesen tisztázva. Annyi azonban az eddigi vizsgálatok alapján bizonyosnak látszik, hogy elsősorban a N-felvételnél játszanak fontos szerepet. Az erdei humusz ugyanis legtöbbször nyers állapotban marad és azért benne a nitrifikáció nem megy elég intenzíven végbe. Ez utóbbi körülmény folytán a N-tartalmú anyagok az elégtelen korhadás következtében csak viszonylag kis mennyiségben alakulnak át anorganikus nitrátvegyületekké és e helyett inkább a fehérjék organikus természetű dekompozíciós termékei maradnak vissza.

A humuszkémia mai állása mellett legvalószínűbb, hogy a nyers humuszban elsősorban nukleinsavak, azután purinderivátok: xanthin, hypoxanthin, guanin, adanin, továbbá aminosavak, illetőleg ezeknek származékai, pl. arginin, histidin, lysin keletkeznek, míg Süchting nézete szerint a nyers humuszt túlnyomórészt nehezen korhadó heterocyklusos vegyületek: chinolin, acridin, stb. alkotják. Ezeket a N-vegyületeket veszik fel a mykorrhiza gombák és adják át az anyanővénynek legtöbbször valószínűleg még tovább feldolgozott állapotban, míg ennek ellenértékeképpen asszimilált szénhidrátokat és egyéb organikus vegyületeket kapnak, amelyeket maguk mint nem asszimiláló heterotrof vegyületek megalakítani nem tudnak.

A mykorrhiza gombák ezenfelül a fenti vegyületeknek más

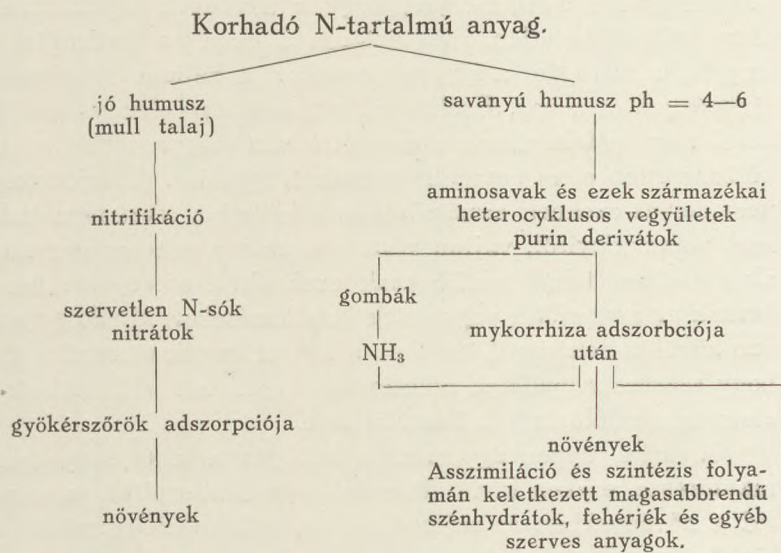


gombák által való bomlásakor keletkező  $\text{NH}_3$ -t is felveszik és az anyanövény számára asszimilálják.

Mull talajokban, amelyekben a korhadás és a nitrifikáció folyamata előnyösen mehet végbe, a mykorrhiza szerepe is alárendelt lesz, sőt — amint Melin vizsgálatai mutatják — meg is szűnhet, miután itt a fák az életfolyamatukhoz szükséges nitrogént mint oldott nitrátokat maguk vehetik fel.

A mykorrhiza tehát az erdei fák számára rendkívül értékes segítséget jelent az erdei talaj nyers humuszán folytatott életfolyamataiban, miután enélkül az életfolyamataikhoz szükséges nitrogént felvenni nem tudnák.

A kérdés átnézetét egyébként az alanti összeállítás mutatja:



A mykorrhiza tehát az erdei fáknak különleges gombákkal való együttélését és egyúttal alkalmazkodási jelenségét adja. Hogy mennyire alkalmazkodásról van szó, azt bizonyítja az a jelenség, hogy azok az erdei fák, amelyek humuszban gazdag savanyú talajokon mykorrhizával való együttélést mutatnak, vízkultúrákban, amikor a mykorrhizára ráutalva nincsenek, szabályszerű gyökérszőrszálakat fejlesztenek.



A lényeg abban foglalható össze, hogy a fentiek szerint a mykorrhiza segítségére van a fának a humuszban gazdag erdőtalaj félkorhadási termékeinek közvetlen felvételével és felhasználásával és ehelyett a fáktól, illetőleg a velük szimbiózisban élő növényektől a gombák elsősorban szénhidrátokat kapnak. Nem lehetetlen, hogy talán még a hamualkotórészek felvételében is segíti a gomba bizonyos fokig ezeket a növényeket. A kérdés azonban még semmi vonatkozásban sincsen teljesen lezárva és még további vizsgálatokra szorul.

#### A hamualkotórészek asszimilálása.

A növények szervesen alkotórészeinek tárgyalásakor rámutattunk arra a körülményre, hogy a növények táplálására 10 elem nélkülözhetetlen, nevezetesen a szén, a hidrogén, az oxigén, a nitrogén, a kén, a phosphor, a kálium, a calcium, a magnézium és a vas. Ezek közül az első négy elem asszimilálásával már foglalkoztunk, most hátra van még a többi hat nélkülözhetetlen elem asszimilálásának tárgyalása. Tulajdonképpen nem helyes ezeknek asszimilálásáról beszélni, mert nem tudjuk még valamennyiről, vajjon résztvesznek-e a szerves vegyületek alakításában, tehát inkább csak ezeknek a szerepéről beszélhetünk az asszimilált vegyületek keletkezésekor. Minthogy azonban közülük néhányról, mint pl. a kénről és phosphorról tudjuk, hogy szerves vegyületek alkotórészei, ezen hat nélkülözhetetlen elem asszimilálásáról is beszélhetünk.

A kén éppen úgy, mint a nitrogén a fehérjeanyagoknak alkotórésze, ezeken kívül előfordul még mint szulfát, vagy szulfid a növényekben és számos fajban, különböző részekben különböző vegyületeket alkot: ilyenek a keresztesek magvában az allylmustárolaj  $C_3H_5N \cdot CS$  (*Brassica nigra*) vagy a p oxybenzilmustárolaj  $HO \cdot C_6H_4 \cdot CH_2 \cdot N \cdot CS$  (*Sinapis alba*), a fokhagymában az allylszulfid  $(C_3H_5)_2S$  és az allyldiszulfid  $(C_3H_5S)_2$  és a vöröshagymában az allylpropildiszulfid  $(C_3H_5 \cdot S \cdot C_3H_7)$ , amelyek képződéséről keveset tudunk.

A kén asszimilálására a növény gyökerei csak a szulfátokat veszik fel; a kénessav, a kénhidrogén és az oldható fémszulfidok mérgezően hatnak. A fehérje képződésekor a szulfátok



redukálódnak; ennek a módjáról és helyéről azonban mitsem tudunk. A kénnek a fehérjetestek alakulásában való részvételéről is keveset tudunk; e kérdés tanulmányozását ugyanis még megnehezíti az a körülmény, hogy a fehérjékben csak 0'4—1'5%, vagyis a többi elemhez képest nagyon kevés kén van.

A phosphor is a fehérjetest molekulájába tartozó elem, amelyet a növény csak phosphátalakban vehet fel és amely — úgylátszik — mint phosphorsav, redukció nélkül jut be a fehérjébe. A phosphor asszimilálása sötétben is végbemehet, különösen fiatal sejtekben, de a fénynek kitett levelekben is asszimilálódhatik a phosphor, amely különben a nukleoalbuminokon és nukleoproteideken kívül a lecitinben is megvan.

A káliumot a növények különböző sók alakjában veszik fel; különösen nagy mennyiségben veszik magukba az úgynevezett „káli“ növények, amelyek bőven tartalmazznak szénhidrátot. Kénsavas, salétromsavas és phosphorsavas sók a legalkalmasabban asszimilálódnak, de még a káliumchlorid is használható. Ellenben a káliumcarbonát lúgos reakciójánál fogva káros hatású és a kálium kénvegyületei mérgezően hatnak. A kálium szerepéről keveset tudunk. Pfeffer valószínűnek tartja, hogy a kálium a protoplazma vegyületeibe jut be. Mások ismét a szénhidrátok, sőt a fehérje alakulásában és átalakulásában tulajdonítanak neki szerepet.

A magnéziumot a növények majdnem kizárólag szulfátok alakjában veszik fel. A fehérjetestek közül a kristalloidokban állandóan találni magnéziumot. Az újabb vizsgálatok szerint a chlorophyll színanyagának is fontos alkotórésze, de a citoplazma alakításában is részes.

A calcium az újabb tapasztalatok szerint a fehérje szintézisében közvetlenebb szerepet visz, mint eddig gondolták. A calciumot a növények könnyen oldható sók alakjában veszik fel; a calciumchlorid kevésbé alkalmas, a calcium kénvegyületei mérgesek. A calciumnak különben a növényekben fontos szerepe, hogy vele kapcsolatban szállítódnak a savak és hogy a sejtekben semlegesíti a mérges hatású savakat, pl. az oxálsavval ( $C_2H_2O_4$ ) calciumoxalát kristályokat alkot, amelyek különböző telítettségű vakuólákban képződve, különbözően alakulnak. Ezért a calciumot különösen azokban a növényrészekben találjuk



meg bőven, ahol a fehérjesejtek alakulása nagyobb mértékben folyik. A zöld levelekben a calcium annál nagyobb mértékben gyűlik meg, minél idősebbek és pedig nagyobbára calciumoxalát alakjában. Némely növényben azonban nem találni oxalátot, pl. a mohok, harasztok és fűvekben, amelyekben az oldható káliumoxalát helyettesíti a calciumoxalátot, más növények ismét bővelkednek calciumoxalátban, pl. a dohány, kender, komló, némely keresztes és hüvelyes növény.

A v a s valamennyi növényre nézve szükséges, de — amint már kimutattuk — a növények csak kis mennyiségben veszik fel. A vas úgylátszik résztvesz a nukleoproteidek alakításában és nélkülözhetetlen a chlorophyll színanyaga képzésénél, amelyben szerepe olyan fontos, hogy elmaradásával a chlorophyll képzése is elmarad és a növény chlorotikus lesz, magában a chlorophyll színanyagában azonban nincs jelen.

A hamualkotórészek közül még meg kell említenünk egyes nem feltétlenül szükséges vegyületeket, amelyeket azonban bizonyos növények, különösen egyes halophyták megkívánnak. Ilyenek pl. a tengerparton növő növények, amelyek a növénytenyésztetre mérgező hatású NaCl-ből 3%-nyi mennyiséget nemcsak elbírnak, hanem egyenesen meg is kívánnak. Általában azonban az újabb vizsgálatok azt mutatják, hogy a konyhasó a növényeknek nem feltétlenül szükséges tápanyaga, csak éppen elbírják. Ugyanez a helyzet a szíkes növényeinknél is, amelyek a növénytenyésztetre káros szódából olyan mennyiségeket is elbírnak, amint azt M a g y a r vizsgálatai mutatják, amelyek más növény számára végzetes hatásúak lennének.

### **Az asszimilált anyagok szállítása és felhasználása.**

#### *Az asszimiláták szerepe.*

A gyökerek által a talajból felvett táplálóanyagok és a levelek által a levegőből felvett széndioxyd, a növényi test nyers táplálékanyagai — amint azt már láttuk — bizonyos változáson mentek át a növényi testben, vagy legalább is elemeiknek másnemű kapcsolódása folytán olynemű vegyületek alakulására adtak alkalmat, amelyek a növények testét alkotó vegyületekhez hasonlóak, vagy azokkal megegyezők. Ezeket a vegyületeket meg-



felelő átalakulás után a növény már fel tudja használni, amiért is ezeket a vegyületeket régebben kész táplálékanyagoknak mondták, most ezeket helyesebben és megfelelőbben áthasonított, asszimilált táplálékanyagoknak, vagy röviden asszimilátáknak nevezik.

Az asszimiláták, hogy a növényi testben megfelelő módon felhasználódjanak, bizonyos változáson mennek át. Az asszimiláták keletkezését és az asszimilátákból keletkezett különböző vegyületek alakulásának különböző folyamatait az anyagcsere fogalma alatt szokás egybefoglalni. Az anyagcserének első szakaszát — amint láttuk — a szerves vegyületeknek a nyers táplálékanyagokból való alakulása, vagyis az asszimilálás alkotja, amelynek eredménye a szénhidrát, a fehérje és a zsírnemű vegyületek megalakulása. Azonban ezeknek a vegyületeknek, különösen a nyers táplálékanyagoknak, hogy a növény életében való szerepüket teljesíthessék, még nagymértékű változásokon kell keresztülmenniük és pedig még bonyolódottabb vegyületekké kell átalakulniuk. Az átváltozásoknak vagy átalakulásoknak ezt a sorát az átalakulások emelkedő sorának mondják.

A létrejött vegyületek a növényi élet fenntartására szükséges energia szolgáltatása végett még egy átalakulási sorozaton mennek át, amelyet az átalakulások hanyatló sorának nevezünk; ezzel, mint az anyagcsere harmadik szakaszával későbben fogunk foglalkozni.

Az anyagcserének ezek a szakaszai azonban nem folyhatnak le egyformán a növény minden sejtjében. Az előzőekben kimutattuk, hogy a szénhidrátok alakulása kizárólag csak a chlorophylltartalmú sejtekben mehet végbe, sőt, hogy a fehérjeanyagok alakulása is nagyobb mértékben történik meg a chlorophyllos sejtekben, mint a chlorophylltalan sejtekben. Ámde a chlorophyll leginkább a levelek sejtjeiben van meg és ha a levélnyél és a szár sejtjeiben van is chlorophyll, annak mennyisége a levelekénél jóval csekélyebb, sőt a sejt citoplazmájához képest is igen kevés; a növény testét alkotó legtöbb sejtben, nevezetesen a gyökér, a földbeli szár sejtjeiben pedig chlorophyll éppen nem található. Ennélfogva a chlorophyllt tartalmazó sejteknek kell elsősorban szénhidráttal ellátni azokat a sejteket is, amelyek chlorophyll híján maguk nem tudnak szénhidrátot készí-



teni. Ez pedig csak úgy következhetik be, ha a zöld sejtekben alakult szénhidrát és más vegyületek kivándorolnak és azután azokba a sejtekbe szállítódnak amelyekben nincsen chlorophyll és amelyekben ezek az asszimiláták azután megfelelően felhasználódnak.

A chlorophyllos sejtekből, illetőleg a chlorophyllszemcskékből a szénhidrát és a képződött keményítőszemcskének eltűnését már a jódpróbával is bebizonyítottuk. A keményítő az éjszaka folyamán egészen el is tűnhet, kivándorolva a levélnyélen át. Hogy a keményítő csakugyan kivándorolt és nemcsak más oldott vegyületté alakult át, azt könnyű bebizonyítani azzal, hogy az alkonyat felé levágott lomblevélből a keményítő nem tűnik el, azaz nem is vándorol ki, ellenben a száron maradt levélből a nyélen át bizonyára a szárba vándorolt be.

A már mondottak alapján minden bővebb megokolás nélkül is belátjuk, hogy a keményítő mint szilárd test és a fehérjeanyagok mint kolloidális anyagok a sejtfalakon át nem fognak a levélből kivándorolni. Hogy kivándorolhassanak, olyan vegyületekké kell átalakulniok, amelyek a sejtfalakon is át tudnak szivárogni, illetőleg oly anyagokká, amelyek vízben könnyen oldhatók. Az ilyen vegyületek azután akár sejtről sejtre is elvándorolhatnak a növény testének olyan helyeire, illetőleg sejtjeibe, amelyekben asszimiláták nem képződnek és amelyekben azután a növény szükségletének megfelelő vegyület alakjában és megfelelő módon használódhatnak fel. A növény testében az ilyen átalakulások folytán jönnek létre a legkülönbözőbb vegyületek, amelyek az átalakulásoknak nemcsak felmenő vagy hanyatló során foglalnak helyet, hanem ilyen különböző vegyületek alakjában különböző szerepet visznek.

Ezek a vegyületek éppen ezen szerepük, sorsuk alapján csoportosíthatók legcélszerűbben.

Nevezetesen már P f e f f e r csoportosította a növény testében az asszimilátákból alakult vegyületeket, különösen további szerepükre és a növény életében való jelentőségükre való tekintettel és pedig megkülönböztette:

1. az építő- vagy formatív anyagokat, amelyek egyenesen a növényi test alakítására használódnak fel, mint pl. a



sejttal építőanyaga, a cellulóz és a plazma alkotóanyagai, a fehérjetestek;

2. a plasztikus vagy trofikus anyagokat, amelyek táplálóanyagokként szerepelnek, mint a már tárgyalt nyers táplálóanyagok is, de idetartoznak az áthasonított táplálékanyagok és azok, amelyek a növények életfolyamatának fenntartására szükségesek (éltető, munkáló vagy működő anyagok);

3. az aplasztikus vagy atrofikus anyagok, amelyek jelentősége különböző. Ezekhez sorolja Pfeffer azokat az anyagokat, amelyek határozott célból és határozott feladatra alakulnak meg, de amelyek sorába tartoznak az építő- és táplálóanyagok átalakulása során időlegesen vagy folytonosan keletkező vegyületek.

Jóformán megegyezik ezzel a Pfeffer-féle csoportosítással Jost csoportosítása is, amelyben elsősorban a lomblevélben áthasonított anyagok szerepe van meghatározva. Nevezetesen az ilyen anyagok sorában legfontosabbak:

1. az építőanyagokként szereplő anyagok, amelyek oda vándorolnak, ahol a növény testének továbbépítése folyik, tehát a szár és a gyökér tenyészőcsúcsához, továbbá a kambiumhoz, amely helyeken az új sejtek alakítására használnak fel;

2. a tartalékanyagok, amelyek keletkezési helyükön vagy pedig a továbbvándorlás esetében a növény testének más helyén rövidebb-hosszabb időre felhalmozódnak, illetőleg raktározódnak, hogy azután későbben vagy a növény testének építőanyagául, vagy más célra használdjanak fel.

3. az áthasonított anyagok a növény testében oxydálódnak, ami által az átalakulások hanyatló során egyszerű szervetlen vegyületekké lesznek és mint ilyenek használdnak fel a növényben a táplálkozásra. Az ilyen átalakulás nagyfontosságú a növény életfolyamatainak fenntartására, amit a következőkben bizonyítani fogunk. Azokat az anyagokat, amelyek az átalakulásoknak áldozatul esnek, nevezzük az életműködést fenntartó vagy rövidesen működő (éltető, munkáló, üzemi) anyagoknak;

4. minthogy az anyagok átalakulása rendszeren vándorlással van egybekötve, még vándorló anyagokról is beszélhetünk.



A csoportosítás alapját az anyagoknak a növény testében való szerepe alkotja, de az anyagok vegyi tulajdonságára nincsen tekintettel. A négy különböző csoportbeli anyagok vegyileg különbözhetnek egymástól, de megegyezők is lehetnek. Éppen ezért az anyagok közt szerepükre nézve éles határt nem lehet vonni, mert ugyanaz az anyag egyideig szerepénél fogva az első csoportba tartozhatik, de bizonyos idő múlva szerepének változása folytán más csoportba jut, pl. a cellulóz kétségen kívül a növény testének építőanyagai sorába tartozik, azonban bizonyos magvakban mint tartaléktáplálóanyag szerepel; a glukóz például lehet asszimilálási termény, de lehet vándorló anyag, építőanyag, tartalékanyag, sőt éltető anyag is.

Az asszimilált anyagoknak különböző feladatra való felhasználódásuk céljából a legtöbb esetben keletkezési helyükről el kell távozniuk és pedig a növény testének arra a helyére, ahol megfelelő szerepüket betölthetik. A vegyületeknek erre a helyre való szállítását és ezeken a helyeken való szereplését ma sem ismerjük teljes valójában, sőt azt sem könnyű megfigyelni, amit róluk tudunk. Még aránylag legkönnyebben tájékozódhatunk a tartalék- vagy raktározott anyagok felől, éppen ezért célszerű az asszimiláták felhasználódását illető vizsgálatainkat ezekkel megkezdeni, annál is inkább, mert a folyamat lényegére nézve nincs különbség köztük és a többi asszimiláta között.

#### *A tartalék táplálóanyagok.*

A levelekben a tenyésztési időszak folyamán állandóan keletkező asszimilált anyagok csak kis részben maradnak meg a levélben, nagyobb részük eltávozik a levélből és pedig a tenyésztési idő folyamán, tehát még a növény növekedése idejében a növekedés helyére szállítódnak. Ha pedig a növekedés szükségelte anyag már kellő mennyiségben rendelkezésre áll, akkor a felesleges anyag, különösen a növekedés lassubbodásával vagy befejeztével, a növény testének bizonyos helyein halmozódik fel. Az ily módon felhalmozott anyag jórészt változatlan marad mindaddig, amíg a környezet hatása alatt ismét megváltozásra nem kényszerül. Éppen ezért nevezzük ezeket az anyagokat tartalék- vagy raktározott anyagoknak.



A raktározott anyagoknak helyei, tehát voltaképpen raktárai, a növény testének legkülönbözőbb részei lehetnek. A levélben, amint már említettük, nagyon kevés marad meg, legnagyobb részük a növény testének más tagjaiban, illetőleg részeiben talál elhelyezésre. Például az egyéves vagy rövidebb életű növényekben, amelyeknek teste a tenyészeti idő elteltével elpusztul, a tartalékanyagok a magban gyűlnek össze. Az évelő, tehát több éves növényekben a tartalékanyagok a magon kívül az áttelelő részekben raktározódnak. A tartalék táplálóanyagok az évelő lágyszárú növényeknek földbeli részeiben és pedig a gyökér- vagy szárrészeiben, mint a gyökértörzsekben (rhizoma), gumókban, hagymagumókban, hagymákban stb. telelnek át, amelyek ebből a célból sokszor tetemes nagyságra növekednek. A fásodó növények, különösen a fák és cserjék gyökerében és szárában, illetőleg a törzsében halmozódnak fel a tartalék táplálóanyagok, különösen pedig ezeknek a belében, belsőugaraiban és kisebb mértékben a farészekben is.

A növényeknek ezekben a raktáraiban találjuk azután a tenyészet szünetelésekor, tehát tél idején a tartalék táplálóanyagokat, amelyeket különböző szempontok szerint csoportosíthatunk és pedig vagy vegyi összetételük, vagy pedig halmazállapotuk szerint. Az előbbi szempont szerint megkülönböztetünk nitrogéntartalmú, nitrogéntől mentes szerves vegyületeket és hamualkotórészeket. Az utóbbi szempont szerint megkülönböztetünk szilárd, kolloidális és oldott vagy folyékony vegyületeket, amelyek valamennyien a sejtnék citoplazmájában vannak elhelyezve, mint tartalmi részek, vagy pedig a citoplazma környezte vakuólában. A szilárd és a kolloidális tartalékanyagokkal különösen azokban a növényrészekben találkozunk, amelyek könnyen kiszáradnak, pl. a magvakban, ellenben az oldott tartalékanyagokat a kiszáradástól óvott növényrészekben találjuk, pl. a gyökerekben. Előbbi esetben az anyagok kisebb térfogatot foglalnak el és a nagyon telített oldatok nagy ozmotikus nyomása nem lép fel.

A tartalék táplálóanyagok közül az előbb közöltek alapján a legfontosabbakat felsoroljuk.

A nitrogéntől mentes tartalék táplálóanyagok között nagy



mennyiségben jelennek meg a szénhidrátok, a zsírok, a nitrogéntartalmúak sorából pedig a fehérjevegyületek.

A szénhidrátok sorából szilárd alakban jelenik meg a keményítő, amely a növény legkülönbözőbb részeiben található meg és amellyel találkoztunk már a chlorophyllban is. A legjellemzőbben alakul ki a tartalékkeményítő, amely nagyságra és alakra nézve nagyon sokféle, de az egyes növényfajokra nézve mindig jellemző alakban jelenik meg, úgyhogy a keményítősze-mecskék alakjából a növény fajára a legtöbb esetben elég biztonsággal következtethetünk. A keményítő kémiáját és morfológiai tulajdonságait az I. rész 40—42. oldalain részletesen tárgyaltuk.

Az oldott szénhidrátok sorából csak a cukorvegyületekre mutatunk rá. Ezek közül különösen a nádcukor (répacukor, saccharóz) található raktározva pl. a cukornád szárában, a cukorrépa, a sárgarépa gyökerében a sejtek vakuólájában feloldva. A nádcukor mellett a növények testében különösen a szőlőcukorfélék (glukózok) és ezek közül a dextróz (d-glukóz) inkább a vándorló anyagok sorába tartoznak. A cukrok kémiájával és részletes leírásával az I. kötetben foglalkoztunk.

Az oldott szénhidrátoknak sajátos alakja az inulin, amely vízben oldódik és jódtól csak sárgára festődik. Jelentős mennyiségben van meg a fészkes virágzatúakban, nevezetesen a georgina (*Dahlia variabilis*), a csicsóka (*Helianthus tuberosus*), az örvénygyökér (*Inula helenium*) gumójában, illetőleg gyökértörzsében és gyökerében, amelyekből különösen ősszel és télen alkohollal szferokristályok alakjában választható le. A szferokristályok könnyen oldódnak tömény kén-savban.

A nitrogéntől mentes tartalékanyagok a zsírok és az olajok is, amelyek a zsírsavak eszterei. A növények sejtjeiben erősen fénytörő cseppekben jelennek meg (pl. a ricinus, a repce, a kender magjában). A zsíros anyagok bizonyos körülmények között szabálytalan alakú, többé-kevésbé lágy szemecskék alakjában, sőt kristályok alakjában is megjelenhetnek pl. a paradíó (*Bertholletia excelsa*) és a szerecsendió (*Myristica fragrans*) magjában. A zsírok- és olajokról az éterrel vagy alkohollal való kioldás által könnyen meggyőződhetünk.



A nitrogéntartalmú anyagok nagy része mint fehérjeanyag raktározódik és csak kisebb részük aminosavak alakjában, pl. a csiranövényekben, az évelő és fás növényekben. A fehérjeanyagok legnagyobb része mint kolloidális anyag a sejtplazmában raktározódik, különösen a tenyészteti szervekben. Már a magvakban és a csíra sziklevelében jól határolt alakban jelennek meg az ú. n. a l e u r o n - szemecskékben, amelyek úgy keletkeznek, hogy a vakuólákban mind bővebben gyűlik meg a fehérjeanyag és fogy a víz, míg végül az anyag szilárd testté szárad. Ilyenekkel találkozunk pl. a búza magfehérjének (endoszpermium) külső rétegében és a borsó, illetőleg a hüvelyesek csirájának sziklevelében. A szemecske alakulásakor a vízvesztés előtt a vakuóla anyaga elkülönül és különböző alakban válik ki, nevezetesen némely anyag kristályok alakjában (kristalloidok), más anyag gömbszerű testek alakjában (globoidok), amelyeket a megszilárduló vakuóla alapanyaga fog körül. Ebben sokszor még mészoalat is van szilárd alakban. A növény testében található fehérjevegyületek konstitúciójára és alaki sajátosságaira vonatkozólag utalunk az I. kötet megfelelő fejezeteire.

Az évelő növényekben, fás növényekben a nagyobb víztartalom miatt aleuron nincsen, de némelyekben kristalloidok találhatók, pl. a burgonyagumóban.

Ezen kívül a sejtben lévő vegyületek közül még a hamualkotórészek és esetleg meglévő szerves vegyületek némelyike is szerepel mint tartaléktáplálék, azonban az anyagcsere sajátosságának áttekintésében ezeket mellőzhetjük. A nitrogéntől mentes és nitrogénes tartalékanyagoknak a raktározó helyeken meggyűlt mennyisége nagyon különböző viszonyban van egymással. Többnyire a nitrogénmentes anyagok vannak nagyobb mennyiségben, pl. a burgonya, a csicsóka gumójában és a lisztes magvakban; más esetekben a nitrogéntartalmú anyagok fordulnak elő bőségesen és pedig a keményítőszemecskék jelenlétében többnyire apróbb zárványnélküli aleuronszemecskék alakjában, ellenben az olajtartalmú magvakban mint nagyobb és zárvánnyal bíró aleuronok. Utóbbira szolgál például a ricinus magja, míg az előbbivel a hüvelyesek magjában találkozunk, amelyekben a fehérjeanyag a szárazanyag tekintélyes mennyiségét alkotja. Pl. K ö n i g közlése szerint a fehérjeanyag a mag száraz súlyának



a hántatlan rizsben . . . . .	6'49%-a,
a búza magjában . . . . .	14'30%-a,
a veteménypaszuly magjában . . . . .	26'94%-a,
a lencse magjában . . . . .	29'32%-a,
a borsó magjában . . . . .	21'18%-a.

A hüvelyesek magjának ez a nagy fehérjetartalma teszi lehetővé nagy tápláló értéküket és nagy hasznosságukat, de egyúttal ez is magyarázatot nyer az előbbi fejezetekben ismertetett baktériumok munkája által.

A felhalmozott tartalék táplálóanyagok a tenyészetű folyamatok szünetelése alatt jórészt változatlanok, kivéve az életműködés fenntartására szükséges változásokat. Ott azonban, ahol a raktározó szövetek tekintélyes terjedelműek, mint pl. a főtörzsek és az ágak parenchymájában, már a raktározó szövetben magában is megváltoznak a tartalékanyagok. *Russow* vizsgálataiból értesülünk először arról, hogy a legtöbb fás növényben a téli pihenő alatt kisebb-nagyobb mértékben képződik zsír a keményítő alakjában felhalmozott tartalékanyagok rovására. Európa középső és északi részében szeptembertől decemberig a keményítő fokozatosan fogy, ellenben a zsír gyarapodik, amely azután hosszabb ideig, kb. február végéig megmarad, amikor ismét a keményítő újjáalakítása veszi kezdetét. A keményítő újból való megalakulását siettethetjük is, ha pl. valamely fa ágát meleg helyiségbe állítjuk, pl. szobába vagy üvegházba. *Fischer* szerint némely fafaj keményítője egészen eltűnik, míg más fajokban csak kevésbé csökken a keményítőtartalom. Az előbbieket *Fischer* zsíros fáknak nevezi, aminők pl. a hárs, a nyír, az erdeifenyő, tehát rendszerint a lágyfák, ellenben az utóbbiakat keményítős fáknak mondja, aminők a keményfák, pl. a tölgy, a szil, a körte, a köris. A kettő között átmenetet alkot a fenyőfák nagy része és a kecskerágó.

A zsír létrejöttét azonban csak megállapítani tudjuk, de az alakulás módját nem ismerjük. Az átalakulásnak magának azonban nagyon mélyre hatónak kell lennie. Mert hiszen oxigénben szegény vegyület alakul meg oxigénben aránylag elég gazdag vegyületből. Az átalakulás magyarázatát annál nehezebb megtalálni, mert a sejten kívül ehhez hasonló vegyi átalakulást még nem észleltek.



Az átalakulást előidéző körülményeket sem ismerjük. A legtöbb kutató a hőmérséklet csökkenése hatásának tulajdonította az átalakulást. A téli hideg azonban, úgylátszik, csak a keményítőnek cukorra való átalakulását idézi elő és a zsír alakulására nincs hatással. Hasonló jelenség régen ismeretes a burgonyagumókon, amelyekben kevéssel a  $0^{\circ}$  fölötti hőmérsékleten a keményítő cukorra alakul át; ez a jelenség az, amelyről általános tapasztalat szerint azt mondják, hogy édes a burgonya, mert megfagyott.

A jelenségnek nemcsak az okát, de még a jelentőségét sem ismerjük. A keményítő átalakulása talán összefüggésbe hozható a burgonyagumó sejteinek fagyáspontcsökkenésével. Niklowsky szerint a növények fejlődésének időszakossága lehet irányító hatással a zsír alakulására.

A raktározott anyagoknak megváltoztatása még más növényrészekben is tapasztalható, pl. a termésekben, de ezeknek lefolyásáról, jelentőségéről még kevesebbet tudunk.

#### *Az enzymek.*

A tenyészeti időszakot felváltó nyugalmi időszakban a tartaléktáplálóanyagok legtöbbször olyan alakban vannak meg, amely alakban nem képesek vándorolni. Mihelyt azonban a tenyészeti időszak kezdetével a külső körülmények megváltoznak, amennyiben azok a növények növekedésére, de különösen anyagcseréjére kedvezőké lesznek, a tartalék táplálóanyagok is változást szenvednek és fokozatosan olyan alakba mennek át, hogy szállításra és esetleg felhasználásra is alkalmasakká váljanak.

A tartalék táplálóanyagoknak ezt a változását a sejtekben lévő bizonyos anyagok vagy vegyületek hozzák létre, amelyeknek hatása éppen a beálló kedvező körülmények között tud érvényesülni. A tartalék táplálóanyagok átalakulására vagy szétbontására készítő anyagok az *enzyme*k.

Az enzymeeknek ez az átalakító, meghasonító hatása hasonló az olyan szervetlen testeknek hatásához, amelyeket *katalyzátor*oknak neveznek, úgyhogy az enzymek hatását ma legnagyobb mértékben a katalitikus jelenségek közé sorolják. Az enzymeeknek a katalyzátorokhoz való beosztása mai felfogásunk szerint a leghasználhatóbb feltevés. Ennek bizonyosságát



látjuk abban is, hogy pl. a kolloidális platina, épen úgy, mint az oxydáz a hidrogén-superoxydot ( $H_2O_2$ ) meghasítja az oxygén leválasztásával. Igaz, hogy ez megtörténik az enzimhatás nélkül is, de kétségtelen, hogy az enzim hatására a folyamat gyorsabban megy végbe.

Az enzimek részletes leírásával, kémiájával és csoportosításával a 11.—17. oldalakon már részletesen foglalkoztunk. A következőkben az enzimek hatásáról szeretnénk röviden szólni:

Az enzimek hatásaikban rendkívül függenek a külső tényezőktől, így a hőmérséklettől, savak, lúgok hatásától, azután alkohol, chloroform és más organikus vegyületektől; a nehéz fémek sói szintén erősen hatnak az enzimek működésére.

Az összes enzimek thermolabilok és a legtöbbje  $50-70^\circ C$  között már elveszíti hatását, míg működésük optimális hőmérséklete  $30-35^\circ C$  között van.

Egyes oxydáz enzimek rövid ideig  $100^\circ C$  hőmérsékletet is elbírnak. Igen alacsony hőmérsékletek az enzimekre nem hatnak és a legtöbbje a folyékony levegő hőmérsékletét is elbírja. Savak és lúgok már gyengébb koncentrációnál is megakadályozzák az enzimek működését, míg igen híg savak az enzimek hatását elősegítik.

Hogy a külső tényezőkkel szemben az enzimek ilyen érzékenyek, az valószínűleg kolloid állapotukkal van szoros összefüggésben és feltehető, hogy a kolloidálisan oldott enzimek nagy felületétől függenek a katalytikai hatások.

Az enzimek az anorganikus katalyzátorokkal ellentétben kizárólag specifikus hatást idéznek elő és biológiai szempontból csak egyes vegyületekre reagálnak, míg a többire semmiféle hatást nem gyakorolnak.

Igen érdekes az a jelenség, hogy a vegyület strukturájában bekövetkezett legkisebb változás, sőt stereoizometrikus változás is előidézheti azt, hogy az enzim nem hat. Így a d-glukóz, a zymáz enzim által alkohollá erjed, viszont az l-glukóz nem erjeszthető. Fischer az enzimek hatását a lakattal és a finoman kidolgozott kulccsal hasonlítja össze: a hatás csak ott következik be, ahol a kulcs pontosan illik a lakatba.

Vannak anyagok, amelyek egyes enzimekkel szoros kapcsolatban vannak és az enzimek működését vagy elősegítik, vagy megakasztják. Az ilyen anyagokat, ha az enzim mű-



ködését elősegítik, specifikus aktivátorok-nak, viszont ha a működést zavarják, specifikus paralyzátorok-nak nevezzük. Az ilyen specifikus aktivátorokat kinázok-nak is nevezik.

Hasonlóképen gyorsító hatást gyakorolnak az enzymek működését illetőleg az ú. n. koenzymek. Az erjesztősejtek enzyme: a zymáz csak akkor erjeszti a cukrot, ha egy koenzym van jelen. Ha pl. az erjesztősejtekből kiperéselt nedvet dialyzáljuk, a két anyag külön-külön nem erjeszti a cukrot, csak a kettő együtt. A koenzymek a főzéssel szemben igen ellenállóak és majdnem az összes állati szövetekben előfordulnak.

A paralyzátorok szerepe még kevésbé van tisztázva, mint a koenzymek szerepe. Lehet, hogy a paralyzátorok valóságos antifementumok, amelyek az enzymeket lekötik, úgy-hogy ezek hatni nem tudnak. Így pl. a cholesterolin a lipázok működését, a szén a chymáz, míg a kolloidális  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  a pepsin működését akadályozza.

Hogy megérthessük az enzymeeknek ezt a sokszor ellentétes hatását, sohasem szabad elfelednünk azt, hogy a sejt protoplazmájában egymás mellett a legkülönbözőbb folyamatok folyhatnak le, mert a protoplazma tagolódása és szerkezete a kémiai folyamatok és reakciók elkülönítését lehetővé teszi. Nem szabad megfigyelésünk emellett arról sem, hogy a sejtekben a vegyületek, mint oldatok disszociálnak és így ionreakciók is lehetségesek, végül pedig, hogy a folyamatok gyorsaságára elsősorban a hőmérséklet hat, hiszen V a n't H o f f szerint bizonyos reakciók a hőmérsékletnek bizonyos határok között való emelkedésével 2—3-szor gyorsabban folynak le.

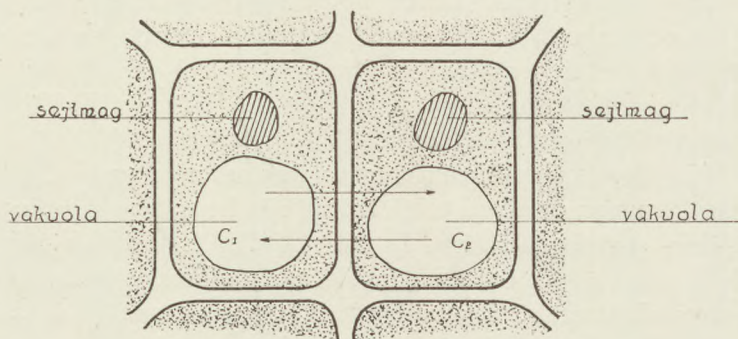
#### *Az organikus anyag vándorlása.*

Amint az eddigiek folyamán láttuk, a növények asszimilációs folyamatai alatt elsősorban szénhidrátok keletkeznek és ezekből képezik azután a növények a többi szerves anyagaikat. Természetesen a szerves anyagok a növény belsejében állandó mozgásban vannak, vándorolnak azokra a helyekre, ahol rájuk a növény létfolyamatánál elsősorban szükség van. Ilyen helyek az új szövetek, illetőleg a sejteket képező merisztematikus szövetek, a kambium és a phellogén, továbbá mindazok a sejtek,



amelyekben a növény hőenergia szerzése céljából lélekzik, aminek következtében a szerves anyag fokozottabb mértékben lesz felhasználva.

Amint már láttuk, a vizet az edénnyalábok fás részében lévő edények és tracheidák szállítják a koronába, míg az asszimiláció folyamán képzett szerves anyagok szállítása az edénnyalábok háncsrészében lévő parenchymasejtekben és rostacsővekben megy végbe. A rostacsővek elsősorban a fehérjéket és a szénhidrátokat, míg a parenchymasejtek a szénhidrátokat, zsírokat stb. szállítják. Az organikus anyag sugárirányú elosztásáról azután a bélsugarak gondoskodnak.



85. kép.

Az ozmotikus jelenség egyszerű sematikus ábrázolása.

Ha  $c_1$  jelenti a vakuolában levő sejtnedv töménységének fokát és  $c_1 > c_2$ , akkor a vízáramlás  $c_2$  felől  $c_1$  felé történik, viszont az oldott anyag kicserélődése fokozatosan  $c_1$ -ből  $c_2$  felé halad.

Az organikus anyag vándorlása a diffúzió útján történik, tehát lényege az ozmotikus jelenségek tárgyalásakor megismert törvényszerűség értelmében abban áll, hogy az egymással érintkező folyadékokban az oldott anyag koncentrációja kiegyenlítődik. A kiegyenlítődés úgy megy végbe, hogy a víz az endozmózis folyamán a kisebb koncentrációjú helyekről a nagyobb koncentrációjú helyek felé áramlik, míg az oldat ezzel ellenkezőleg az exozmózis útján a kisebb koncentrációjú helyek felé haladva igyekszik a koncentráció különbségeket kiegyenlíteni abban a mértékben, ahogy a plazma permeabilitása ezt az életpolyamatok célszerűsége szempontjából szabályozza (l. 85. kép).

Természetesen teljes kiegyenlítődés sohasem áll be, miután



a sejtek anyagfelhasználása a rendes életműködések folyamata következtében állandó koncentráció-különbségeket, az ú. n. diffúzióesést hozza létre. Diffundálni csak vízben oldott anyagok tudnak és ezért a kolloidális anyagok (pl. a keményítő, a zsírok, vagy a fehérjék túlnyomórészben) közvetlen vándorlásra nem képesek, hanem a növénynek megfelelően át kell alakítani őket.

Az újabb vizsgálatok azt mutatják, hogy az anyag vándorlásának okai nemcsak a fiziológiai diffúzióban keresendők, hanem ennek szabályozásánál még fizikai tényezők is szerepet játszanak. Itt elsősorban a transpirációt kell megemlíteni, amely a növényekben lefolyó vízáramlást természetesen rendkívül gyorsítja. Azonfelül a protoplazma permeabilitása szintén fontos szerepet játszik, amennyiben a növény életszükségleteinek megfelelően szabályozza a diffúzió közbejöttével az anyag vándorlását. Elsősorban a protoplazma közbejöttének eredménye az exozmózis, vagyis az élő protoplazma képes arra, hogy az ozmotikus jelenségek folytán létrejövő diffúziót a sejtekben lévő koncentrációnak az exozmózis szabályozásával való változásával irányítsa. Azonkívül szerepet játszik még a növény különböző részeinek egyenlőtlen melegekedése is, amely szintén fizikai okokból befolyásolja a diffúziót és az anyagvándorlást.

Amint mondtuk, a tartalék táplálóanyagok átalakítását elsősorban az enzyme végzik. A legfontosabb a keményítőnek és a zsíroknak átalakítása és vándorlása, miután ez a két anyag a növényeknek fontos tartalék táplálóanyaga. Amint az újabb vizsgálatok mutatják, e két anyag az adott viszonyoknak megfelelően kölcsönösen átalakulhat. Azokon a helyeken, ahol a növény a vízben oldható szénhidrátokat tartalék táplálóanyagokká, tehát vízben oldhatatlan keményítővé vagy zsírokká változtatja át, a koncentráció-különbség állandóan nagyobbodik, úgyhogy azokon a helyeken, ahol a tartalék táplálóanyagok képződése meg végbe, a diffúziós áramlás útja állandóan biztosítva van.

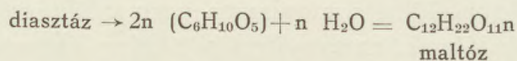
Természetesen a sejtről-sejtre való meglehetősen lassú diffúziós anyagvándorlás még önmagában nem lenne elegendő a növények életfolyamatainál beálló nagymérvű anyaghasználat fedezésére. Ezért gondoskodott a természet a rostacsövekről, amelyek a tömeges anyagszállítást végzik. Ennek a közelebbi le-



folyása ma még nem ismeretes eléggé, de az bizonyos, hogy azt is koncentráció-különbségek hozzák létre és az élő sejtek jelenlétéhez van kötve, miután az elhalt hánccselemek az anyag szállítását már elvégezni nem tudják. A diffúzió tehát a parenchymasejtekre van korlátozva, míg a nagyobb távolságra való és tömeges anyagszállítást a rostacsövek végzik.

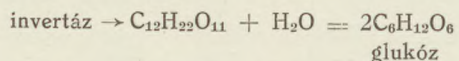
A vízben nem oldható táplálóanyagok mobilizálását az enzimek végzik. Ezek közül a legfontosabbak azok, amelyek a keményítő, a hemicellulózok, a zsírok és a fehérjék mobilizálását teszik lehetővé.

A keményítő oldását a diasztáz nevű enzim végzi hydrolytikus úton az általános

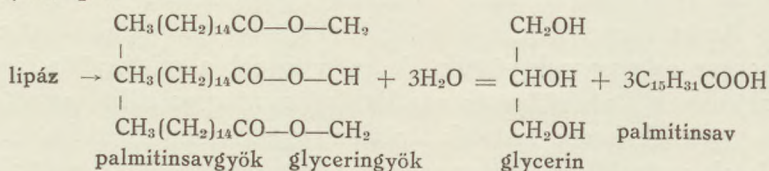


képlet szerint.

A keletkezett maltózt azután néha az invertáz nevű enzim két molekula szőlőcukorra invertálja szintén hydrolytikus úton:



A zsírokat a lipáz enzim mozgósítja hydrolyzis útján, pl.:



A glycerin vándorlása a protoplazmán és a sejtfalakon keresztül könnyen megy végbe, a zsírsavak azonban vízben nem oldódnak és ezeknek vándorlása, illetőleg annak módja kielégítő módon még nem ismeretes. Valószínűleg mint rendkívül finom cseppekben elosztott emulziók teszik meg útjukat

A cellulózok közül csak a hemicellulózok, az arabánok, xylánok, mannózok és galaktánok szerepelnek egyes növények magjában mint tartalék táplálóanyagok. Ezeket a növényeket a Newcombe által felfedezett cytáz nevű enzim segítségével hydrolyzálják vízben oldható és így vándorlásra képes cukrokká. Pl.:







Ezeknek az ismereteknek birtokában nézzük most már a növényeknek gyakorlatilag is fontos életfolyamatait, amelyek az anyagvándorlással vannak összeköttetésben.

### *A csirázás, a rügyfakadás és a sarjadzás.*

A csirázás alatt értjük azt a folyamatot, amelyben a magban lévő csira (embrió) nyugalmi állapotát elhagyva, növekedésnek indulva, a magból kitör és először csiranövénykévé fejlődik, hogy azután tovább növekedve a magot fejlesztett növényhez hasonlóvá legyen. Ez a fejlődés azonban csak akkor indulhat meg és csak akkor juthat célhoz, ha a magban lévő raktározott táplálékokat a csira fel tudja használni, ami csak az enzimek hatására bekövetkező változások által lehetséges.

Tudvalevően a magvakban a maghéjon belül találjuk a magfehérjét (mégpedig a külső magfehérjét: perispermium és a belső magfehérjét: endospermium) és az általa többnyire körülvett csirát, vagy pedig csak a csirát, amely esetben a tartaléktáplálék a sziklevelekben halmozódik fel, ellentétben az előbbi esettel, amidőn a tartaléktáplálék a magfehérjében raktározódik.

Amint említettük, a csirázás megindulásához víz, melegség és levegő szükséges. Most csak a víz és a melegség jelentőségét méltatjuk. A vizet a magvak általában nagyobb mennyiségben veszik fel, úgyhogy a mag súlyához viszonyítva, a különböző magvak által felvett víz mennyisége 30—100% között váltakozik. A víz nemcsak a mag héjába hatol be, hanem a mag belsejébe, a magfehérjébe és a csirába is. A felvett víz ezeknek legkisebb részecskéi közé nyomul, ami által a mag megduzzad és térfogatában megnagyobbodik. A magfehérje és még inkább a csira duzzadtsága folytán a maghéj felreped és a csira a kedvező hőmérsékleten nyugalmából kimozdul és megkezdí tevékeny életét. Hogy pedig ehhez az első munkájához elég anyaga és ereje legyen, megindítja a tápláléknak a magfehérjéből, illetőleg a sziklevelekből a csirába való szállítását. Az első munka következménye az, hogy a csira a mag üregéből részben vagy egészen eltávozik, amennyiben előbb gyökérkéje hagyja el a magburkot, lefelé nyúlva a talajba, azután a rügyecske sza-



badul ki ideiglenes börtönéből. A sziklevelek vagy egészen kiszabadulnak, vagy csak részben.

A csirázás megindulásához, valamint a csiranövényke és egyes részeinek továbbfejlődésére nézve különböző hőmérséklet szükséges. Mindegyik magra nézve van egy olyan alacsony hőmérséklet, amelyen alul nem csirázik (minimum) és egy olyan magasabb hőmérséklet (maximum), amelyen túl nem csirázik, de van a kettő között olyan hőmérséklet, amely a csirázásra nézve a legkedvezőbb (optimum). A mondottak megvilágítására közlünk itt néhány példát:

	Minimum	Optimum	Maximum
Tengeri . . .	9'3° C	33'7° C	46'2° C
Paszuly . . .	9'3° C	33'7° C	46'2° C
Tök . . . . .	13'5° C	33'7° C	46'2° C
Búza . . . . .	5'0° C	28'7° C	42'5° C
Árpa . . . . .	8'7° C	28'7° C	37'5° C

Ezek a számok azonban nem mutatják még a végleteket, hiszen pl. Kerner szerint a havasi növények magvai 2° C-nál már csirázhatnak, sőt Uloth szerint a juhar és a búza magvai jégen is csiráztak.

Haberlandt megfigyelései szerint a kender, a rozs, a piros lóhere, a lucerna, a repce, a borsó magvainak csirázása 0°-nál megkezdődött.

Az elősorolt körülmények megadják mindazokat a feltételeket, amelyek között a csira növekedését megindíthatja és a magból való kikelését megkezdheti, de hogy növekedését folytathassa, illetőleg hogy a testét alkotó sejteket, szöveteket fejleszthesse, olyan anyagokra van szüksége, amilyenekből teste áll. Ha már gyökere a talajban a nyers táplálék felvételére képes és ha a szík levelei megzöldültek, akkor már maga is tud ilyen anyagokat készíteni. Amíg azonban ennyire kifejlődik, az anyától magától hozományként nyert tartalék táplálóanyagokra van utalva, amelyek — amint már említettük — elégségesek arra, hogy a kis csiranövény kifejlődhessék, sőt a magban lévő táplálék többnyire elégséges még továbbmenő fejlődés kielégítésére is, amit a sötétben, desztillált vízben való kultúra is igazol. Igaz



ugyan, hogy a csiranövény fejlődése sötétben is előbbre halad, ha a gyökér már a hamualkotórészek felvételére képes és pedig azért, mert ilyen alkotórészek a magban kevésbé rendelkezésre állanak. Hogy pedig a tartalék táplálóanyagok a csirák által felhasználhatók legyenek, először olyan alakot kell öltetniök, hogy a csirába juthassanak, másodszor a csirától felvehetők legyenek. Azokba a csirába, amelyeknek szikleveleiben van a tartalék-táplálék, könnyen jut bele ez az anyag, ellenben ott, ahol a tartaléktáplálék külön a magfehérjében van felhalmozva, ott a sziklevelnek felületével veszi át a csira a táplálóanyagot. Kétféle például szolgál erre a búza szemtermése, amelyben a magfehérje oldalán van a csira elhelyezve; ennek sziklevele, illetőleg az úgynevezett pajzsa (scutellum) hozzásimul a magfehérjéhez. A pajzs felületi sejtjei a magfehérje anyagának nagyobb mértékű felvétele céljából meg is nyúlnak és felszívó (adszorbeáló) réteget alkotnak.

A tartalékanyagoknak a felvételre való kedvező átalakítását végzik éppen az előbb tárgyalt enzyme. Nézzük elsősorban, hogy a tartalékanyagok közül a legjobban elterjedt keményítő milyen változásokon megy át.

A növényben a keményítőszemecske nincsen szabadon, mert hiszen, amint az asszimilálásnál való keletkezésekor a chloroplaszt zárja körül, úgy a növény testének a fénytől többnyire elzárt sejtjeiben is a leukoplasztban képződik és növekedik, tehát vékony, plasztikus réteggel van körülvéve, amely a savakkal való érintkezéstől megóvjá. De nem óvjá meg a keményítőt a diasztáz enzim hatásától.

A diasztáz elég bőven van meg a keményítőben bővelkedő sejtekben, amelyekből 50° C hőmérsékletű víz által, kivált ha a magvakat előzetesen feldaraboltuk, könnyen kioldható.

Az ily módon készített diasztázzal azután kísérleteket is végezhetünk. Nevezetesen, ha ezzel a diasztáz kivonattal keményítőszemecskéket kezelünk, akkor ezek lassanként feloldódnak; ugyanezt tapasztaljuk a keményítő-csirizzel, amely a diasztáz hatására lassanként átlátszó és folyékonyabbá lesz. A jóddal való kék színeződés lassanként elmarad és borveres színeződés jelentkezik, míg végül ez is elmarad, amikor már a keményítő egészen eltűnt, és dextrin és maltóz lett belőle. A maltózzal meggyőződhetünk az alkálikus rézsulfát-reakcióval. A keményítőtől tehát cukor lett, a már vázolt reakciók közbejöttével.



A kísérlet keresztülvitelekor ügyelni kell arra, hogy nem minden magból vonható ki ugyanaz a diasztáz, vagyis hogy valószínűleg többféle diasztáz van. Éppen ezért a dextrin átalakulása sem történik meg úgy, amint fentebb feltételeztük, hanem sokszor glukóz keletkezik, valószínűleg egy másik diasztáz hatására. Ilyen módon tehát a sav által előidézett változáshoz hasonló átalakulást tapasztalhatunk, vagyis háromféle diasztáz hozta létre ugyanazt az eredményt.

A diasztázra mint enzimre a hőmérséklet jelentékeny mértékben hat; bizonyos hőfokig hatását elősegíti, de azontúl emelkedve, az enzim hatását korlátozza, illetőleg csökkenti. A diasztázra különben bizonyos anyagok is korlátozóan hatnak, pl. a formalaldehyd. Vannak azonban más anyagok, amelyek serkentően hatnak reá, pl. bizonyos szerves savak, közömbös sók. Mindezek a diasztáz hatását módosítják, azonban a diasztáznak mindig igen kis mennyisége nagyobb mennyiségű dextrint képes maltózzá átalakítani, anélkül, hogy diasztatikus erejéből veszítene.

A diasztáznak a kísérlettel teljesen megegyező hatását tapasztalhatjuk a csirázáskor is. A fűvek magfehérjében a külső sejtrétegtől eltekintve, amely aleuronszemecskéket tartalmaz, bőven találunk a sejtekben keményítőt, amely mellett diasztáz is van; de nagyobb mennyiségű diasztáz van a pajzsocskában, amelyből a magfehérjébe áramlik a mag vízfelvételekor. A diasztáz hatására a keményítőszemecskék meglehetősen szabálytalanul kezdenek cukorrá átalakulni; a cukrot azután a pajzsocska felszívó sejtjei elvezetik, úgyhogy a diasztáz hatása fokozatosan halad előre. Már a mag elvetése után, tehát a kellő vízfelvétel megkezdése után néhány nap múlva látni lehet a diasztáz által megtámadott keményítőszemecskét; nyolc nap múlva már bőven találunk kimart felületű (korrodált) keményítőszemecskéket, amelyek azután 10—14 nap múlva egészen eltűnnek és amelyekből a diasztatikus hatás terméke, a cukor, a csirába vándorolt.

A csirázáskor azonban a magfehérje sejtjeinek fala is feloldódik. A fűfélék magjaiban a vékony sejtfalak cukorrá való átalakulása csekélységénél fogva alig bír jelentőséggel a csira táplálásában, más magvakban azonban, amint már láttuk, a cellulóz, mint tartalékanyag halmozódik fel.



Kétségtelen azonban, hogy a tömény sósavval hydrolyzálható cellulóz, de még inkább a híg sósavtól mannózzá és galaktózzá átalakuló hemicellulóz is egy enzim, a már ismertetett *cytáz* által lesz oldható vegyületté, különösen azokban a magvakban, amelyek sok tartalékcellulózt tartalmaznak.

Számos növény magjában tartalékanyagként szerepel még a zsíros olaj is, amely különben jóformán a növény minden sejtjében megvan és a protoplazma tartalmi részeként szerepel. Hogy ez a zsíros olaj tartaléktáplálék, azt már az is igazolja, hogy tekintélyes mennyiségben van meg némely növény magjában. Különösen kitűnik ez a nagy zsírtartalom, ha az olajos magvak olajtartalmát a lisztes magvak olajtartalmával hasonlítjuk össze. Erre a célra szolgáljanak a következő, *K ö n i g* munkájából közölt adatok:

a) Lisztes magvak:

	Szénhydrát, zsír, fehérje százalékos mennyisége a mag szárazanyagában		
Közönséges buza ( <i>Tricicum vulgare</i> ) . . . . .	68'65	1'85	12'04
Közönséges pohánka ( <i>Fagopyrum sagittatum</i> ) . . . . .	71'73	1'90	10'18
Veteményborsó ( <i>Pisum sativum</i> ) . . . . .	52'68	1'89	23'15
Fehér bokrétafa ( <i>Aesculus hippocastanum</i> ) . . . . .	68'25	5'14	6'83
Jóféle gesztenye ( <i>Castanea sativa</i> ) . . . . .	43'71	2'49	3'80
Kocsányos tölgy ( <i>Quercus pedunculata</i> ) . . . . .	46'83	3'08	3'26

b) Zsíros magvak:

Házi len ( <i>Linum usitatissimum</i> ) . . . . .	22'23	33'64	22'57
Olajtermő káposztarepce ( <i>Brassica rapa</i> ) . . . . .	24'41	33'53	20'48
Kerti mák ( <i>Papaver somniferum</i> ) . . . . .	18'72	40'79	19'53
Vetett kender ( <i>Cannabis sativa</i> ) . . . . .	21'06	32'58	18'23
Közönséges mandula ( <i>Amygdalus communis</i> ) . . . . .	7'84	53'02	23'49
Kókuszpálma ( <i>Cocos nucifera</i> ) . . . . .	12'44	67'00	8'88
Napraforgó ( <i>Helianthus annuus</i> ) . . . . .	18'03	31'32	13'67

A zsírok tudvalevően különböző zsírsavak glicerinnal eszterei, amelyeket röviden palmitinnak, stearinnak, oleinnak mondanak és amelyeknek keletkezéséről azt tartják, hogy víz kiválásával a glicerinnal és a zsírsavból alakultak, tehát vízfelvétel által ismét glicerinnal és zsírsavra esnek szét, amint azt már vázoltuk.

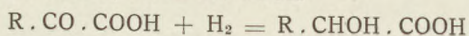
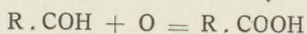
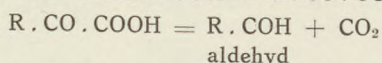
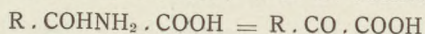
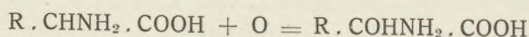
A magvakban valószínűleg hydrolytikus bomlás megy végbe, mert zsírsavakat bőven találni bennük; glicerint eddig nem találtak ugyan, de valószínűleg csak azért nem, mert keletkezése után rögtön felhasználódik. A zsírok ilyen szétesése egy enzim,



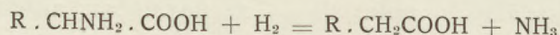




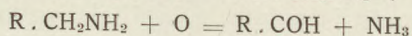
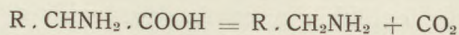
savakká lesznek oxydálva, azonban lehetséges az is, hogy a ketosavak közvetlenül oxysavakká lesznek redukálva. Az előbbire példa a borostyánkősav, az utóbbira az almasav keletkezése:



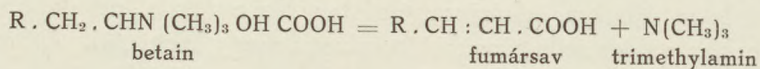
3. Az aminosavak redukzív dezamináción mennek keresztül, amikor megfelelő, ú. n. carbonsavak keletkeznek, így pl. valeriánsav:



4. Az aminosavak decarboxyláción mennek keresztül, amikor megfelelő aminok keletkeznek, amely aminokból oxydatív dezamináció útján megint megfelelő aldehidek és savak keletkeznek:



5. Az aminosavak azután megfelelő betainokká alakulhatnak át, így a prolin stachydrinné, a glykokoll pedig methylbetainná, amelyek viszont ismét aminok leadása mellett telítetlen szerves savakká alakulhatnak;



betain

fumársav

trimethylamin

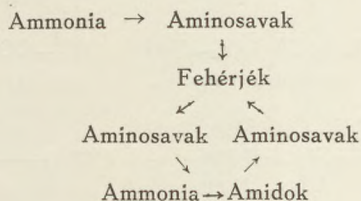
Jellemző, hogy az első három esetben az organikus savak mellett mint végső termék mindig ammonia keletkezik, míg a negyedik és ötödik esetben N-tartalmú bázisokat fogunk találni.

Újabban R u h l a n d eredményesen bizonyította be, hogy a növényi szervezetben található oxysavak, különösen az almasav és az oxálsav túlnyomórészből az oxydatív dezamináció útján keletkeznek. K l e i n és munkatársainak sikerült számos esetben a dezamináció útján keletkező carbonsavakat kimutatni. Hasonlóképpen sikerült nekik az erősen fehérjét-lélekező növényi



szervekben, különösen a virágokban és levelekben a decarboxyláció útján keletkező aminokat kimutatni. Ezek közül a leggyakoribbak a methylamin, dimethylamin, trimethylamin, izobuthylamin és izcamylamin, sőt újabban diaminokat is találtak. Hasonlóképpen ismételtlen bizonyítást nyert a betainnak a növényekben való gyakori előfordulása.

Amíg az első három esetben keletkező savakat a növények vagy tovább bontják, vagy megint a szerves anyagok alakításához használják fel, addig a növénynek gondoskodni kell e savak mellett alakuló ammoniának a közömbösítéséről, miután ez a vegyület nagyon erős növényi mérég. Ebből a célból a növény, vagy a vele egyidőben keletkező organikus savakkal köti meg az ammoniát, amely jelenség különösen az ú. n. savas növényekben, mint a kaktuszok, azután a Rumex, Oxalis stb. nagyon gyakori, míg egy másik részét a növény közvetlenül az aminosavak szintéziséhez használja fel. Ennek a szintézisnek útja az amidokon keresztül vezet, mégpedig oly módon, hogy az ammonia először aminosavakkal, pl. asparagin- vagy glutaminsavval a megfelelő amidokat, pl. az asparagint és glutamint képezi, azután mint tartalék táplálóanyag szerepel és szükség esetén a növény azután a fehérjesszintézishez használja fel. Az ammonia másik részét viszont a növény közvetlenül használja fel a fehérjesszintézishez. Az egész folyamatot a következő átnézet mutatja:

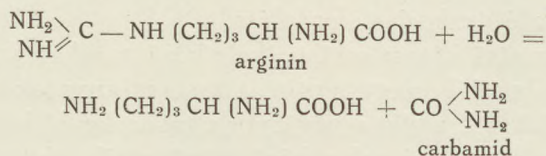


Az újabb kutatásoknak egyik legérdekesebb eredménye a carbamidnak ( $\text{CO} \begin{smallmatrix} \text{NH}_2 \\ \text{NH}_2 \end{smallmatrix}$ ) a növény testében való nagyobb mérvű elterjedése, amint ezt különösen Klein a legutóbbi időben behatóan tanulmányozta és kimutatta. Eddig az volt általában a feltevés, hogy ez az anyag csak az állati testben fordul elő mint a fehérje anyagcsere végső terméke és a növényországban csak egyes gombákban és baktériumokban lehet kimutatni. Ez-



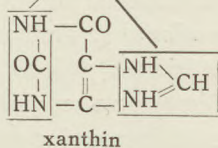
zel ellentétben Klein-nek és munkatársainak eddig majdnem 68 növényben sikerült kimutatnia. Keletkezése Klein szerint a következő módon lehetséges:

1. Argininből:

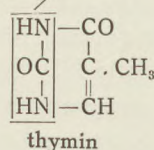


2. Purin és pyrimidin testekből:

Carbamidmaradványok

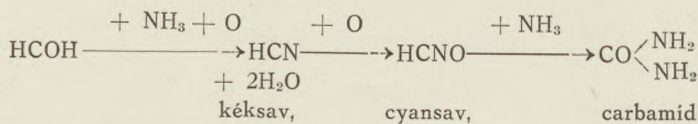
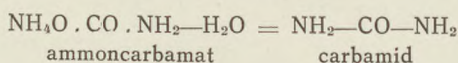
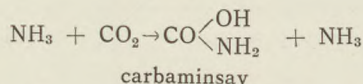


Carbamidmaradvány



3. Különböző aminosavakból.

4. Ammoniából carbamatok és cyanatok keletkezése közben.

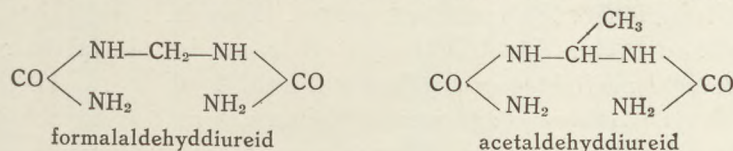


Miután a magasabbrendű növényekben mindenütt megvan a carbamidot bontó ureáz nevű enzim, világos, hogy ez azután a keletkező carbamidot megint ammoniává bontja. Klein kísérleti úton bebizonyította, hogyha a növényeknek nagyobb carbamidtartalmú táplálóanyagokat nyújtanak, vagy a trágájában nagyobb mennyiségű carbamid kerül a talajba, ez a növényekben olyan gyorsan bomlik ammoniává, hogy a keletkező nagy-



mennyiségű ammonia következtében a jellemző mérgezési tünetek lépnek fel.

A carbamidnak csak egy kis része van a növényekben szabadon. Így pl. a szójabab csiranövényében csak 0'01% (friss súlyra számítva), amely mindössze 2%-át képezi az összes talált carbamidnak. A többi carbamid az aldehidekhez kötve fordul elő. Ezek az ú. n. ureidek. A zöld és világosságnak kitett növényi szövetekben főleg formalaldehydureidet, míg a chlorophyllmentes szövetekben acetaldehydureidet sikerült kimutatni:



Nem lehetetlen azonban, hogy glukoureidek is keletkeznek a növényben, amelyek nem egyebek, mint a carbamidnak cukrokkal való vegyületei. Ezek az ureidek azután szükség szerint megint csak rendelkezésére állanak a növényeknek a fehérjeszintézisnél.

Itt mindjárt felhívjuk a figyelmet arra, hogy ezek a bomlási folyamatok nemcsak a fehérjék vándorlásánál játszódnak le, hanem ugyanolyan mértékben a fehérjéknek a lélekzés által való bontásánál is, úgyhogy ezeket a jelenségeket a lélekzés című fejezet azon részében, ahol a fehérjéknek a lélekzéskor való szerepéről van szó, „mutatis mutandibus“ szintén figyelembe kell venni.

A csirázás folyamán a csiranövény fejlődéséhez felhasználható anyagok a raktározott táplálóanyagok megfelelő átalakulása folytán jöttek létre, hasonlóképen az évelő növények rügyeiből, sarjrügyeiből való rügyfakadás, sarjadzás folyamán a szükséges táplálóanyagok az ugyancsak raktározott anyagok átalakulásából származnak. A hajtások, a sarjhajtások csak akkor indulhatnak növekedésnek, ha a felépítésükre szükséges anyagok rendelkezésükre állanak. A tartalék táplálóanyagok ismeretében ilyenekre rá is mutattunk, kiemelve, hogy ezekkel mindenütt találkozunk, ahol a jövődő továbbfejlődés szempontjából rájuk szükség van és ahol olyan mennyiségben gyűlnek meg, amely a növény illető részének önálló továbbfejlődéséig elég-



séges. És ha nem volna meg elégséges mennyiségben, akkor a fakadás vagy megakad, vagy elmarad, amint azt gyakran tapasztalhatjuk is.

A meggyült tartalék táplálóanyagok — amint láttuk — az élő, lágyszárú és fás növényekben is jóformán ugyanazok, mint a magban, legfeljebb az illető anyagok nagyobb számú vegyületek alakjában vannak meg. Ezek és a magvak között mégis van egy különbség, nevezetesen az, hogy a magvak lehetőleg vízben szüklködnek, egészen szárazak, ellenben az élő növények legkülönbözőbb részeiben, még a fában is, a sejtekben, a tartalékanyagokon kívül találunk vizet is, amely a tartalékanyagok kémiai megjelenésére is hatással van.

A víz különösen nagy mennyiségben van meg a lágyabb gumókban és a hagymákban; sokszor annyi a víz, hogy még a sarjadzást is lehetővé teszi. A burgonyagumóról köztudomású, hogy közepes hőmérsékletű és nem egészen száraz helyiségben sarjadzásnak indul.

A hagymák is, pl. a vereshagyma, ilyen körülmények között sarjadzik, de már a jácint és a tulipán sarjadzásához víz is szükséges. Különösen érdekes a *Sauromatum guttatum*, amely gumójában annyi vizet tart, hogy még a virágzásig is képes a szükségletet fedezni.

Ezekben az esetekben a vizet is bátran a tartalékanyagokhoz sorolhatjuk, amely azonban közvetlenül felhasználható.

Bármilyen nagy a tartalék táplálóanyagok változatossága, okvetlenül szükséges, hogy a vándorlásra alkalmas alakba menjenek át. Ez meg is történik és pedig jóformán ugyanolyan módon, mint a csirázáskor, csak hogy az átalakító enzimek a tartalékanyagok nagyobb változatosságának megfelelően, ugyancsak nagyobb változatosságot mutatnak.

A levelekben az asszimiláláskor el nem szállított asszimiláták is felhalmozódnak, úgyhogy ezeket is ideiglenesen raktározott anyagoknak kell tekintenünk. Megállapították, hogy a levelekben meglévő raktározott anyagok is csak bizonyos enzimek által alakulnak át a szállításra alkalmas vegyületekké.

A rügyfakadás és sarjadzás eszerint, még ha levélből indul is ki, mint pl. a *Begoniá*-n, csakugyan talál növekedéséhez szükséges anyagokat a raktározó helyeken.



*A szállításra alkalmas anyagok és a szállítás célja.*

Az előzőekben vázolt átalakulások végeredménye az, hogy olyan vegyületek jönnek létre, amelyek akár magukban, akár pedig vízben oldva a könnyű és gyors szállításra kiválóan alkalmasak.

Azt látjuk pl., hogy a szénhidrátok legnagyobbbrészt a szőlőcukor, vagyis dextróz és levulóz alakjában vándorolnak. Nincs kizárva azonban, hogy más cukorvegyületek, nevezetesen a nádcukor, a saccharóz és a maltóz is kivételesen mint vándorló cukorvegyületek szerepelnek.

A zsírok és olajok is mélyreható meghasadás után válnak szállításra alkalmassá. Az ilyen módon keletkezett zsírsavakról is kimutatták újabban, hogy az élő sejt falán át tudnak hatolni, sőt a zsírvegyületek áthatolását is lehetőnek tartják, kivált, ha szabad zsírsavat tartalmaznak. A folyamatot magát úgy gondolják, hogy a zsírsavval a sejtfalban lévő valamely vegyület szappant képez, amely azután a sejtfalat átítatja és a zsírnak az átszivárgását teszi lehetővé, amire a zsíroknak finom szemecskékre eloszlott alakja (*emulzió*) a legalkalmasabb. A zsírnemű vegyületeknek esetleg cukornemű vegyületekké való átalakulása szintén ismeretes, amiből sokan azt következtették, hogy a zsírok ilyen szénhidrátok alakjában vándorolnak.

A fehérjenemű anyagokból a proteolytikus enzymek hatására meghasadás útján alakulnak a szállításra alkalmas aminosavak, ammonia, szénhidrátok és a még tovább széthasadó húgyanyagok, amelyek már azután mind alkalmasak a szállításra.

Megállapították azonban, hogy sok fehérjét tartalmazó magban proteolytikus enzim nem található és ezzel kapcsolatban azt is megállapították egyes esetekben, hogy az önállóan, szikleveleiből táplálkozó csirában peptonok és fehérjék használnak fel; mindezek alapján pedig fel kell tenni, hogy legalább a csirázáskor nincs mindig szükség a protein hydrolyzálására, hanem hogy a fehérje kémiai átalakulás nélkül valaminő alakban át tud hatolni a protoplazmán és a sejtfalon.

A táplálóanyagok szállításának a célja akár áthasonított, akár táplálóanyagok esetén mindig az, hogy az anyagok oda jussanak, ahol rájuk szükség van, vagyis helyesebben mondva, ahol elhasználnak. Legelső sor-



ban a növényi test növekedő részeinek van szükségük a táplálékanyagokból alakult építőanyagokra. Igaz ugyan, hogy nagyobb mennyiségű táplálék csak a növekedés második szakában, a megnyúlás időszakában lesz szükséges, de a növekedés első szakában, tehát a tenyésző kúpok megalakulásában az építőanyagra kis mennyiségben, de folytonosan szükség van, különösen a sejttel, a protoplazma és a sejtnak egyéb, főképpen a feszültség szempontjából fontos anyagaina. Az építőanyagokra az élő, különösen fás növényeknek van nagy szükségük a kambium működése létrehozta sejtek alakításához. Végül a táplálékanyagoknak még a raktározó helyekhez is el kell vándorolniuk, ahol azonban nemcsak mint tartalék táplálékanyagok, hanem mint raktározó helyek pl. a magvak felépítésére felhasználódnak.

Különben a szállítás célját sok tekintetben meghatározza a fejlettebb növények testének a poláritása, amennyiben a testek csúcsa és alapja, tehát a szár és a gyökér csúcsa is megelőli az anyagok szállításának célját.

Az egyéves növényekben a táplálékanyagok a magban gyűlnek meg, amidőn a szár és a levelek táplálékanyagai kivándorolnak, ami megokolja azt, hogy a jó szénához való füvet magképzés előtt kell lekaszálni, ellenben a gabonaneműeket csak akkor szabad learatni, amikor a szárból és levelekből a táplálékanyagok a magba vándoroltak.

Az élő növényekben a magon kívül a raktározó helyek telnek meg télire táplálékanyagokkal. Sőt a lehulló levelekből is a még használható anyagok a fába vándorolnak, bár ennek nincs meg az a nagy jelentősége, amit azelőtt e jelenségnek tulajdonítottak.

A levelek kiürülésével hozzák kapcsolatba sokan azt a jelenséget, hogy a sok makkot termő bükkfa előbb hullatja le leveleit, mint az a fa, amely makkot nem termett. A kiürülésnek a korai fagy által való megakadályozása volna az oka annak is, hogy a következő évben ezen fák később vagy egyáltalában nem hajtanak ki. A kiürülés csekély jelentőségénél fogva ez alig hihető, valószínűbb az, hogy a korai fagy a még fejlődő és kialakuló tenyészőcsúcsokat is elpusztítja vagy megrongálja. A hernyórágta levelek pótlása ellenben a tartalékanyagok nagyobb mértékű szállítására folytán lehetséges, de ezeknek fogytával bizony abbamarad vagy csak fogyatékos lesz. Ugyanez az oka annak is, hogy a fás növényeket akkor kell metszeni, amikor még van bennük szállításra alkalmas tartalékanyag.

Ezekkel a tapasztalatokkal csak megerősítést nyer Sachs-nak az a megjegyzése, hogy a „növények minden egyes növekedő része a meglevő anyagkészletre úgy hat, mint vonzási gócpont, ellenben minden tartalékanyagtartó és minden egyes asszimiláló szerv a növekedő részekkel szemben mint taszítási középpont”.

A nyers táplálékanyagokkal szemben az asszimiláló részek, az asszimilátákkal szemben pedig a növekedő részek és a kiürült tartalék helyek viselkednek éppen vonzópontok gyanánt.

Ezek a különböző tényezők szabják meg azután nemcsak a szállítás célját de a szállítás irányát is. A növény testében ugyanis tavasszal kétségkívül a gyökerektől és a tartalék helyekről való vándorlás fog megindulni



a növekedő részekhez, az asszimiláló szervek kifejlődésével azonban ezekből is megindul a szár és gyökér felé való szállítás, úgyhogy ekkor fölfelé és lefelé menő áramlás fog egyszerre végbemenni, míg azután mindinkább túlsúlyra jut a lefelé menő áramlás és eltart a tenyészeti időszak végéig, nem érintve azonban a víznek a levelekhez, tehát felfelé való szállítását.

A tenyészeti időszak végén azután a mi éghajlatunk alatt a tápláló-anyagok szállítása szünetel, amely szünet a tavasz beköszöntéséig tart.

### *A szállítás okai és útjai.*

Amily határozottsággal lehet megjelölni a szállítás célját, annyira kevésbé lehet bizonyítani annak okait. Ugyanis jóformán nem tudjuk, hogy tulajdonképen milyen módon jön létre az anyagok szállítása, illetőleg az anyagok vándorlása. Annyi bizonyos, hogy — amint előbb láttuk — az anyagok leginkább cukor és amidok alakjában vándorolnak. A szállításban szereplő folyamatok sorában legfeljebb ezeknek az anyagoknak az elhelyeződéssel járó sajátosságára lehet rámutatni, ami egyébként az összes anyagok általános sajáttsága: ez az anyag diffúziója.

A diffúzió törvényéből következik, hogy minden egyes oldott állapotban lévő anyag oda törekszik, ahol az ozmotikus egyensúlyban zavar állott be. Két szomszédos sejt oldott vegyületei közötti különbség már ozmotikus feszültséget hoz létre, amely azonnal mozgató erővé változik, mihelyt a két sejt közötti kiegyenlítődés kezdetét veszi. Ha a sejtek bizonyos sorának egyik végén folytonosan tart valamely folyamat, pl. valamely anyag akár építés, akár raktározás céljából való felhasználása, amely ott az ozmotikus feszültséget megváltoztatja, akkor ez és emiatt az illető anyagnak szállítása is folytonos marad, az felhasználás pontjáról sejtről-sejtre terjedvén, azokig a forrásokig, amelyek ezt az anyagot szolgáltatják. A folyamat tanúsága szerint a szállítás irányát a két végponton lévő töménység szabja meg.

Az anyagoknak a sejtbe való bevándorlását és a sejtől való kivándorlását jórészt a környezet szabja meg és mind a két folyamat is lehetséges egyidőben, ha egy sejt szomszédságában két, az övétől eltérő töménységű sejt akad. A sejtek módjára egész szövetekben is lefolyhat a kiegyenlítődés, ami már az egész növényre is kiterjedve, nagyobb távolságban át való szállítást eredményez.



Az anyagoknak a diffúziója azonban minden korlát nélkül aligha volna a növény hasznára, mert végül is az egész testben való kiegyenlítődéssre vezetne, sőt az anyagok még a növény környezetébe is eljutnának és a növényre nézve elvesznének, úgy-hogy a növény végre is tönkremenne. Ennek megakadályozására és a diffúzió szabályozására szolgál a plazmának a permeabilitása, amely bizonyos anyagokat képes áteresztetni, másokat saját testén belül visszatartani, amiről különben már megemlékeztünk. A plazma eme képességének székhelye alighanem a hártya rétegében keresendő. A sejtfalak bizonyos szerkezete is meg tudja akasztani egyes anyagoknak a sejtől való távozását, mint pl. a kutikulás, parás sejtfalak. Ez azonban csak idősebb sejteken lehetséges, a fiatal sejteken mégis csak a plazma akadályozza meg az anyagvesztést. A plazmának ez a képessége módosulhat is, pl. sóoldatok, de más anyagok, nevezetesen anesztetikus anyagok által is. Ezekből pedig arra következtethetünk, hogy az anyagok szállítása nem egyszerű folyamat, amint azt első pillanatra gondolnók.

A diffúziós folyamat különben is nagyon lassú, semhogy a szükségletet kielégíthetné. A diffúzió lassúságának a bemutatására Jost a következő kísérletet ajánlja: egy hosszú, az egyik végén zárt üvegcsőbe szilárd rézszulfátot helyezünk és azután megtöltjük vízzel. Egy hét múlva a rézszulfát 5 cm-re, öt hét múlva 13 cm-re, három hónap múltán 20 cm-re fog emelkedni. Ez a lassú folyamat nem elégítheti ki a szükségletet. A diffúzió gyorsaságát elősegíti az egyes részek egyenlőtlen felmelegedése, a növényben keringő elektromos áramok és végül a protoplazma mozgása. Ez a mozgás különösen azokban a növényekben fontos, amelyeknek külön szállítóútjaik nincsenek. Bierberg szerint az anyagok szállítása az *Elodea* levelében 2 cm hosszú darabon 190 percig tart a plazma mozgásakor, ellenben ha a plazma nyugalomban van, 600 percig; a *Vallisneria* levelében 220, illetőleg 800 percig. A szállítás tehát a plazma rotációja folytán 3–4-szer gyorsabb, mint az egyszerű diffúzió mellett.

A sejtben levő plazmamozgás különben az anyagok keveredését segíti elő, ami által a szomszédos sejtek közti diffúzió is gyorsulhat. Ez pedig megtörténik a plazmán, de legkivált a sejtfalon át, amelyen a gödörkés vastagodás vékonyan maradt záró-



hártyái erre különösen alkalmasak. Fontosak még a diffúzió szempontjából a plazmódezmák is, amelyeknek belső, a hártyás rész által körülvevő része, mint szűk csatorna, különösen alkalmas az anyagoknak sejtről-sejtre való szállítására. Azonban még gyorsabban megy végbe a diffúzió, ha csak kevés sejtfalon kell áthaladnia, vagyis ha hosszú csőalakú sejteken keresztül megy végbe.


Ezekből már most az következik, hogy a diffúzióval való szállításra legalkalmasabbak a vékonyfalú parenchymasejtek, kivált a megnyúltabbak. Kétségen kívül az oldott vegyületek jelentékeny része a növény testének parenchymasejtjeiben vándorol, nevezetesen a kéregben is. De mégis jelentékenyebb mennyiségben szállítódnak az oldott vegyületek Czapek vizsgálatai szerint az edénynyalábok háncsrészének rostacsóveiben vagy edényeiben. Az idevonatkozó sejtelemelek bővebb anatómiai ismertetését illetőleg utalunk az I. kötet megfelelő fejezeteire.

Czapek szerint a szénhidrátok szállítása következőképen folyik le: A keletkezett cukor az asszimiláló sejteken át bejut a nyalábhüvelybe, amelyből a rostacsővekbe áramlik; ezekben gyorsan nagyobb távolságra is eljut, mert hiszen egy rostacső több centiméter hosszúságban mint egyetlen sejt szerepelhet. A rostacsővek munkáját még nagy mértékben segíti az is, hogy oldalfelé a parenchymasejtekkel folytonosan egybe vannak kötve és a feleslegüket nekik átadhatják. Ilyen módon jutnak a szénhidrátok a kéreg és a farész bélsugarainak parenchymasejtjeibe, hogy a jövő tavaszig mint tartalékkeményítő maradjanak meg, de a hánccparenchymában is időlegesen kiválnak, mint átmeneti keményítő, hogy azután a bőséges cukorszállítás elmúltával ismét belekerüljenek a rostacsőbe.

Ha már az oldott szénhidrátok szállítására fontosak a rostacsővek, úgy még nagyobb a jelentőségük a fehérjefélék szállításában, amelyek, mint nehezen diffundáló, sőt kolloidális anyagok, csakis a rostacsővekben szállíthatódnak tovább. Ezeknek és a kísérő sejteknek nagy fehérjetartalma régen ismeretes és éppen ezért e sejteket némelyek a fehérjealakulás helyének tekintették. Hogy pedig különösen a fehérjék szállítását is végzik, ezt az is bizonyítja, hogy ott fordulnak elő legnagyobb mennyiségben, ahol erre szükség van és hogy csak arra az időre alakulnak meg, amikor a fehérjeszállításra kerül a sor.



Minthogy pedig a rostacsövek a háncsban vannak elhelyezve, illetőleg a fákön közönségesen kéregnek mondott részben, nagyon könnyű a szállítást bizonyítani, nevezetesen csak a kéregnek egy darabját kell gyűrűalakban eltávolítani. A gyűrűzött részen alul a keményítő és a fehérje nem fog raktározódni, hanem a gyűrű feletti részben oly nagy mennyiségben fog meggyűlni, hogy ez a rész meg is fog dagadni.

Ha azonban a gyűrűt egy függőleges vékony kéregszalag, ú. n. híd (helyesebben csatorna), szakítja meg, akkor a szénhidrátok ebben átjutnak és a gyűrű felett nem gyűlnek meg, ellenben, ha az összekötőszalag lépcsőalakú () , akkor a lefelé való vezetés megszűnik, mert a kerület irányában, tehát a szalag vízszintes részén az anyag nem szállítódik. A gyűrűzés arról is meggyőz bennünket, hogy a fatestben lefelé az asszimiláták nem, vagy csak alig szállítódnak.

A felfelé való szállításról meggyőződhetünk tavasszal, amidőn a gyökér felvette víz szállítódik fel, amely útjában a fában raktározott és oldatba jutott szénhidrátokat is magával ragadja. Ez az oka annak, hogy a könnyezési folyadék cukorvegyületeket tartalmaz.

Természetesen ez csak a szijácsban lehetséges, aminthogy a legtöbb fának a bele, de fatestének jelentékeny része, a gesztje is a beleeső bél-sugarakkal együtt már a táplálék szállításában nem vesz részt.

Az áthasonított tápláléknak a háncsban való szállításából magyarázhatjuk meg azt a jelenséget is, hogy a nagyon odvas fák, pl. a fűzfatorzsek még élnek, ha kergük és fatestüknek egy kis része még ép. Ugyancsak ezáltal nyer magyarázatot az, hogy a levéltelenül maradt ágvég nem növekedik, hanem elhal az alább eső legközelebbi levélig.

### *A vándorló- és építőanyagok.*

Az előbbiekben tulajdonképpen már részletesen megjelöltük azokat a vegyületeket, amelyek a vándorlásra, illetőleg a szállításra alkalmasak. Az építőanyagok, illetőleg vegyületek a szállítóanyagokból keletkeznek, kétségen kívül bizonyos enzimek hatására, aminek következtében a szénhidrátokból megalakulnak a sejtfalat alkotó vegyületek, az aminosavakból és hamualkotórészekből pedig a protoplazma anyagai, amelyekről azonban jóformán semmit sem tudunk azon kívül, amit a szén és a nitrogén asszimilálásának tárgyalásakor elmondottunk.

Még csak arra mutatunk rá, hogy voltaképpen a tartalék-, vándorló- és építőanyagok között, legalább az anyagok felhasználására nézve, nincsen olyan éles határ.

Nevezetesen, ha valamely szár tenyésző csúcsát eltávolítjuk és újraképződését megakadályozzuk, akkor a különben a szár továbbépítése céljá-



ből összegyűlt anyagok a szár bármely helyén raktározódnak és tartalékanyagot alkotnak, amidőn igen gyakran gumószerűen megdagadnak. Ha azonban nem akadályozzuk meg az újraképződést, akkor a növény a meggyűlt építőanyagból a növekedő résznek több ízben való elpusztítása után is megpróbálkozik azon testrészt felépítésével, amelyre egybegyűlt, amint azt Sachs kísérletileg is megállapította és amelyre például szolgálhat egy *Agave*, amelynek virágzati kocsánya több ízben is elpusztult fejlődése kezdetén; természetesen az ilyen módon fejlődött kocsány és virágzat némiképen eltér a rendes virágzat alakjától.

Építőanyagokká válhatnak már meglévő alakkal bíró anyagok is, pl. a szárazon tartott növényrészek igen gyakran még tovább növekednek, de a meglévők rovására, ami az idősebb részek pusztulásával jár. Jól megfigyelhető ez a jelenség pl. a szárazon tartott vereshagymán, amelynek rügye hajtásnak indul.

#### *A tartalék táplálóanyagok megalakulása.*

Az áthasonított táplálékanyagok a raktározó helyekre érkeve, ott azt az alakot öltik magukra, amelyet az előbbieken jellemeztünk. A csírázáskor ezeknek a szállításra alkalmassá kell válniuk, viszont a raktározott helyen nyugalmiakba átmenniök. Erről az átalakulásról is keveset tudunk és pedig egyszerűen azért, mert még a lehető legtökéletesebb eszközeinkkel se tudjuk megközelíteni azokat a folyamatokat, amelyeket a növény minden nehézség nélkül elvégez, amennyiben a szénhidrátokat, a zsírokat és a fehérjeanyagokat kölcsönösen át tudja alakítani. Kétségtelenül ezeknél az átalakulásoknál is bizonyos enzymeeknek kell szerepelniök. A szénhidrátok átalakítását könnyen megérthetjük, ha pl. szőlőcukorból keményítő lesz, és pedig a chromatofórák sorába tartozó leukoplasztokon belül, vagy azt, ha tartalékcélulóz származik. Ha az átalakulás körülményeit nem is ismerjük közelebbről, mégis megállapíthatjuk, hogy az átalakulás nem nagy mértékű.

Már kevésbé értjük meg a zsír keletkezésének módját. A kémia meglehetősen tanácstalan ezzel a rendkívüli folyamattal szemben, amely fordítottja a csírázásnál tapasztalt ama jelenségnek, amelynél a zsírnemű vegyületekből szénhidrátok keletkeztek, amennyiben itt szénhidrátokból keletkezik a zsírnemű vegyület. Ugyanis bebizonyítottnak vehető, hogy a magvakban levő nagy zsírmennyiség nem mint zsír jutott be a magvakba, hanem szénhidrátból keletkezett, pl. olajbogyó magvá-



ban mannitból. P f e f f e r vizsgálata szerint az olajos magvak mindegyikében fiatal korban keményítő van, amely éréskor zsíros olajjá alakul át. Az átalakulás módjáról azonban — mint mondtuk — jóformán semmit sem tudunk.

Rendkívül fontos körülmény, hogy egyes fáinkban a tartalék táplálóanyag zsír alakjában van felhalmozva. Ezekre jellemző, hogy a nyár folyamán sejtjeikben keményítőt tartalmaznak, amelyet azután később zsír vált le. Ilyen fáink általában a *Salix* ok, az erdeifenyő, a lúcfenyő, a nyárfák és az éger. Általában gyakorlati szabályul vehetjük, hogy a keményfák rendszerint keményítőt, a puhafák pedig zsírokat tartalékolnak télre, mint tartalék táplálóanyagokat. Meg kell azonban jegyez-nünk, hogy az egyes növények télen is képezhetnek cukrokat, amint pl. ez a burgonyánál ismert jelenség. L i d f o r s s szerint ez a jelenség egyes télen is zöld lomblevelekben is észlelhető és oka valószínűleg a sejtnedv fagypontra süllyedésében rejlik.

A keményítőnek zsírokká való átalakulásánál rendkívül fontos tényező a víz. Egyébként az egész szintézis kémiai lefo-lyása még teljesen bizonytalan. F r a n z e n szerint a növényekben található telítetlen aldehidek fontos szerepet játszanak. Nem lehetetlen, hogy a cukrokat a növények egészen acet-aldehydig redukálják és azután ebből képezik W i e l a n d sze-rint a zsírokat. Minden bizonnyal azonban először zsírsavaknak és glicerinnak kell képződniök és ezek hozzák létre azután a zsírokat.

A fehérjék szintézisét teljes részletességgel tárgyaltuk, úgy-hogy itt erre a kérdésre nem térünk ki.

#### *Az anyagcsere melléktermékei.*

A növények táplálkozásában nagyjelentőségű szénhidrátok, fehérjék és zsíros olajok alakulása, átváltozása folyamán igen sok esetben még olyan vegyületek is megalakulnak, amelyek közvetlenül nem, vagy legalább nem minden esetben szolgálják a növényi test táplálkozását, illetőleg a növekedés kívánta anyag-gyarápodást. Sok esetben azonban ezeket a melléktermékek-nek nevezett anyagokat a növényi test anyagcsereje bizonyos célzatossággal fejleszti, legalább is sejteni lehet ezt abból, hogy e melléktermékek nagy mennyiségben keletkeznek.



Ezeknek az anyagoknak a keletkezése előttünk ugyancsak nagyrészt ismeretlen, de a növényi testben való szerepükről sincs minden esetben világos képünk. Mégis, amennyire eddigi ismereteink terjednek, ezeket az anyagokat is méltatni szokták a táplálkozás szempontjából, eltekintve vegyületbeli sajátásaik alapján való megítélésüktől.

Vannak ugyanis ezek között olyanok, amelyek látszólag tisztán csak mint az anyagcsere melléktermékei, illetőleg bomlási folyamatok termékei jönnek létre, például az oxálsav (sóska-sav), amely később calcium által lekötvé, calciumoxalát-kristályokban található fel a növényekben, de sok növényben mint vízben oldott káliumoxalát van meg. Az oxalátok jelentőségét azonban még teljességgel nem ismerjük. A m a r szerint lehetséges, hogy az oxálsav éppen a felesleges, nem asszimilálható calcium lekötésére szükséges, mások szerint ismét a calcium-oxalátot tartalék táplálóanyagnak kell tekinteni, mert bizonyos folyamatok során a calciumoxalát-kristályok feloldását állapították meg. D o b y a répamag csírázásánál a káliumoxalát felhasználását állapította meg.

Vannak azután olyan anyagok, amelyek a fehérjék alakulási és bomlási folyamatai során csak bizonyos ideig vannak lekötés nélkül és azután ismét az anyagforgalomba kerülnek. Ilyen a kéksav is, amely azonban a mandulafélék (mandula, barack, szilva, cseresznye) magjában lévő amygdalinnak emulzin által való meghasadásából cukor és benzaldehid mellett is keletkezik. A kéksav némely növényben esetleg még más módon is keletkezik és mint erős mérég károsan hat, például az újabb időben marhatakarmányul használt *Phaseolus lunatus*-ban (jávbab).

A fiatal cirok (*Sorghum vulgare*), harmatkása (*Glyceria*) is tartalmaz glykozidát; ez hasadás folytán kéksavat fejleszt, amely az állatok etetésénél már nálunk is idézett elő mérgezést; az idősebb növényeken ez már nem volt tapasztalható.

Végül vannak azután olyan anyagok is, amelyek bármely okból keletkeztek is, megalakulásuk után az anyagforgalomba többé bele nem kerülnek; ilyenek a váladékanyagok, amelyek közül némelyek még kiválásuk után bizonyos szerepet visznek a növény életében, mint a tulajdonképeni váladékanyagok (szekrétum), vagy pedig már semmiféle jelentőséggel nem bírnak



többé a növény életében, a kiküszöbölt vagy hulladékanyagok (exkrétum).

Nagyon természetesen a melléktermékeknek ez az osztályozása nem lehet éles és az egyes osztályok közötti válaszfalak nem is merevek, mert egy bizonyos anyag egy ideig váladék, de azután szükség esetén belekerülhet ismét a növényi test anyagforgalmába.

Nagyjában összefoglalva a következőkben sorolhatjuk fel az anyagcsere melléktermékeiként megjelenő vegyületeket: a színanyagok, az éterikus olajok, a gyanták, az alkaloidák, a glikozidák, a cseranyagok, a szerves savak, végül a tejnedv, amely különben nem külön vegyület, hanem a növény testében levő legkülönbözőbb vegyületek elegye vagy keveréke.

Ezeknek az anyagoknak azonban a keletkezéséről, sőt a növényi test táplálkozási folyamatában való további szerepléséről, sőt egyáltalában a növényi testben való jelentőségéről semmit sem, vagy csak édes keveset tudunk.

Messze vezetne, ha ezeknek az anyagoknak eddig földerített szerepével vagy jelentőségével részletesebben foglalkoznánk, de mégis nagy érdekességüknél fogva legalább néhány szóban megemlékezünk róluk.

Ezeknek az anyagoknak szerepe, illetőleg jelentősége főleg a növények életjelenségei során érvényesül, vagyis inkább csak biológiai természetű, de van köztük néhány, amely legalább közvetve még a növény táplálkozására is hatással van.

A színanyagok sorából a chlorophyll és az antocián a növény táplálkozásában nagyfontosságúak, ellenben a virágok és a termések színei csak biológiai, illetőleg ökológiai jelentőségűek, amennyiben az állatok, de különösen a rovarok figyelmét keltik fel és kötik le, hogy azután azokat magukhoz csalogatva, a virágok megporzásában és a termések szétterjesztésében való közreműködésüket biztosítsák.

Az éterikus olajok is hasonló biológiai szerepet visznek, különösen a virágokból kiáradó illatukkal vonva magukhoz a megporzást teljesítő rovarokat. Az illatos olajoknak némelyek szerint még közvetve a táplálkozásban is van jelentőségük, nevezetesen, különösen a száraz termőhelyeken tenyésző növények, pl. ajakos virágúak, éterikus olaja a növények testének felmelegedését akadályozza meg és ezáltal csökkenti a párolgást.

Az egyéb anyagok főképen a növény testének megvédését, illetőleg megóvását szolgálják. A növények testének megvédésére, megóvására hivatott berendezéseket két csoportba szokás beosztani. Az első csoportba tartoznak azok, amelyek mechanikai hatásukkal, a másikba azok, amelyek kémiai hatásukkal védik vagy óvják meg a növényt.

A mechanikai védőeszközök sorába tartoznak a kemény (fásodott, pa-



rásodott, kutikulás sejtfalak), a váladéktól ragadós felület, a sejttal calcium-carbonát vagy kovakristály tartalma (zsurlók), azután a tüskék, tövissek, a szőrözet és végül a sejtben elhelyezett calciumoxalát kristályok, különösen a rafidok, amelyek kiváltképpen a csigák falánksága ellen védik meg a növényeket. Különben a növényevő állatok többnyire kerülnek az ilyen eszközökkel felszerelt növényeket, vagy csak nagy szükség idején legelik le (zsurló, ökörfarkkóró).

A kémiai hatású védőeszközök is kivált a növényevő állatokat tartják távol a növényektől. Ilyenek a szerves savak, az alkaloidák és a cseranyagok.

A szerves savak sorából különösen a sóskasav szerepel a levelekben és szárazban mint védőanyag, amit bizonyít az is, hogy a sóskasavas káliumban (káliumoxalátban) bővelkedő madársóskát (*Oxalis*) és a sóskát a legelő állat nem bántja. A fiatal gyümölcsök, illetőleg termések savas anyagai csak az érésig védik meg a gyümölcsöt, amikor már szétterjesztésük a növény érdeke.

A savaknál hathatósabban védik meg a növényeket az alkaloidák és a glykozidák. Előbbiek közül különösen a koniin, atropin, veratrin, aconitin, kolchicin, nikotin, stb., nemcsak keserű ízükkel tűnnek ki, hanem mérgező hatásukkal is, amelyet a legelő állatok — úgylátszik — jól ismernek, mert óatosan elkerülik az ilyen alkaloidtartalmú növényeket, mint pl. az őszi kikiricset (*Colchicum autumnale*), a foltos bürököt (*Conium maculatum*), a maszlagos nadragulyát (*Atropa belladonna*) stb. Mellesleg mondva a nagyon erősen illatozó növényeket is kerülnek a legelő állatok, pl. a kakukkfűvet (*Thymus*) és a mentát.

A glykozidák közül az achillein, acorin, aesculin, amygdalin, apiin, digitalin, helleborin stb. említendők, amelyek ugyancsak keserű ízűek és sokan közülük erős mérgek. Ezért kerüli is a legelő állat az idősebb egér-farkkórót (*Achillea*), a gyűszűvirágot (*Digitalis*), a hunyort (*Hel-leborus*) stb.

A glykozidákhoz sorolják a cseranyagokat is, amelyek úgy kémiai, mint élettani tekintetben kevésbé ismeretesek. (L. I. kötet 32. oldalát).

A cseranyagokat tartalmazó leveleket vagy növényeket — pl. a tölgy levelét — a legtöbb állat nem bántja. A cseranyagnak különben a növények testében még megóvó, konzerváló jelentősége is van, amely leginkább kitűnik a használaton kívül helyezett farész, a geszt színeződéséből.

Az említett védőszerű szolgáló vegyületek mind a növények olyan részein vannak, amelyeken a megtámadó állattal leghamarább jutnak érintkezésbe, pl. a levelekben, a kéregben.

Hasonlóképpen a külső részekben találjuk elhelyezve a gyantákat és a balzsamokat is, amelyek nemcsak mint védőanyagok, továbbá mint óvóanyagok szerepelnek, hanem mint sebezáró anyagok is. Minket közelebből különösen a fenyők érdekelnek, amelyeknek megsebzett kérgéből a gyanta kifolyik és azután megmerevedik és mint a víz és levegőre nézve áthatolhatatlan réteg befedi a seb felületét, megakadályozva ezáltal a fertőzést és a rothadást.



A gyanta többnyire jól kialakult külön váladéktartókban, a schizogén sejtközi járatokban gyülik meg, pl. a fenyők testében, amelyből óvatos kezeléssel ipari célokra össze is gyűjtik.

A gyantás anyagokat bizonyos mirigyszőrök is leválasztják és ezek az anyagok azután az illető felületen eltömődve, a kiszáradás vagy túlságos felmelegedés ellen védik a növényrészt, pl. a bokrétafarügy pikkelyein, a nyír és az éger levelein.

Gyantát, illetőleg a lágy gyantákhoz sorozható kaucsukot és guttaperchát találunk a növények tejnedvében is.

Némely növényben jelentékeny mennyiségben van tejnedv, úgyhogy gyógyászati vagy ipari célokra hasznosítják, pl. a *Ficus elastica*, *Hevea guyanensis* tejnedve szolgáltatja a kaucsukot, a *Palaquium gutta* a guttaperchát, a kerti mák az ópiumot, az *Euphorbia resinifera* az euforbiumot és a mérges saláta (*Lactuca virosa*) a laktukáriumot.

A tejnedv nem értékesíthető anyagai — ügylátszik — külön szerves anyagok nagymértékű felhasználásával készülnek és lehet, hogy nagy elterjedésük, éppen ezen anyagoknak a növény testében való gyors szétterjesztését szolgálja. Még kevésbé ismeretes a tejnedvben található proteolitikus erjesztőnek a szerepe, pl. a *Carica Papaya*-ban.

Ezekkel szemben a tejnedv ökológiai jelentőségét meglehetősen tisztázták. Tudjuk pl., hogy a tejnedv megvédi a növényeket a legelő állatoktól, különösen mérgező, maró és undorító íze által, aminek bizonyossága, hogy állataink a kutyatej legkülönbözőbb fajait bántatlanul hagyják. A tejnedv továbbá megóvjá a növényt sérüléseknél, amidőn a gyanta módjára a sebet elzárja.

Amint a felsoroltakból kitűnik, még mai napig az anyagcsere melléktermékeinek élettani szerepéről nagyon keveset tudunk és legfeljebb egyes termékeknek ökológiai jelentőségét ismerjük.

### *Az anyagcsere időszakossága.*

Az előzőkben vázolt folyamatok kétségen kívül megvannak a növényekben, de — amint már az anyagok szállításánál vázoltuk — bizonyos változatosság mutatkozik úgy a szállításban, mint a felhasználandó anyagok természetében. Hiszen a növekedés megindulával a tartalékból származó nagyobb mennyiségű szerves anyagra lesz szükség, ellenben későbbben a növekedés lassubbodásával, amidőn a növény a tartalék táplálóanyagok gyűjtésének időszakába jutott, jóformán csak az asszimilált és a nyers táplálóanyagok fognak szállítódni. Ezt az időszakossá-



got azonban az évszakok időszakossága okozza, amely nagybárá megszabja a növények fejlődésének időtartamát.

A növénynek fejlődési időszakai azonban különböző mennyiségben kívánják meg kivált a hamualkotórészeket, amelyek különben az egész tenyészeti időn át bejutnak a növénybe.

A fák anyagtartalmának időszakos változására közöltük G ä u m a n n vizsgálatait (l. 1. és 2. kép).

### A gázok vándorlása.

Amint az előzőkben láttuk, a növénynek életfolyamatainál főleg  $O_2$ -re és  $CO_2$ -ra van szüksége. Ezeket a gázokat a növény levegőnyílásain keresztül veszi fel és ott bocsátja ki is. A levegőnyílásokon kívül azonban az epidermisz sejtek falán keresztül is történik bizonyos mennyiségű gázáramlás. Dacára annak, hogy a kutikula vizet úgyszólván alig vesz fel, mégsem mondható teljesen átjárhatatlannak a gázok számára. Ez a képessége azonban gyakorlatilag alig jön számításba.

A növény belsejében a gázok az intercelluláris üregekben vándorolnak és a sejtek belsejébe a vízzel átitatott sejtfalakon keresztül jutnak az ú. n. membrán diffúzió útján. Általában minél gazdagabb vízben valamilyen sejtfal, annál könnyebben diffundálnak rajta keresztül a gázok olyan módon, hogy a sejtfalakat az imbibáció útján átitató víz a gázokat adszorbeálja és az ennek következtében fellépő koncentráció különbségek mozgatják azután a gázokat. Abszolút száraz sejtfalakon a gázok nem hatolnak át, amint azt W i e s n e r exakt kísérletekkel bebizonyította. A sejtfalak azonban állandóan tartalmazznak több-kevesebb vizet, úgyhogy rajtuk keresztül a membrán diffúzió kisebb-nagyob mértékben folytonosan végbemegy. Mint-hogy a szénsav vízben sokkal könnyebben oldódik, mint az oxigén, a vizes sejtfalon sokkal könnyebben hatol keresztül, mint az  $O_2$ . Ez áll a kutikulára is. Miután azonban az  $O_2$ -nek résznyomása a levegőben sokkal nagyobb, mint a szénsavé, amelyé meglehetősen kicsi, úgy a vízben való kis oldhatósága dacára, ezen körülmény következtében az  $O_2$  mégis gyorsabban hatol át a kutikulán, mint a  $CO_2$ . Ezen különleges ténynek eredményeképpen láthatjuk, hogy mindazok a szervek, amelyek csak



O-t vesznek fel, levegőnyílások nélkül is meg tudnak felelni hivatásuknak. Míg ezzel szemben a  $\text{CO}_2$  felvételére szolgáló szervek túlnyomórésztben levegőnyílásokkal, vagy paraszemölcsökkel (lenticellák) látják el feladataikat. Normális körülmények között, rendszeren átszellőzött talajban, a gyökerek a membrán diffúzió útján szintén ellátják magukat O-el. A mocsaras talajban élő növények pedig földfeletti részeik segítségével gondoskodnak arról, hogy földalatti részeik is el legyenek látva O-el. De emellett még a víz alatt élő növények belsejében hatalmas levegőt tartalmazó intercelluláris üregek és csatornahálózat is fejlődik ki, amely néha az egész növény terjedelmének 60—70%-át is elfoglalhatja. Ezek az intercelluláris üregek azután a környezettel, tehát a vízzel is, diffúzió útján állandó gázkicserélődésben vannak.

Amint látjuk tehát a növények a gázokat a membrán diffúzió útján, vagy pedig a lenticellákon és levegőnyílásokon keresztül veszik fel és a gáz mozgása az intercelluláris csatornahálózatban keresztül történik. Ezen mozgás fizikai jellemzőit röviden a következőkben vázoljuk:

A gázoknak a lenticellákon és a levegőnyílásokon keresztül való haladását, tehát mikor keskeny réseken és vékony falakon haladnak át, effúzió-nak mondjuk. Az effúzióra szükséges idő a különböző gázoknál a sűrűség négyzetgyökével egyenesen arányos:

$$I = \sqrt{s}$$

A gázok mozgását a keskeny és kapilláris intercelluláris üregekben ezzel szemben gáztranspirációnak mondjuk. Ennek sebessége

$$S = \frac{D^4}{l}$$

ahol  $D$  az üreg átmérőjét és  $l$  annak hosszúságát jelenti.

A membrán diffúzió sebességét viszont a

$$S = \frac{A}{\sqrt{d}} \quad \text{egyenlet fejezi ki,}$$

ahol  $A$  a membránt átitató folyadék gázadszorpciós állandóját és  $d$  a kérdéses gáz sűrűségét jelenti.



### A szerves anyagoknak a növény testében oxydációs úton való elbontása.

A növény életfolyamatainál a különböző energetikai műveletek elvégzéséhez hőenergiát igényel. Ezt a hőenergiát a testében az asszimiláció folyamata alatt felhalmozott szerves anyagok elégetésével nyeri. Ezek az oxydációs folyamatok általában kétféle úton játszódnak le. A folyamatok egyrésze az O szabad hozzájárulásával megy végbe, míg a másik része akkor jön létre, ha az élő szervezetnek nem áll elegendő O rendelkezésére. Általában a szerves anyag oxydatív úton való elbontásának mindkét módját disszimiláció-nak nevezzük és azt az esetet, amikor a szerves anyagot a növény és általában az élő szervezetek O hozzájárulásával teljesen elégetik: l é l e k z é s - nek, míg azokat a folyamatokat, amikor a hőenergiához szükséges O-t intramolekuláris úton nyerik: e r j e d é s - nek vagy intramolekuláris lélekzésnek nevezzük.

Az erjedések fogalmával közvetlenül kapcsolatos az intramolekuláris lélekzés fogalma, azonban az erjedések majdnem kivétel nélkül alacsonyabbrendű élő szervezetek, illetőleg ezekkel párosult enzimek munkájára vezethetők vissza, míg az intramolekuláris lélekzés akkor jön létre, ha magasabbrendű élő szervezetek: állatok vagy növények lélekzésükhöz nem rendelkeznek elegendő O-el és ez utóbbit a szénhidrát molekulák redukciójával, illetőleg felbontásával nyerik. Tisztán kémiai szempontból azonban az erjedési folyamatok teljesen azonosak az intramolekuláris lélekzési folyamatokkal és csak élettani szempontból lehet közöttük különbséget tenni. Azonban az újabb vizsgálatok világosan megmutatták, hogy még a normális lélekzési folyamatok is mindig intramolekuláris bomlási folyamatokkal vannak kapcsolatban. Vagyis az élő szervezetekben az erjedés és lélekzés folyamatai egymással szoros okozati összefüggésben játszódnak le. Ennek megfelelően a fiziológiai sorrendben először az erjedésekkel és csak azután fogunk a lélekzésekkel foglalkozni.

#### Az erjedések.

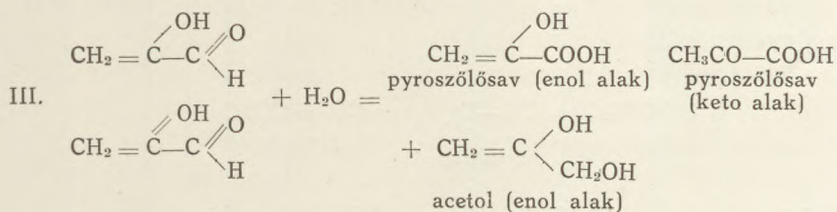
Az erjedés az élő sejt és a növények energianyerése szempontjából rendkívül fontos élettani folyamat. Ugyanis az élő



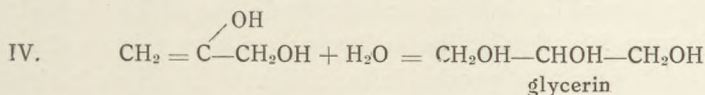




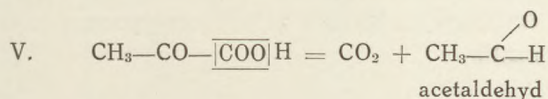
redukciók jöhetnek létre, amelyek közül a legfontosabbak a pyroszőlősav és a glicerin, amelyek intra- és intermolekuláris vízfelvételek folytán jönnek létre:



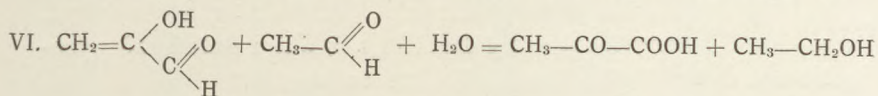
Az acetol további vízfelvétel folytán glicerinre alakul át:



A pyroszőlősav az erjesztő sejtekben lévő carboxyláz enzim hatása alatt  $\text{CO}_2$ -t veszít és belőle acetaldehyd képződik:



Az acetaldehyd egy molekula methylglyoxallal víz felvétele mellett a Cannizzaro-reakció értelmében alkohollá alakul át:

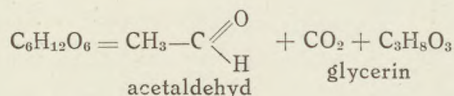


Hogy ennél az erjedési alaknál csak igen kevés glicerin és sok aethylalkohol képződik, azt azzal magyarázzuk, hogy a glukóznak a bontásánál az V. egyenlet szerint képződött acetaldehyd az újra képződő methylglyoxallal, amely a IV. egyenlet szerint glicerinre alakulna át, felfogja és belőle pyroszőlősavat és aethylalkoholt képez, tehát csak nagyon kevés glicerin képződhet, mert az egyszerű alkoholos erjedésnél a folyamat az I., II., V. és VI. egyenletek szerint történik, míg a III. és IV. egyenletnek a reakciói teljesen visszaszorulnak.

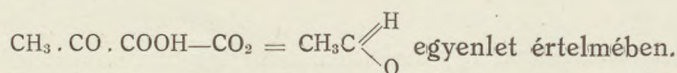
A normális alkoholos erjedés elméletét igen valószínűvé teszik azok a vizsgálatok, amelyek a szőlőcukornak az erjedését alkalikus szulfit lúgok jelenlétében tették vizsgálat tárgyává. Ki-



tűnt tudniillik, hogy alkalikus szulfit lúgok jelenlétében a szőlőcukor erjesztő sejtek által való erjedésénél nem alkohol, hanem igen nagymennyiségű glicerín és a szulfit által lekötött acetaldehyd keletkezett és a szőlőcukornak az erjedése ilyen körülmények között

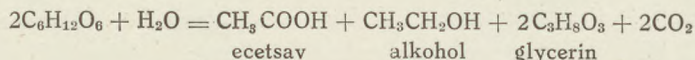


egyenlet szerint történik. Ilyen módon tehát kimutatták, hogy az acetaldehyd és a glicerín az erjedésnek közbenső termékei. Azáltal, hogy a szulfit lekötötte az acetaldehydet, az előbb tárgyalt VI. reakció nem következhet be és így az erjedési folyamatban a III. egyenlet szerint glicerín halmozódhat fel. Neuberger vizsgálatai kimutatták azonban, hogy a szulfitos erjedésnél a keletkezett acetaldehyd szintén csak másodlagos termék, amely biztosan pyroszőlősavból képződött, mert Neuberger kimutatta, hogy a pyroszőlősav, erjesztők által igen gyorsan acetaldehydre és  $\text{CO}_2$ -ra bomlik.



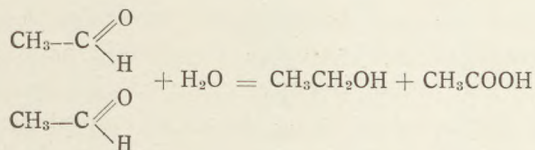
Hogy valóban a pyroszőlősavból képződik az acetaldehyd, arra döntő bizonyítékot szolgáltat Gräb, aki a keletkező pyroszőlősavat naphthylaminnal lekötötte és kimutatta.

A szulfitos erjedésen kívül ismerjük még az alkoholos erjedés harmadik alakját, amely akkor jön létre, ha alkalizátorok, mint amilyen a kálium, nátriumcarbonát, káliumphosphát, káliummetaborát jelenlétében erjesztjük el a szőlőcukrot. Ennél az erjedési folyamatnál alkohol, ecetsav, glicerín és  $\text{CO}_2$  képződik:



Ennél az erjedési folyamatnál a normális erjedésnél keletkezett acetaldehyd, amely a VI. egyenlet reakciója szerint képződik víz hatása alatt, ecetsavvá alakul át:





Ezt a reakciót dizmutációnak nevezik és szintén Cannizaro-féle reakció, amelyet az erjesztőben előforduló mutáz nevű enzim idéz elő.

Ha az erjedés methylkék jelenlétében történik, akkor a normális alkoholos erjedés szintén meg van zavarva, mert az intramolekuláris víz felvételénél a működő aktiv hydrogént a methylkék leköti, úgyhogy ilyen módon az acetaldehyd nem redukálódhat alkohollá és azért az acetaldehyd az oldatban felszaporodik és részben ecetsavvá alakul át.

A normális alkoholos erjedésnél keletkező kozmás olajok nem a cukorból képződnek, hanem az erjesztő sejtek fehérjetartalmából veszik eredetüket. Tejsav is hiányzik a rendes alkoholos erjedésnél és a nyomokban képződő tejsav valószínűleg az erjedő tömegbaktérium infekciójától származik.

Egyik különös esete az alkoholos erjedésnek, mikor az erjesztő gombák cukor hiányában a testükben felhalmozott glykogént támadják meg egyidejű autolízis, tehát sejtdezorganizáció kíséretében. Ezt a folyamatot egyúttal fehérjebontás is kíséri, miközben az erjesztősejtek fehérjetartalmának 20%-a átalakulhat N-tartalmú nem fehérjevegyületekké.

A Mucoraceák által előidézett alkoholos erjedés. A Mucoraceák általában az alkoholos erjedést oxigén jelenlétében végzik, úgyhogy az ezek által előidézett erjedési forma jellemző aerob. Az alkoholos erjedést előidéző Mucoraceák közül a legfontosabbak: a *Mucor circinelloides*, *M. javanicus*, *M. erectus*; valamivel gyengébb erjedést idéznek elő a *M. Rouxii*, *M. racemosus*, *Rhizopus japonicus*, *Rh. tonkinensis*; még gyengébb erjedést idéznek elő a *Rhizopus nigricans*, *Mucor Mucedo*, *M. fragilis* és a *M. hiemalis*.

Az idetartozó fajok azonban nemcsak oxigén jelenlétében idéznek elő erjedést, hanem egyesek közülök oxigén hiányában is képesek az erjedési folyamatot végrehajtani. Így pl. a Mu-



*cor Mucedo*, ez a közönségesen ismert penészgomba a kezdeti növekedéséhez okvetlenül megkívánja az oxigént, később azután oxigén nélkül is képes az erjedési folyamatokat lefolytatni. A *Rhizopus nigricans* viszont oxigén jelenléte nélkül hosszabb ideig élni nem tud. Ez a gombafaj tehát az alkoholos erjedést a *Mucor racemosus*-sal ellentétben csak teljes oxigén élvezete mellett tudja végrehajtani.

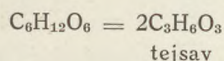
A *Mucoraceák* erjedésének élettani lefolyása nem egyezik teljesen a *Saccharomycések* által előidézett erjedési folyamatokkal. Általában ezek, mint minden fonalas gomba, savanyú közegben is ki tudnak fejlődni és azonkívül nem olyan érzékenyek az erjedés folytán kifejlődött alkoholmennyiséggel szemben, úgyhogy 7%-os alkoholmennyiség mellett is képesek még erjesztetni. Egyébként ellentétben az erjesztő sejtekkel, ezek természetesen — amint ez közismert tény — más szerves anyagokon is képesek megélni, azonban, ha cukrokkal kerülnek érintkezésbe, ezeket az adott körülmények között elerjesztik. Egyes fajok, mint pl. a *Mucor racemosus*, a saccharózt először invertálják és azután erjesztik el; más fajok viszont a keményítőt is közvetlenül képesek elerjesztetni olyan módon, hogy azt diasztatikus úton először maltózzá változtatják és a maltóznak glukózzá való átalakulása után ezt közvetlenül alkoholos erjedés mellett felbontják. Ilyen pl. a *Mucor Rouxii*, azután a másik két kelet-ázsiai faj: a *Rhizopus oryzae* és a *Chlamydomucor oryzae*. Ezt a sajátosságát a *Mucoracea*-fajoknak felhasználják a burgonyának közvetlen erjesztésére, amikor is a *Saccharomycések* és a *Mucoraceák* együttes működésével a burgonyát maláta hozzáadása nélkül elerjesztik. Ezeknél a folyamatoknál kétségkívül a *Mucoraceák* is zymáz segítségével idézik elő az alkoholos erjedést. Jellemző azonban, hogy a gyengébb erjedést előidéző fajok tipikus fonalalakú mycéliumot képeznek ki, míg az élénkebb erjesztő *Mucoraceák* rövidebb fonalakkal álló telepeket képeznek, amelyek rendkívül hasonlítanak a *Saccharomycetes* telepekhez.

Egy másik jellemző erjesztő gomba a *Monilia candida*, amely a saccharózon és maltózon kívül dextrineket is el



tud erjeszteni. Végül még röviden megemlítjük az *Oidium lactis*-t, amely a tejcukor erjedést idézi elő.

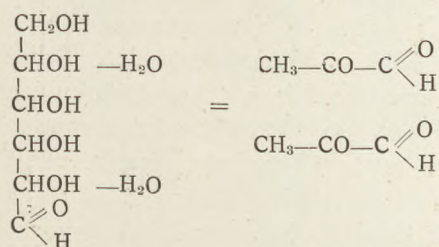
**Tejsavas erjedés.** Ha a szőlőcukrot a jellegzetes *Bact. acidilactis* erjeszti, akkor a szőlőcukorból tejsav képződik:



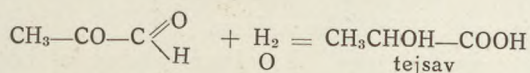
egyenlet szerint és ez a tejsavas erjedés.

A tejsavas erjedést ezenkívül még a következő mikroorganizmusok is előidézhetik: *Streptococcus acidilactici*, *Bact. pneumoniae*, *Bact. coli*, *Vibrio cholerae*, stb.

A tejsavas erjedésnél a glukózból szintén két molekula víz leválása mellett két molekula methylglyoxal keletkezik:



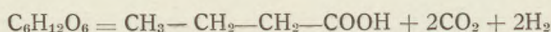
amelyek az intramolekulárisan leválasszó víz hatása alatt tejsavvá alakulnak át:



Vagyis ennél az erjedésnél is éppen úgy, mint az alkoholos erjedésnél, először methylglyoxal keletkezik. Ha a tejsavas erjedést a *Bact. acidilactici* idézi elő, akkor a tejsavon kívül nagyobb mennyiségű aethylalkohol és ecetsav is képződik. Viszont, ha a *Bact. lactis aerogenes* erjeszti a cukrot, akkor hidrogén (52%),  $\text{CO}_2$ , metán, azután ecetsav, tejsav és aethylalkohol képződik nagy mennyiségben.

**Vajsavas erjedés.** Ha a szőlőcukrot vajsavbaktériumok (*Clostridium butyricum* I., II., III.) hatásának vetjük alá, akkor vajsavas erjedés következik be:





egyenlet szerint, amikor szabad hidrogén keletkezik.

A vajsavas erjedést úgylátszik a *Clostridium genus*ba tartozó összes fajok idézik elő kisebb-nagyobb mértékben. A két legfontosabb faj

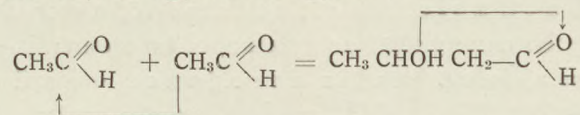
a *Clostridium Pasteurianum*, amely egyúttal a levegő szabad N-jének a megkötésénél is fontos szerepet játszik és a

*Clostridium butyricum*, amelynek ismét az I., II. és a III-al jelölt válfaját különböztetik meg.

Előidézhettek ezen kívül még a következő baktériumok is: *Bact. saccharobutyricus*, *Bact. phlegmones emphysematosae*, *Bact. oedematis maligni*, stb.

Ez az erjedési folyamat nem olyan egyszerű, ahogy azt a fenti képlet mutatja és ennél az erjedésnél is képződik acetaldehyd, mert Neuberger a vajsavas erjedésnél  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  segítségével felfogta a képződő acetaldehydet. Tehát igen valószínű, hogy ennél az erjedésnél is a cukor átalakulása a pyroszőlősav keletkezéséig éppen úgy történik, mint a rendes alkoholos erjedésnél, mikor a pyroszőlősav egy részéből keletkezik az acetaldehyd, amelyből dizmutáció útján jön létre az ecetsav, amely a vajsavas erjedésnél is keletkezik. A pyroszőlősavnak másik részéből keletkezik a vajsav olyan módon, hogy a pyroszőlősav  $\alpha$  keto,  $\gamma$  valerolacton,  $\gamma$  carbonsavba megy át aldolizálódás folytán, amelyből carboxylatikus hatás folytán esetleges saccharinsav átalakulás után képződik vajsav.

De keletkezhet vajsav még olyan módon is, hogy a szőlőcukorból képződött pyroszőlősav,  $\text{CO}_2$  leválasztása után, acetaldehyddé alakul át és két acetaldehyd molekula aldol kondenzáció folytán egymással egyesül:



a keletkezett aldol pedig intramolekuláris változás folytán vajsavvá ( $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$ ) alakul át.

Amint a fenti, részletesen letárgyalt folyamatok mutatják, a valódi erjedés tulajdonképpen nem egyéb, mint a cukormoleku-



lák felbontásánál alakuló exothermikus energetikai folyamat. Jellemző sajátágaik az oxydációs lélekzéssel szemben az a körülmény, hogy az erjedési folyamatoknál a szükséges hőenergia felszabadításához viszonylag sokkal nagyobb anyagmennyiségre van az élő szervezetnek szüksége, mint a lélekzésnél.

Az erjedést befolyásoló külső tényezők. Ami most már a külső tényezőknek az alkoholos erjedés lefolyására való befolyását illeti, úgy röviden álljon itt a következő:

A hőmérséklet emelkedése általában pozitív hatást gyakorol az erjedésre, amely optimális fokát  $25-35^{\circ}\text{C}$  mellett éri el, míg a felső határa  $50^{\circ}\text{C}$ -nál, az alsó határa pedig  $0^{\circ}\text{C}$ -nál van. Általában az erjesztősejtek erősen koncentrált cukoroldatokat is képesek elerjeszteni, kb. 66%-nál van a felső határ, 5–20% között pedig a koncentrációváltozás az erjedést nem befolyásolja. Minthogy azonban az invertáz hatása magasabb cukorkoncentráció esetén erősebb korlátozást szenved, mint a zymázé, úgy a saccharóz erjedési határa alacsonyabb koncentráció mellett fekszik, mint a glukózé.

Az erjedésnek azután az aethylalkohol fokozatos felszaporodása is véget vet, ahol a felső határ kb. 10–14%-nál áll be. A fejlődött széndioxydmennyiség az erjedés menetére különösebb befolyást nem gyakorol ugyan, azonban az erjesztő üzemekben mégis elvezetik a fejlődő széndioxydot. Kísérleteknél a  $\text{CO}_2$  60 atm. nyomása mellett, tehát folyékony  $\text{CO}_2$  jelenléte esetén is lefolyt az erjedés. Gyenge alkalikus reakció általában gyorsítja az erjedést, míg a savanyú reakció általában gyengíti. Az erjedés alatt a phosphor értékek fokozatosan csökkennek. A nehéz fémek és szerves mérgek kisebb mértékben stimulálólag hatnak, nagyobb mértékben azonban gátolják az erjedés kifejlődését. A stimuláló hatásnál azonban éles különbséget kell tenni a stimuláló szereknek az élő protoplazmára és a protoplazma által kiválasztott enzymekre való hatása között. A stimuláló hatás csak az élő protoplazma, tehát élő erjesztősejtek esetén lehetséges, miután ezek a stimuláló szerek a ferment kiválasztását siettetik. Különös sajátága az erjedésnek, hogy az ú. n. B. vitamin erős stimuláló hatást gyakorol rá, különösen a megfelelő kofermentek jelenlétében.



Egyike a legérdekesebb problémáknak az oxigén hatása az erjedésre. Az eddig elmondottak alapján közelfekvő volna az a gondolat, hogy az erjesztő sejtek munkája szempontjából az O<sub>2</sub> különösebb jelentőséggel nem bír. Azonban már Pasteur rájött arra, hogy az erjesztő sejtek elegendő O<sub>2</sub> hozzájárulása esetén normálisan tudnak lélekzeni és azonfelül úgy növekedésük, mint szaporodásuk oxigén hozzájárulásával jelentékenyen megnövekedik. Az idevonatkozó vizsgálatok alapján ma már bebizonyítottnak vehető, hogyha az erjesztő sejteknek elegendő oxigén áll rendelkezésükre, ezek normális oxydációs lélekzéssel is képesek a hőenergiát előállítani és ilyenkor számukra az erjedési folyamatok alárendelt jelentőségűvé válnak.

Az erjedés gyakorlati jelentősége és hasznosítása. A fentiekkel összefüggésben most még néhány szót óhajtunk szólni az erjedés gyakorlati jelentőségéről. Az alkoholos erjedésnek egyik legjelentősebb alkalmazása a borkészítés, amelynek lényege az, hogy a szőlő bogyójában található glukóz az ismert módon aethylalkohollá változik oxigén termelés mellett. Ezenfelül a borban még más anyagok is vannak, amelyek részben a boroknak hosszabb állása alatt, részben pedig közvetlenül az erjesztő sejtek hatására keletkeznek. Ezeknek kémiai sajátosságai még nem ismeretesek teljesen, azonban sok valószínűség szól amellett, hogy itt egyszerű vegyületekkel van dolgunk. Ezeken kívül még minden borban marad vissza bizonyos mennyiségű glukóz, azután az organikus illó savak közül különösen ecetsav és borkősav. A must alkoholos erjedését az ismert *Saccharomyces ellipsoideus* nevű tömlős gomba okozza. Az erjedés szempontjából természetesen nagyon fontos, hogy az erjesztő sejtek már ab ovo jelen legyenek. Rendszerint ezek az érett szőlőbogyón rajta vannak, azonban egyes pincegazdaságokban a bor erjedését még mesterséges erjesztő kultúrák hozzáadásával is fokozzák.

A másik, gyakorlati szempontból rendkívül kiterjedt alkalmazása az alkoholos erjedésnek a sörgyártás. A sörgyártás alapjául a csirázó árpa és búzamazgák szolgálnak. Nevezetesen kihasználják ezekkel az eljárásokkal azt a fiziológiai tényt, hogy ezekben a csirázó magvakban a bennük felhalmozott tartalékkeményítőt a diasztáz nevű enzim maltózzá változtatja. Ha ezeket a csirázó magvakat akkor, amikor a cukorképződés a maximumát elérte, kiszáritással megölik, úgy az ú. n. malátát nyerik, amely malátát azután 50–70%-os vízben állni hagyják. A vízben való állás alatt a keményítő rendszerint quantitative maltózzá lesz hidratálva és előáll egy feketésszínű édes oldat, az ú. n. „Würze”. Erre azután az utóbbit komlóval kifőzik, hogy a sörnek kellemes ízt adjanak és azután hozzáadják a sör erjedését előidéző erjesztőgombaféléket, a *Saccharomyces cerevisiae*-t.

Az erjedés most már kétféleképpen mehet végbe. Az egyik az ú. n. felső erjedés, amely szobahőmérsékletnél 2–3 nap alatt folyik le. Ennek

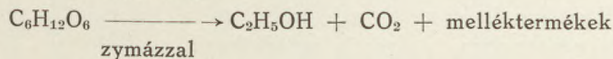
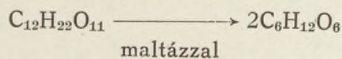
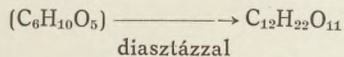


az optimális hőmérséklete  $+21^{\circ}\text{C}$ . Ennél az erjedési formánál az erjesztőgombák mint nagy nyálkás tömegek jelennek meg az erjedő folyadék felszínén. A másik az ú. n. mély erjedés, amelyet a *Saccharomyces cerevisiae*-től eltérő más *Saccharomyces*-fajok okoznak. Ennél az erjedő folyadék  $+6^{\circ}\text{C}$ -on lesz tartva. Az erjesztőgombák a folyadék fenekén maradnak és a cukorképződés rendszerint lassabban megy végbe, mint az előzőnél. Így kitűnő sörféleséget készítenek, azonban ennek a hátránya, hogy a sört alacsonyabb hőmérsékleten kell tartani.

A most vázolt két folyamat az ú. n. elsődleges sörerjedés. Ezt követi azután az ú. n. másodlagos sörerjedés, amelyet az elsődleges erjedést előidéző gombafajoktól eltérő más gombafajok idéznek elő. A másodlagos erjedésnél, amely lassabban megy végbe, lesz azután a sör  $\text{CO}_2$ -al telítve, megtisztul és kellemes ízt kap, miután a  $\text{CO}_2$ -nélküli sör rendszerint kevésbé élvezhető. A sörgyártásnál tehát az erjesztősejtfajták tisztán való kitenyésztése, egymástól való elkülönítése és a különböző erjesztőgombatenyészetek megválogatása nagyon fontos feladat.

A nagy alkoholtartalmú italok készítésénél (spiritusz) szintén az erjesztősejtek játsszák a főszerepet, főleg ezeknek azok a fajtái, amelyek a nagy alkoholkoncentrációval szemben sokáig érzéketlenek maradnak. A spirituszfőzésnek a lényege abban áll, hogy az erjedő folyadékot telítik szénhidrátokkal, amelyeket burgonyából, vagy gabonamagvakból nyernek. A burgonyában háromszor annyi keményítő van, mint a rozsban. Az eljárás technikai kivitele lényegileg abban áll, hogy az alapanyagot feldarabolják, erősen kifőzik és azután malátát és erjesztő kultúrákat adnak hozzá. Az így nyert folyadék rendszeren 80% alkoholt tartalmaz, amelyet közvetlen emberi használatra még nem lehet alkalmazni, miután rendszerint kisebb-nagyobb mennyiségben tisztátlanító anyagokat tartalmaz, így elsősorban acetaldehyd, glicerín, borostyánkősav és fuserolaj azok, amelyek tulajdonképpen az erjesztősejtek fehérjéinek az erjedésénél keletkeznek. Ezekről a folyadékot különleges, ú. n. rektifikációs készülékekben tisztítják meg, amelyben az alkohol tartalmat 96%-ig fokozzák.

A borkészítésnek és a sörkészítésnek a lefolyása röviden a következő:



A gabonamagvakon kívül még a kukoricát és a rizst (*Oryza sativa*) is felhasználják alkohol nyerésére. A rizsből nyerik Ázsiában az ú. n. rizspálinkát. A gyümölcsborokat a szőlőborhoz hasonlóan készítik, azzal az eltéréssel, hogy ezeket gyenge cukortartalmukra való tekintettel, még utólag meg is szokták cukrozni.

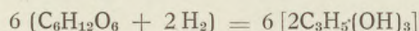
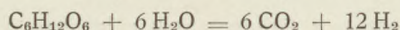


Csak tájékozásul jegyezzük meg meg, hogy az erjedés útján nyert különböző termékekből, így természetesen elsősorban az alkoholból megfelelő desztillálás útján és különböző anyagok hozzáadásával még más termékeket is nyernek. Így pl. borból a konyakot, sörből a rozspálinkát stb. Különösen fontos a boroknak a párolásából nyert alkoholból előállított konyak termelés, továbbá a rum és az arrac termelés, melyeket szintén spirituszból készítenek.

A kefir és a kumisz az ú. n. alkoholos tejferjedésnek a terméke, amelyeket szintén erjesztőgombák hoznak létre, mely utóbbiak mellett a kefirben még egyes *Streptococcus*-fajok és a *Bacillus caucasicus* is megvannak. Ezek a mikroorganizmusok a tejben levő tejcukrot hidratálják, de ezzel párhuzamosan tejsavas erjedés is fejlődik. A két erjedésnek az eredménye lesz azután az alkoholtartalmú savanykás folyadék, amelynek kiváló gyógyító hatása van. Az erjesztőgombák közül a kefirerjedést a *Torula kefir* idézi elő, amely elsősorban a tehéntejet erjeszti el. A kumisz erjedés okozója a *Torula kumys*, amely a kancatejben él. A kefiralkohol tartalma rendszerint 1% alatt marad, míg a kumiszé 2%-ot is elérhet.

A fenti erjedési alakokon kívül még más erjedési folyamatok is játszódnak le az organikus világban, amelyeket túlnyomó részben baktériumok okoznak és amelyeknek alapanyagául szintén többé-kevésbé szénhidrátok szolgálnak. Ezek közül a legtipikusabbakat itt röviden meg fogjuk említeni.

**Egyéb erjedési folyamatok.** Egyike a legérdekesebb erjesztő baktériumoknak a *Bacillus manniticus*, amely a glukózt, a galaktózt és a saccharózt képes elerjeszteni. Ezen erjedési alaknál az aethylalkohol mellett még ecetsav, tejsav, borostyánkősav, szénsav és glicerín keletkezik. Hasonlóképen igen érdekes az ú. n. glicerines erjedés, amelyet legtöbbször az ú. n. tejsavbaktériumok idéznek elő, pl. a *Streptococcus acidilactici*. Ennél az erjedésnél a kémiai folyamat a következőkben vázolható:

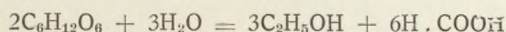


Először a cukorból hidrogén keletkezik, amely azután in statu nascenti glicerinné alakul át.

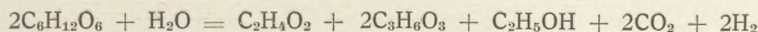
A *Bacillus manniticus*-nak egy másik igen érdekes működése a fruktóznak mannittá való elerjesztése, amelynél a mannit mellett még szénsav, ecetsav és glicerín is keletkezik.

A hangyasavas erjedés kiinduló alakja szintén a glukóz. Egy sereg baktérium képes ezt az erjedést előidézni. Csak tájékozásul említjük meg a következőket. *Bacterium coli*, *B. aerogenes*, *B. typhi*, *B. dysenteriae* stb. A lefolyása ennek a jelenségnek nagyjából a következő egyenlettel fejezhető ki:

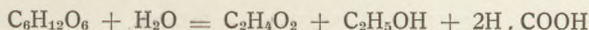




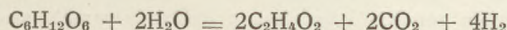
Hasonlóképen rendkívül érdekes az ú. n. ecetsavas erjedés, ennek egyik különleges formája az ú. n. anaerob ecetsavas erjedés, amelyet pl. a *Bacterium coli* idézhet elő. Ennek az általános lefolyása a következő:



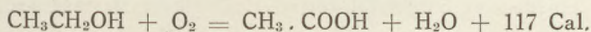
Más baktériumfajok, pl. a *Bacterium typhi* és a *B. dysenteriae* viszont szénhidrátokból aethylalkohol és hangyasav mellett képeznek ecetsavat a következő egyenlet szerint:



és viszont pl. a *Bacterium aerogenes* a glukózt közvetlenül képes ecetsavvá erjesztetni:



Ezen folyamatokon kívül az ecetsav keletkezésének a leggyakoribb formája természetesen az aethylalkoholnak baktériumok hatására bekövetkező ú. n. ecetsavas erjedése. Ezt az ecetsavas erjedést az ú. n. oxydációs erjedési folyamatok közé soroljuk. Előidézője ennek a *Bacterium aceti*, azután a *Bact. Pasteurianum*, továbbá a *B. Küntzingianum*, a *B. xylinum* és a *B. orleanense*. Ezen sokféle baktériumfajta felismerése főleg annak a körülménynek köszönhető, hogy az ecetsavas erjedésnek ez a formája szintén rendkívül el van terjedve a gyakorlati életben a különböző ecetgyártási módoknál. Az egész folyamat kémiai lefolyása a következő kémiai egyenlettel fejezhető ki:



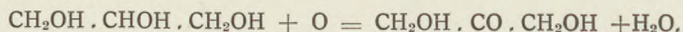
Itt is tehát jóval kevesebb hőenergia fejlődik, mint a vázolt rendes, teljes elégségnél. Az ecetsavas erjedést előidéző baktériumok rendkívül élénk működést fejtenek ki, úgyhogy általában minden sejt pár nap alatt a saját súlya tízezerszeresének megfelelő alkoholmennyiséget képes ecetsavvá változtatni. Maguk a baktériumok, minthogy a folyamat tipikus aerob körülmények között megy végbe, az erjedő folyadék tetején elég vastag hártya alakjában jelentkeznek.

Ma az ecetgyártás az élelmiszerek technológiájának egyik nagyon fontos ága, amely a borkészítéssel szoros együttműködésben dolgozik és lehetővé teszi a romlott boroknak a felhasználását. A gyakorlati ecetgyártásnak két formája van. Az egyik az u. n. francia ecetgyártás, amely különösen Pasteur-nak alapvető munkássága után nagy virágzásnak indult és mely kizárólag a boroknak az elecetesedésével dolgozik; míg a második a német eljárás, amely a boron kívül még sörecetet is képez.

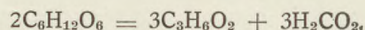
A most tárgyalt baktériumoknak egyik rendkívül érdekes életműködése abban áll, hogy pl. a *Bacterium aceti* a mannitot fruktózzá képes



változtatni, továbbá nagyon érdekes a *Bacterium xylinum*, amely glicerintől dioxyacetont képes oxydációval előállítani, mégpedig olyan kitűnően, hogy a glicerinnemennyiség quantitative alakul át vízzé és dioxyacetonná, úgyhogy mesterségesen ilyen tisztán dioxyacetont előállítani nem lehet. A folyamat egyébként a következő egyenlet szerint megy végbe:

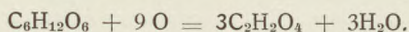


A propionsavas erjedés szintén a cukroknak a tej savanyodását előidéző baktériumok működése folytán való felbomlása következtében jön létre. Ennek az erjedésnek az általános egyenlete a következő:



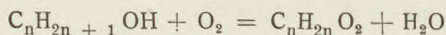
amikor a propionsav mellett hangyasav is keletkezik, ezenfelül keletkezik még a propionsav mellett szénsav és ecetsav is.

Egyik szintén rendkívül érdekes erjedési folyamat az oxálsavas erjedés, amelyet szintén a tej savanyodását előidéző baktériumok hoznak létre a következő általános egyenlet szerint:

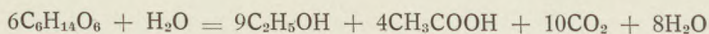


Ezzel tulajdonképpen a fontosabb erjedési folyamatokat meg is ismertük, azonban nem volna teljes az erjedésről nyújtott kép, ha még néhány fontosabb erjedési folyamatot, amely a természetben lefolyik, röviden nem ismertetnénk.

A cellulózerjedést már annak helyén részletesen ismertettük, hasonlóképpen a pektinerjedést is. Most a cukrokkal való szoros összefüggésük következtében röviden az alkoholok erjedéséről óhajtunk még szólni. Különösen érdekes az ú. n. alacsonyabbrendű alkoholoknak az elerjedése, amelyeket különböző baktériumfajok okoznak, így: a *Bacterium acetosum* és a *Bact. oxydans*. Ez természetesen oxydációs erjedés, amelynek folyamán a methyl-, aethyl-, propyl-, buthyl- és amylalkohol a megfelelő zsírsavvá lesz oxydálva és így az előbbi sorrendben hangyasav, ecetsav, propionsav, vajsav és valeriánsav keletkeznek a következő általános egyenlet szerint:

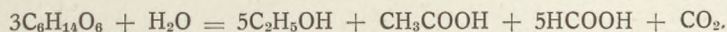


Az aethylalkoholnak ecetsavvá való erjedését már az előzőekben részletesen ismertettük, most mint jellemző példákat még meg akarjuk említeni a mannitnak az oxydációját, amelyet különböző baktériumok okoznak, így a tüdőgyulladást előidéző *Bacterium pneumoniae* elerjeszti a mannitot aethylalkohollá, ecetsavvá, vízzé és szénsavvá a következő általános egyenlet szerint:

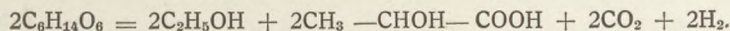




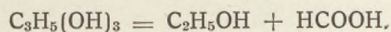
Hasonlóképen a *Bacillus ethaceticus* a mannitot szintén el-  
erjeszti a következő egyenlet szerint:



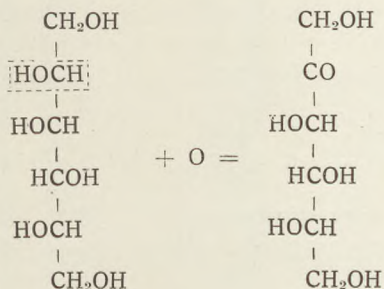
A *Bacterium coli* szintén megtámadja a mannitot, illetőleg ez  
is fel tudja használni a mannitot táplálónak. A felbontás a következő  
egyenlet szerint megy végbe:



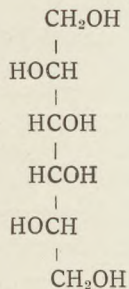
Ez a baktériumfaj egyébként a glycerint is fel tudja bontani intra-  
molekulárisan a következő módon:



Végül röviden meg akarjuk még említeni a már ismertetett *Bacte-*  
*rium xylinum* ot, amely éppen úgy, mint a *Bacterium aceti*, a  
mannitot fructózzá, a sorbitot sorbózzá erjeszti oxydációs úton. Ez a bak-  
tériumfaj egyébként a többi cukoralkoholt, így az arabitot, mannitot oxy-  
dálni képes. Jellemző azonban működésére, hogy csak azokat az alkoholo-  
kat képes megtámadni, amelyeknek szerkezeti képletében a HOCH-csoport  
OH komplexuma ugyanazon oldalon nem egy H atom mellett van, pl. a  
sorbit



a d-dulcitol pl., amely tudvalevőleg az alanti szerkezeti képlettel bír, ez  
a baktérium nem képes megtámadni.

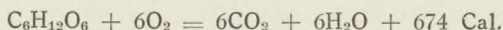




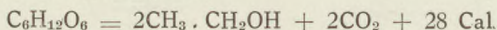
Ha most általában áttekintjük a különböző erjedési fajta-  
tákat, úgy első pillanatra a kép bonyolultnak látszik a fogalmak  
tisztázása szempontjából. Azonban ezeknek az erjedési ala-  
koknak az osztályozása még sem ütközik olyan nehézségekbe,  
mint az az első pillanatban látszik.

Erjedés alatt általában a szó elvont értelmében azokat az  
erjedési formákat kell értenünk, amelyek teljesen a levegő  
hozzájárulása nélkül, tehát anaerob úton jönnek létre. Ezek  
az alkoholos erjedés, a vajsavas és a tejsavas erjedés. Ezeket  
a formákat foglalják az ú. n. valódi erjedések neve alatt ösz-  
sze. Ezekkel szemben állanak azután az ú. n. nem valódi erje-  
dések, ahová elsősorban az ú. n. oxydációs erjedési formák  
tartoznak, azonban ezeket az oxydációs formákat is el lehet  
élesen különíteni a lélekzéstől, miután ezek az erjedési formák  
is a valódi erjedéshez hasonlóan azon sajátossággal bírnak, hogy  
nem vezetnek az organikus anyag teljes elégéséhez és így ál-  
taluk energetikai szempontból az élőlények nem nyerhetik azt  
a hőmennyiséget, amelyet a lélekzésük szolgáltat. Összehason-  
lításul álljanak most már itt a következő energetikai egyenletek,  
amelyek világosan mutatják az erjedési anyagoknak rendkívül  
kismérvű enegianyerését a lélekzéssel szemben.

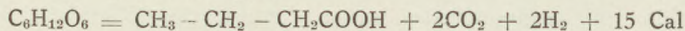
Lélekzés:



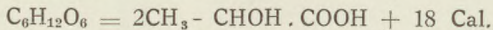
Alkoholos erjedés:



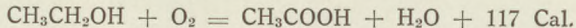
Vajsavas erjedés:



Tejsavas erjedés:



Ecetsavas erjedés (oxydációs erjedés):



Amint ebből az összeállításból is láthatjuk, az oxydációs  
erjedés energia nyeresége jelentékenyen felülhaladja a valódi  
erjedések energia nyereségét, de még mindig közel négyszerte  
kisebb, mint a valódi lélekzésnél nyert hőenergia. Amint a kö-



vetkezőkben látni fogjuk a lélekzés és az erjedés között szoros összefüggés van és élő szervezetben rendszerint ez a két forma szervesen össze van kapcsolva. Az erjedés tulajdonképen energetikai szempontból teljesen azonos fogalom az intramolekuláris lélekzéssel és az intramolekuláris lélekzés viszont, amint az újabb vizsgálatok mutatják, az élő szervezet minden lélekzési folyamatánál jelen van. Épen ezért az összefüggés kedvéért az erjedéssel közvetlen kapcsolatban most már az élőlények lélekzésével fogunk foglalkozni.

### Lélekzés.

Az eddigiekben megismerkedtünk az élő lények hőenergia-forrásának egy különleges módjával: az erjedési folyamatokkal, amelyek — amint láttuk — a természet háztartásában rendkívül fontos szerepet játszanak. Az élőlények normális körülmények között azonban az életműködésükhöz szükséges hőenergiát nem erjedési folyamatok, hanem az ú. n. r e n d e s l é l e k z é s folyamata kapcsán nyerik.

A rendes lélekzési folyamat, különösen az állatok lélekzésénél, amelyek élénk mozgásokat végeznek, rendkívül feltűnő és külsőleg is észrevehető. A növények lélekzése ezzel ellentétben külsőleg már nem érzékelhető olyan könnyen, miután a növények viszonylag kevesebb életmozgást végezve, nem szükségelnek olyan nagymennyiségű hőenergiát, mint az állatok.

Az olasz *Malpighi* már 1687-ben tudta, hogy a magvaknak csírázásukhoz okvetlen szükségük van levegőre. A svéd *Scheele* (1777), az oxigén egyik felfedezője megállapította, hogy a csírázás folyamán, éppen úgy, mint az állatok lélekzésekor, az oxigén felhasználásával szénsav keletkezik. A lélekzésre vonatkozó ismeretek a széndioxydasszimilálás tanulmányozása folyamán gyarapodtak, nevezetesen *Ingen-Hous*s (1786) kimutatta, hogy a sötétbe állított zöld növények általában szénsavat választanak ki, a kevés chlorophyllal bíró, vagy chlorophylltalan növények pedig a világosságon is folytonosan választanak ki szénsavat. *Saussure* (1804) megállapította, hogy a lélekzéskor a szénsav mellett víz is képződik és jól tudta azt, hogy a zöld növények lélekzése folytonos.



Meyen volt azonban az első, aki teljes határozottsággal hangoztatta (1838), hogy a szénsav képződése (disszimiláció) és a szénsav felbomlása (asszimiláció) két egymástól független folyamat a növény testében, amit Dutrochet (1837) is kifejezett már, úgy hogy ezek alapján ebben az időben már ismeretes volt a növények szénsavkiválasztása, mint az állatok lélekzésének megfelelő életfolyamat; és mégis Liebig (1840) azt vélte, hogy a növényből származó szénsav forrása a talaj és nem a szervezet életfolyamatának az eredménye. Mások ismét ettől eltérően a növények kétféle lélekzését hangoztatták, megkülönböztetve a nappali és az éjjeli lélekzést, azt vélvén, hogy a növények nappal szénsavat lélekzenek be és oxygént lehelnek ki, éjjel pedig szénsavat lehelnek ki és oxygént lélekzenek be. Az előbbi előadásaimból azonban tudjuk, hogy a növények nappali lélekzése megfelel az asszimilálásnak; tehát táplálkozási folyamat, amely a lélekzéstől teljesen független.

A már némiképen tisztázott kérdésnek ilyen módon való elhomályosítása végleges megoldást csak a múlt század hatvanas éveiben nyert, amidőn is Garreau (1851) és Mohl (1851) munkálatai után Sachs (1865) hangsúlyozta, hogy a növényekben a lélekzés folyamata a szénsavalakulással kapcsolatos oxydálás.

#### *A lélekzés anyaga.*

A növényi lélekzés általában az asszimilációnak a megfordítottja és ezért disszimilációnak is nevezik. Különösen élénk a növények lélekzése a csirázásnál, miután a csirázó magvak a maghéj burkának az áttörésekor a gyököcske és szálcscsa kitolásakor jelentékeny munkát kénytelenek végezni és ehhez a munkához a hőenergiát a magban felhalmozott ú. n. tartalék tápanyagok elégetésével nyerik. A lélekzés alapanyaga a legtöbb esetben a szénhydrát, a növényben a keményítő, illetőleg az ennek átalakulása kapcsán keletkező cukrok és néha fehérjék.

A növényi élettanban az asszimiláció és disszimiláció hányadosát:

$$\frac{A}{D} = K$$

asszimilációs koefficiensnek, vagy hányados-

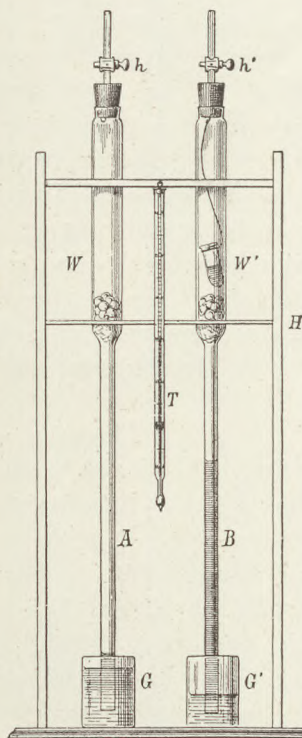


nak is nevezzük. Ez az asszimilációs hányados normális körülmények között rendszerint 1-nél nagyobb értéket képvisel, tehát  $K > 1$ . Átmentileg  $K < 1$  is lehet, pl. a csirázó magvaknál, azonban ilyen esetben ez egyensúlyi állapotot nem jelenthet, miután ez a növény tönkremenetelére vezetne. Normális körülmények között tehát  $K$ -értékének mindig az egységnél nagyobbnak kell lennie.



86. kép.

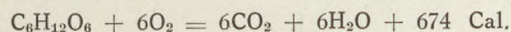
A belélekzett oxigén és a kilehelt széndioxyd egyenlő térfogatát bizonyító kísérlet: *A* edényben csirázó borsó magvak, *a* kis üvegben telített kállilág, *B* edényben higany van, amelybe a *b* üvegcső nyúlik. *D* e t m e r után.



87. kép.

A rendes lélekzésekör elhasznált oxigén mennyiségének a meghatározása. A *H* állványon két csőszerű edény van, amelyek alsó részükkel a *G*, *G'* edényekben levő vízbe nyulnak be. A csőszerű edények (*W*, *W'*), tágabb részében kaucsuk dugóba erősített üvegcsapokat (*h*, *h'*) látunk. A *W'* kis edényben kállilág, mind a kettőben csirázó borsómag van, *T* hőmérő. 20–24 óra múltán a kállilágos edényben a higany emelkedni fog és könnyen lemérhető. *D* e t m e r után.

Amint azt az erjedési folyamatoknál megmutattuk, a lélekzés rendes folyamata nagy vonásokban a következő egyenlet szerint jön létre:



Ebben az esetben a  $\text{CO}_2$  és az  $\text{O}_2$  viszonya tehát:



$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = Q = 1$$

Általában a  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$  hányados az egységnél kisebb, vagyis a növényben még oxigén marad, amiből azt következtették, hogy a lélekzés anyaga elégeésekor nem egyedül e két végső termény, hanem részben más anyagok és szerves savak is keletkeztek. Ezek sorában pedig igen gyakori az oxálsav; pl. az *Aspergillus niger* sok oxálsavat fejleszt. A savképződés azonban nem szükséges folyamat, csak bizonyos feltételek között következik be, sőt még az oxigénfelvételtől is független, bizonyos határokon belül. Az ily módon keletkezett oxálsav a táplálkozás és lélekzés szempontjából nem bír jelentőséggel, a legtöbb esetben nem is szolgál a szén forrásául, ellenben nagy a biológiai jelentősége, amennyiben más szervezetekre mérgezően hat.

A magasabbrendű növényekben is sűrűn találkozunk az oxálsavképződéssel, amit az oxálsavas mész gyakori előfordulása is bizonyít. Általában az a felfogás érvényesül, hogy az oxálsav jelentősége éppen a mész lekötésében keresendő; újabban mindinkább az bizonyosodik be, hogy a zöld növények hasonló körülmények között termelnek oxálsavat, mint a gombák, tehát az oxálsav itt is a lélekzés folyamán keletkező termék, amely még esetleg felhasználódhatik.

A növények savképződése bekövetkezhetik szintézis vagy hydrolytikus haladás útján is, de a legtöbb esetben tagadhatatlanul a lélekzéssel függ össze. Különben a képződött sav mennyisége mögötte marad a széndioxydképződésnek, némely pozsgás növény kivételével, amelyben a savképződés oly nagy mértékű, hogy a széndioxyd képzése részben el is marad.

A pozsgás növények ugyanis sötétben oxigént vesznek fel, anélkül, hogy hasonló mennyiségű széndioxydot adnának ki. A *Cactus*-okban almasav, a *Crassulaceá*-kban izoallmasav, a *Mesembrianthemum*-okban oxálsav képződik és pedig olyan jelentékeny mennyiségben, hogy már a levelek ízéről is felismerhető, sőt a végső esetben a lélekzés hányadcsa  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0$ , vagyis széndioxyd egyáltalában nem

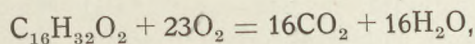


képződik. Ezen folyamat következtében a növényben a sav mennyisége annyira felszaporodik, hogy ekkora szaporodás a növénynek már ártalmára volna. Ámde tartós sötétségben vagy a hőmérséklet emelkedésével bizonyos határon túl a savgyarapodás elmarad és a lélekzés hányadosa emelkedik.

A pozsgás növények savban való gyarapodása a gombák savképzésére emlékeztet, amennyiben itt is bizonyos különleges feladat megoldására szolgál. Ugyanis a képződött sav a napfényen szétesik és belőle széndioxyd képződik, amelyet a növény asszimilál. Amíg tehát a többi zöld növény lélekzésekor képződött széndioxyd eltávozik, addig a pozsgás növényekben lekötődik, hogy csak a szükséglet alkalmával szabaduljon fel. Ennek a magyarázata pedig az, hogy a pozsgás növények berendezkedése kivált a párolgás ellen való védelemre alakult meg, tehát e növények sem nagyszámú levegőnyílásokkal, sem nagy sejtközi járatokkal nem rendelkeznek, ennél fogva a napfényben az asszimiláláshoz szükséges széndioxyd nem állana kellő mennyiségben rendelkezésükre. Ennek a hiányosságnak pótlására szolgál a lélekzéskor képződő széndioxydnak sav alakjában való lekötése. Minderre pedig csak azért mutattunk rá a lélekzés anyagainak felsorolásában, hogy kimutassuk, miszerint a lélekzés bonyolult folyamata sokszor még bonyolultabbá válik a növényt szolgáló más feladatok teljesítése által.

A felsorolt folyamatok során beigazolódott az, hogy ezek képesek a lélekzési hányadost módosítani. A hányadost módosíthatják azonban a lélekzés anyagai is.

Eddigélé a szénhydrátokat vettük figyelembe a lélekzés folyamatában. Sok növény magvában azonban nagy mennyiségű zsír halmozódik fel, amely oxigénben jóval szegényebb, mint a szénhydrátok, aminél fogva a lélekzéskor eléggő zsírok sokkal több oxigént vesznek fel, mint amennyi széndioxydot választanak ki, vagyis a lélekzési hányados itt is kisebb 1-nél. Például a palmitinsav oxydálásakor



vagyis ez esetben a hányados  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0.7$ .

Hasonló ez az eredmény ahhoz, midőn a cukor, tehát szén-



hydrát tökéletlen oxydálásakor még cukorsav is keletkezik a széndioxydon és vízen kívül, a lélekzési hányados pedig 0'67.

A zsíros, illetve olajos magvak csirázásakor, amidőn a zsírok fokozatosan szénhydrátokká alakultak a  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$  hányados emelkedik, pl. a len csirázásakor egymásután következő napokon a hányados 0'30, 0'34, 0'39, 0'40, 0'63, 0'64 volt. A csirázás befejezésekor elérheti az 1-et is.

A hányados azonban ellenkező irányban is változhatik, ha a szénhydrátokból zsíros olajok alakulnak a magvak érésekor, pl. az olajos magvak éréskor  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} > 1$ , vagyis több széndioxyd keletkezik, mint amennyi oxygen használódik fel.

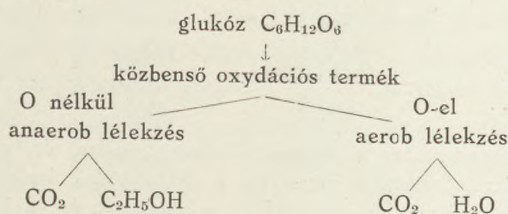
A szénhydrátoknak, helyesebben az oldatban levő cukornak, a lélekzés hanyatló átalakulásának során egészen ellentétes szerep jut, mint az asszimilálás folyamatában, ahol az emelkedő átalakulások során helyezkedett el. Ebből bízást azt következtethetjük, hogy a cukor, illetőleg a növény testében a szénhydrátok, úgy a lélekzést szolgáló, tehát működő anyagok, mint az építő anyagok sorába felvehetők. Az előbbiekben a zsírok és szénhydrátok egymásba való átalakulására is rámutattunk, amivel karöltve jár az is, hogy a lélekzéskor egymást némiképen pótolhatják.

Amint már az erjedés ismertetésénél megmondottuk, nemcsak az alacsonyabbrendű, de a magasabbrendű növények is képesek átmenetileg intramolekuláris úton oxygen hozzájárulása nélkül a szerves vegyületeket felbontani energianyerés céljából. Ez az ú. n. intramolekuláris lélekzés, amely elméleti és energetikai szempontból tulajdonképen az erjedési folyamatokkal azonos folyamatnak nevezhető.

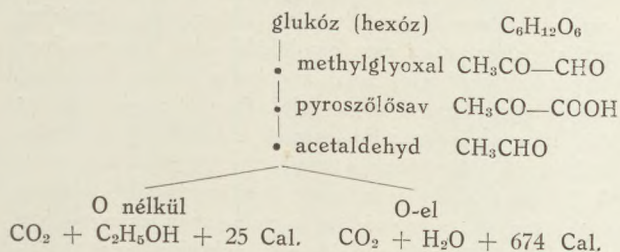
Amint K o s t y t s c h e w és P a l l a d i n legújabb vizsgálatai világosan bebizonyították, az erjedés és a normális lélekzési folyamatok tulajdonképen nem zárják ki egymást, hanem valószínűleg a kettő egymás mellett párhuzamosan folyik le. Az idevonatkozó kutatások alapján annyit azonban ma már biztosan tudunk, hogy még a normális lélekzési folyamat alatt is átmenetileg közbenső oxydációs termékek keletkeznek, amelyek azután O jelenlétében CO<sub>2</sub>-dá és vízzé égnek el teljesen,



míg ha elegendő O nem áll az elő szervezet rendelkezésére, akkor a szerves vegyületeket intramolekulárisan bontja, miközben energetikailag kellőleg fel nem használt termékek keletkeznek. Így pl. az alkoholos erjedés és az aerob lélekzés a következő képet adja:



A közbenső termékek még teljes biztonsággal nem ismertek, a legvalószínűbb a következő általános leírás, ahol a glukózt vesszük kiinduló anyagul:



Az acetaldehyd jelenlétét a növényekben újabban Kleinnek és Pirschnak sikerült 1926-ban minden kétséget kizáróan kimutatni, de kimutatták azonkívül még Neuberger és Gottschal vizsgálatai is.

Amint Kostytschew vizsgálatai mutatják, a közbenső termékek elégetését a jelenlevő oxydációs és erjesztő enzyme kölcsönös viszonya szabályozza; ha az előbbiek vannak túlsúlyban, akkor teljes elégetés következik be, ha pedig az utóbbiak mennyisége múlja felül az oxydációs enzyme jelenlétét, ebben az esetben erjedés jön létre. Bebizonyítottnak vehető tehát ma az a jelenség, hogy az aerob és anaerob lélekzés, illetőleg az erjedés, az élőlények lélekzésével szorosan egybefüggnek, legalább is a lehetősége az átmeneti termékeknek mind a kettőnél egyenlő mértékben adva van.



A lélekzés alapanyagául — amint már említettük — elsősorban a szénhidrátok és a zsírok szolgálhatnak, a szénhidrátok közül pedig leginkább a cukrok.

A lélekzés anyagcseréjének lefolyására összehasonlításként röviden ismertetjük az állati szervezet lélekzésének lefolyását az abban működő hormonokkal együtt, miután újabban mind sűrűbben hangzanak feltevések, amelyek azt mondják, hogy az itt működőkhöz hasonló hormonok a növényi szervezetben is működnek.

Az állati szervezetben a cukrok (d-glukóz, d-fruktóz, d-galaktóz és d-mannóz) a bélben keresztül a vérbe kerülnek és átalakulnak az ú. n. vércukorra, amely vércukor glikogén alakjában a májban és az izmokban halmozódik fel mint tartalék. A vérben lévő cukor 0,15%-a glukóz, azonban nem a rendes 1—4 furoid glukóz, hanem valószínűleg  $\gamma$  glukóz abnormális O-gyűrűvel, amely  $\gamma$  glukóz nagy valószínűség szerint a pankreasz mirigyben képződött insulin hormon hatása alatt képződik normális glukózból.\*) Ez a  $\gamma$  glukóz könnyebben oxydálható és könnyebben dolgozható fel a szervezetben. Ha a pankreasz nem fejleszt insulint, akkor nem képződhet  $\gamma$  glukóz, hanem normális glukóz és ez nem oxydálódik el a szervezetben, hanem a vizelettel eltávozik a testből és beáll a cukorbetegség.

A vérben lévő cukor egy része glikogén alakjában a májban és az izmokban felhalmozódik. Ez a glikogén mint tartalék szerepel és ha a vércukor a szövetekben elhasználódott, akkor a májban glikogénbontó enzimek a glikogénből újból glukózt alakítanak, amely azután a májból a vérbe kerül. Ha a tápanyagok igen sok szénhidrátot tartalmaznak és a májban további glikogénképződés nem jöhet létre, akkor a cukrokból zsír keletkezik, amely a szervezetben lerakódik. A vérben cukor még fehérjékből is keletkezhet, ami akkor szokott bekövetkezni, ha szénhidráthiány lép fel.

A vérben lévő cukor az állati szervezetnek legfontosabb energiaforrása, mert az anyagcsere folyamatában oxydálódik, miáltal szabad energia keletkezik, amely a testet munkaképessé teszi, miközben meleg termékként hő szabadul fel. Éppen ezért a májban felhalmozódott glikogén igen nagy szerepet játszik, mert energiát szolgáltat a testnek abban az esetben, ha nagyobb munkát kellene végeznie.

Az emberi és állati szervezetben tehát a glukóz rendkívül fontos szerepet tölt be és a kérdés jobb megérthetősége kedvéért most röviden, néhány szóval vázolni óhajtjuk még a glukóz és a glikogén keletkezésének kölcsönös viszonyát az állati szervezetben.

Ez a probléma ugyanis egyike a legérdekesebb élettani kérdéseknek, amelyeknek terén különösen a legutóbbi években végzett vizsgálatok rendkívül szép eredményeket adtak. A kérdés még ma sincs teljes biztonsággal megoldva, azonban mégis a vizsgálatok már annyira előrehaladtak, hogy

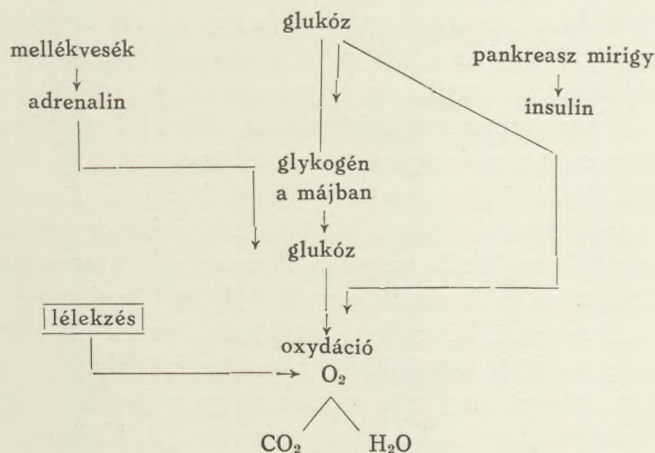
\*) Újabban ezt a feltevést kétségbe vonják. A kérdés nincs még lezárva.



nagy vonásokban a glikogén- és glukózképződés lefolyását következőképpen vázolhatjuk:

Amint ezek az újabb vizsgálatok mutatják, az emberi szervezetben a mellékvesék által kiválasztott hormon (adrenalin) és a pankreasz mirigyek által kiválasztott insulin működése között a vér glukóztartalmát illetőleg szoros összefüggés van, még pedig olyan módon, hogy az adrenalin a májban felhalmozott glikogénnek glukózzá való bomlását segíti elő, míg az insulin kétféleképpen hat, az egyik hatása a már ismertetett azon körülmény,

Az insulin és az adrenalin szerepének vázlata:



hogy a vérbe jutó d-glukóz oxydációját segíti elő, a másik hatása pedig abban nyilvánul meg, hogy a táplálkozás folytán a szervezetbe bejutott glukóznak a májban glikogénné való átalakulását segíti elő. A máj tehát az emberi és állati szervezet szempontjából egy rendkívül fontos tartalomanyag felhalmozó készülék. A cukorbetegség lényege biokémiai szempontból valószínűleg abban áll, hogy insulinhiány következtében a májban glikogén nem keletkezik, és viszont a vérbe jutott d-glukóz, ugyancsak insulinhiány következtében, nem tud elégni és ezért felhasználatlanul eltávozik.

Csak tájékoztatásul említjük még meg, hogy a d-fruktózt a diabétikus szervezet is képes bizonyos mértékben elégetni. Nagyobb mennyiségben azonban ez is felhasználatlanul távozik el, úgyhogy d-fruktózzal a d-glukóz hiányát teljesen pótolni nem lehet.

Az állati lélekzés végső terméke tehát — amint azt már említettük — a teljes lélekzésnél szintén CO<sub>2</sub> és víz. Ott azonban, ahol anaeroblélekzési folyamatok folynak le, így az izmokban, ott ellentétben a növényi



anaerob lélekzéssel, amely elsősorban alkoholképződésre vezet, tejsav keletkezik.

Újabban nem hiányoznak hangok, amelyek azon feltevés mellett szólnak, hogy valószínűleg a növény életében is keletkeznek insulinszerű hormonok, amelyek az asszimiláció alatt keletkezett glukóznak keményítővé való átváltozását teszik lehetővé és ezáltal itt is a tartalék energiaforrásnak a működését szabályozzák. Az állati szervezet adrenalinjához hasonló hormonra a növényi szervezetnek nincs szüksége, miután a keményítőnek glukózzá való bontását a *diasztáz* segítségével végzi.

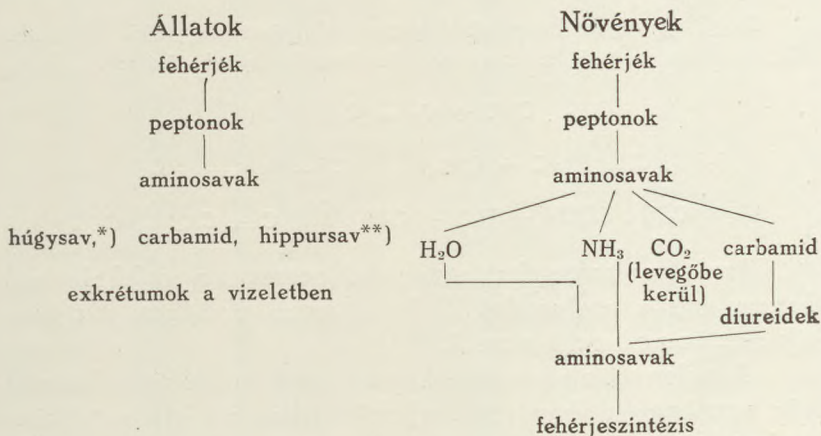
Ezenkívül úgy az állati, mint a növényi szervezet szükség esetén kétségkívül oxydációs folyamatainál fehérjéket is képes elégetni. Természetesen a fehérjéknek lélekzési úton való felhasználása még nem annyira ismert és tisztázott folyamat, mint a szénhidrátoké. Úgylátszik a növények közül főleg azok a növények égetik el a fehérjéket, illetőleg a fehérjék egyszerű összetételű vagy komplikált vegyületeit, amelyek szaprofita életmódot folytatva, a korhadó anyagból felvett aminosavból elég könnyen képesek a fehérjéket felépíteni. Ilyenek pl. a korhadó anyagokon élősködő gombák. A fehérjéknek lélekzési úton való felbontása valószínűleg más módon megy végbe az állati testben és más módon folyik le a növényben. A különbség főképp az, hogy míg a lélekzés végső termékei mint exkrétumok az állati testet elhagyják, addig a növényeknél a fehérjék elégetése sokszor nem lesz teljessé, hanem csak az aminosavakig jut, ilyenkor a növény a keletkezett aminosavakat megint felhasználhatja fehérjeképzésre. Néha azonban a lélekzés teljessé válik és ilyenkor az aminosavak  $\text{CO}_2$ -dá, vízzé és  $\text{NH}_3$ -á égnek el, melyek közül a növényt azonban csak a  $\text{CO}_2$  hagyja el, míg a másik kettő minden valószínűség szerint keletkezése után ismét a növény anyagcsere folyamatába jut bele.

Természetesen, míg a fehérjék elégetése az állati szervezetben aránylag elég gyakori folyamat, addig, talán hangsúlyozni sem kell, hogy a növényeknél ez aránylag ritkán fordul elő és a növények a lélekzési folyamataikkal elsősorban a rendelkezésre álló szénhidrátokat égetik el. Ennek a jelenségnek az oka abban a körülményben is kereshető, hogy az állatok sokkal intenzívebben lélekzenek, mint a növények és ennél az oknál



fogva, különösen munkakifejtésnél sokkal több anyagra van szükségük. Ilyenkor természetesen, ha a tartalék szénhidrátok elfogynak, kénytelenek fokozatosan a rendelkezésre álló többi szerves anyagot is felhasználni.

A fehérjelélekzés lefolyása és annak pontos biokémiai és energetikai egyenlete ezidőszereint még nem ismeretes. Azonban kétségkívül bizonyos, hogy a fehérjék bontása sok tekintetben hasonlít azokhoz a folyamatokhoz, amelyeket az asszimilált anyagok szállítása c. fejezetben a 407—411. oldalakon elméleti szempontból ismertettünk. Régebben az volt a felfogás, hogy a növények testében carbamid nem keletkezik, hanem az aminosavak közvetlenül ammoniára, szénsavra és vízre bomlanak. Amint azonban az ott idézett vizsgálatok, különösen Klein kutatásai megmutatták, a növényekben néha carbamid is képződik. Összehasonlításul közöljük az állati és növényi fehérjelélekzés valószínű lefolyásának párhuzamos elméleti képét:



#### A lélekzés lefolyása.

A lélekzés biokémiai lefolyásával kapcsolatos oxydációs folyamatok még alig ismeretesek, így ezeknek az oxydációs folyamatoknak a növényben való élettani lefolyását sem ismerjük még eléggé. Egyelőre ezen a téren csak egyes be nem igazolt elmé-

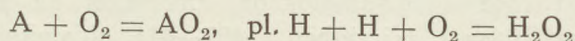
\*) A madarak és Reptiliák vizeletében.

\*\*) A növényevő állatok vizeletében.



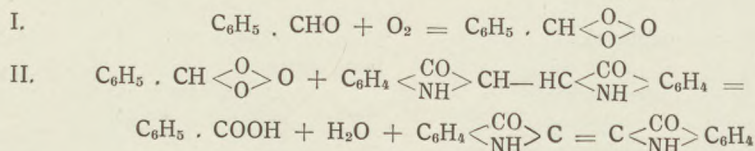
letek állanak rendelkezésünkre. Általában két elmélet lett legismertebbé az irodalomban: a Bach—Engler- és a Wieland-féle elmélet.

Bach—Engler szerint bizonyos anyagok, amelyeket ők autooxydátoroknak neveznek, képesek arra, hogy a levegő O-jét közvetlenül felvegyék és azután tovább adják. Ennek sémája a következőképen fejezhető ki:



Az autooxydációnál keletkezett ú. n. moloxydok azután szétbomlanak és a felvett O felét az autooxydátoroknak molekuláira kapcsolják rá, amint pl. ez a kémiában a H lekötésénél előfordul  $H + H + O_2 = H_2O_2$   $H + H + H_2O_2 = 2H_2O$ . Általában ezek a moloxydok mindig erőteljesebb oxydációs anyagok, mint a levegő O-je, úgyhogy nemcsak autooxydátorokat, hanem más anyagokat is képesek oxydálni.

Hogy egy ilyen bonyolult folyamat lefolyását nagyjából megérthessük, közöljük az indigófehér oxydációját benzaldehyd hatására:



Azokat az anyagokat, amelyeket nemcsak a molekuláris O, hanem már a moloxydok O-je is oxydálni képes, Engler a kceptoroknak nevezi.

A moloxydok képződését kísérletileg is határozottan kimutatták, azonban magában a növényi sejtben hasonló jelenséget kísérletileg beigazolni még nem sikerült. Bach és Chodat vizsgálatai szerint a növényi sejtben lefolyó fiziológiai oxydáció a Bach—Engler-féle kémiai elmélet szerint megy végbe. E feltevés szerint a levegő O-jét először csak autooxydátorok (vagyis olyan anyagok, amelyek telített oxigénmolekulákat  $[O=O]$  telítetlenekké  $[O-O]$  tudnak átváltoztatni) vehetik fel és pedig peroxyd és hydroperoxyd képzése mellett. Miután Chodat és Bach az élő sejtekben csakisugyan találtak peroxydformájú anyagokat, ezeket elnevezték oxigénázoknak.



Az ő feltevésük szerint a növényi sejtekben lefolyó tulajdonképeni oxydációk ezen oxygenázok másodlagos oxydálása után jönnek létre és szerintük az oxygenázokat aktiváló ú. n. peroxydázok az enzymeek közé tartoznak.

E szerint az elmélet szerint tehát a sejt plazmájának ezelőtt oxydázok név alatt megjelölt anyagai tulajdonképen nem egyebek, mint az oxygenázok és peroxydázok rendszere. Dacára annak, hogy ez az elmélet még beigazolva nincsen, mégis bizonyos, hogy vannak oxydáló fermentek ú. m. az oxydázok, ilyenek pl. a lakkáz, tyrosináz, oenoxydáz stb.

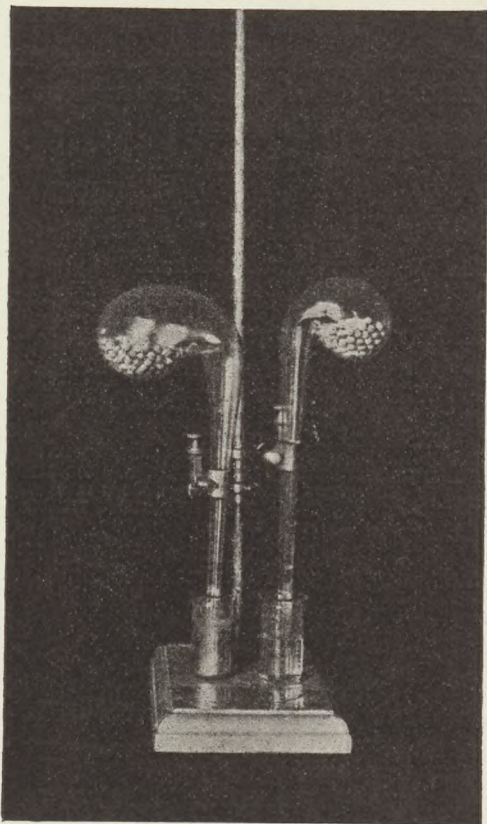
Ezzel szemben állította fel Wieland elméletét, aki szerint az összes biológiai oxydációs folyamatoknál a víz O-je játssza a főszerepet, míg a levegő O-je csak a víz H-jének megkötésére szolgál. A növényi sejt oxydációs folyamatainál a víz H-je lesz átalakítva, míg az O csak passzív szerepet játszik. Szerinte a legfontosabb körülmény az, hogy a víz aktiv  $H_2$ -ét az ú. n. H-akceptorok megkössék és az így felszabaduló O azután más anyagokkal oxydációs folyamatok mellett kerülhet összeköttetésbe. Wieland kísérleteire, amelyekkel ezt az elméletét beigazolni igyekezett, itt nem térünk részletesen ki, de meg kell jegyeznünk, hogy egyes esetekben, ahol az oxydációt mindig egyúttal H-leválás követte, kísérletileg is sikerült ezt az elméletet beigazolnia. Ez a kérdés még egyelőre nincsen lezárva és további kísérletek vannak hivatva a problémát teljesen felderíteni.

Abban a kérdésben, hogy vajjon a lélekzést különleges enzymeek idézik-e elő, amint azt pl. az alkoholos erjedésnél láthatjuk, még nem egységesek a vélemények. Az azonban bizonyos, hogy a lélekzés oxydációs folyamat, amely a közönséges oxydációtól alapvető módon különbözik. Hiszen azok a szénhidrátok, amelyeket a növény lélekzésekor eléget, olyan alacsony hőmérséklet mellett, amelynél a lélekzés lefolyik, O-nel nem létesítenek soha oxydációs folyamatokat. Újabban kísérletek is bizonyítják, hogy a megölt növényi sejtek is képesek tovább oxydálni, amely jelenség kétségkívül enzymeek jelenlétére mutat. Valószínű, hogy a lélekzésnél közreműködő enzymeek is a zymázokhoz hasonló enzymeek, amelyeket azonban tisztán előállítani, vagy ezeknek pontos jelenlétét megállapítani még eddig nem sikerült.



### A lélekzés bizonyítása.

A növények lélekzéskor — éppen úgy, mint az állatok — oxigént lélekenek be és széndioxydot lehelnek ki, amiről könnyű meggyőződést szerezni. Nevezetesen a széndioxyd kiválasztását és az oxigén felhasználását a 88. képen feltűn-



88. kép.

A borsó csírázásakor képződött  $\text{CO}_2$  kimutatására szolgáló egyszerű készülék. A megfordított lombikok nyitott szája kálilúgba van állítva. A kálilúg a  $\text{CO}_2$ -ot elnyeli és a víz a lombikok csövében felemelkedik. E.

éges táplálására szükséges oxigén már nincs az edényben, mert a növényrészek felhasználták és az edényben csak szén-sav van jelen. Még gyorsabban és a világosságban is könnyen történhetik ez a bizonyítás, ha az edénybe

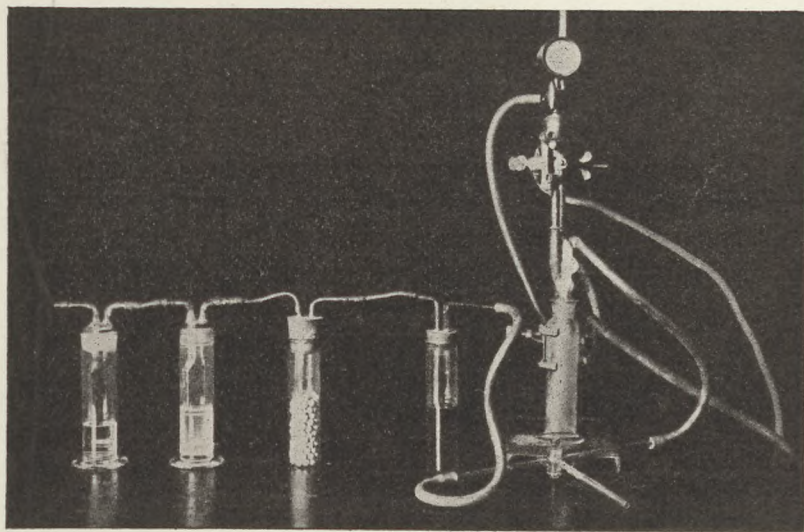
nálását a 88. képen feltűn-tetett készülékkel mutathatjuk ki. Amint látjuk, a lombikokban vízben áztatott borsómagvak vannak és a megfordított lombikok nyitott szája kálilúgba van állítva. Ez a calciumhydroxyd vagy báriumhydroxyd tartalmú kálilúg a borsómagvak kiválasztotta szén-savat elnyeli, ami a lúg megzavarodásából látható; e közben az oxigén felhasználódik, a víz helyébe nyomul és feljebb emelkedik a lombikok csövében.

Hogy a lélekzésnél csakugyan a növény rendelkezésére álló levegőből az oxigén használódott el, azt közvetlenül is bizonyíthatjuk. Ugyanis élő növényi részeket, pl. csírázó magvakat, virágokat stb. nagyobb mennyiségben egy légmentesen záródó üvegedénybe helyezünk, amelyet sötétbe állítunk, hogy az asszimilálás okozta zavart elkerüljük. Bizonyos idő, pl. 24 óra eltelte után égő gyertyát viszünk a kinyitott edénybe és a gyertya már az edény szájának közelében is el fog aludni annak jeléül, hogy az



nem zöld növényeket, de pl. gombákat helyezünk. Száraz, leforrázott, tehát éppen megölt növényekkel a kísérlet már nem sikerül, mert az oxigén felvétele a növény életének egyik folyamata.

A növények kiválasztotta széndioxyd mennyiségét azonban nemcsak ki tudjuk mutatni, hanem meg is tudjuk mérni. A 88. képen bemutatott készülékben a calciumhydroxyddal, vagy báriumhydroxyddal elegyített káliumhydroxyd megzavarodása bizonyítja a kilélekzett szénsavat; a zavarodással járó súlyszaporodásból azonban ki is számíthatjuk a kilélekzett széndioxyd mennyiségét. De erre a célra másnemű készülék alkalmasabb, egyrészt, mert az előbbi készüléknél a kálilug a levegőben lévő szénsavat



89. kép.

Készülék a csirázó borsómagvak lélekzésekor keletkezett  $\text{CO}_2$  mennyiségi meghatározására. E.

is elnyeli, tehát a súlyszaporodáshoz ez is hozzájárult, másrészt a teljesen zárt üvegedényben csakhamar jelentkező oxigénszükség a lélekzést hátrányosan módosítja, ezért ez a kísérlet nem szolgáltatja a valóságnak hű képét.

A megjelölt hibákat elkerülhetjük, ha a növényt magába foglaló edényen folytonos levegőáramot bocsátunk át, amelyet előzőleg széndioxydjától megfosztottunk és azután a növénytől eltávozó levegő széndioxydját kötjük le. Erre a célra alkalmasabb a 89. képen feltüntetett készülék, amelynél a levegőt egy vízlégszivattyú szívja a készüléken keresztül. Az első edényben kálilug van, amely a beáramló levegőt a  $\text{CO}_2$ -tól megtisztítja, a másodikban mészvíz, amely arra szolgál, hogy ellenőrizhessük a beáramló



levegőnek  $\text{CO}_2$ -mentességét. A harmadik üvegben vannak a csirázó borsó-magvak, ahonnan azután a csirázó magvak  $\text{CO}_2$ -jával telített levegő a negyedik mosópalackba hatol be, ahol vagy kálilúggal, vagy mészvízzel elnyeletjük. Ebből kiszámíthatjuk azután a kilehelt széndioxyd ( $\text{CO}_2$ ) mennyiségét is. Kétségtelen, hogy ebben a kísérletben a széndioxyd csak a növényből származhatott és pedig úgy, hogy a levegő oxigénje a növény széntartalmú vegyületeinek szenével egyesült. Ebből a célból tehát a levegő oxigénjének a növény vegyületeihez, vagyis a sejtbe kell bejutnia.

### *Hogyan jut az oxigén a növény testébe?*

A szén forrása a növény teste, a szén tehát származhatik a növény testének bármely részéből, bármely sejtjéből. A tapasztalat is igazolja azt, hogy az élő növény minden részéből kiszabadul a széndioxyd, és pedig a növénynek úgy a földbeli, mint a földfeletti részeiből, amiről már az említett kísérletek által könnyen meggyőződhetünk. Ebből önként következik, hogy a növények nem bírnak külön lélekző szervvel, mint az állatok.

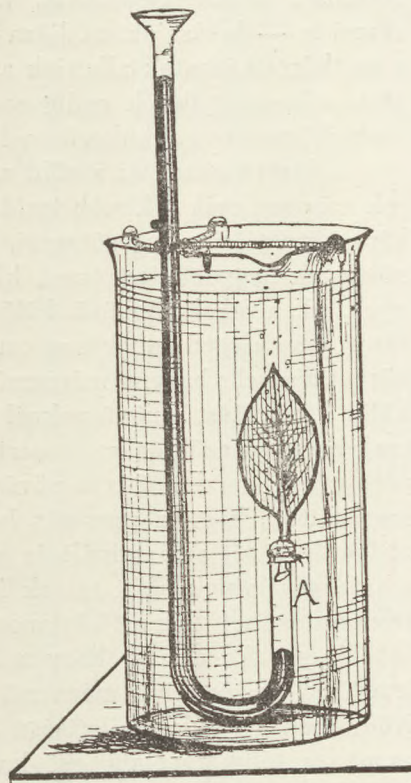
Minthogy a növényi test minden részében találkozunk lélekzéssel, fel kell tennünk, hogy a levegő oxigénje hozzá tud férni a növényi test minden részéhez. A vízben csirázó magvakba a magvak által felszívott víz viszi be a megfelelő mennyiségű oxigént, éppen úgy, mint a víz alá merült növényekbe is a víz elnyelte oxigén jut be; e célra szolgálnak bizonyára az ilyen növények testében kifejlődött nagy és tágas sejtközütti járatok, amelyeket többnyire diafragmák határolnak. Ezek a diafragmák a gázokat, tehát a levegőt is átbocsátják, ellenben a víz behatolását megakadályozzák, még a növény testének sérülése esetében is. Hasonló szerepet visznek néhány diafragmát nélkülöző vízi növénynek, pl. a vízi tündérrózsának (*Nymphaea*) sejtközütti járataiban kifejlődött szőrszerű képletek is.

A szárazföldi növények testébe ugyanolyan úton jut be az oxigén, mint aminőkkel az asszimilálás és a párolgás tárgyalásakor ismerkedtünk meg. Ugyanis a gázcserét szolgálják az epidermisz külső sejtfalai, de még inkább, sőt sok esetben egyedül a levegőnyílások, amelyek a növény testében lévő sejtközütti járatokban folytatódnak. A levegő oxigénje a növény testének jóformán minden részét átszövő sejtközütti járatok segítségével jut el a növény testének minden részébe, minden



sejtjébe. Nagyon természetesen, a levegőnyílások elhelyezésénél fogva legelőnyösebben jut az oxigén a levéllemezekbe, amelyek — amint láttuk — úgy az asszimilálás, mint a párolgás munkáját is szolgálják. Erről igen egyszerű kísérlet útján győződhetünk meg, amelyet a 90. kép tüntet fel, amellyel bebizonyíthatjuk, hogy a levél nyelébe sajtolt levegő a levegőnyílásokon át jut ki a levélből, bizonyoságul annak, hogy a levegőnyílásokon a levegő a növény testébe jut be, de ugyanezekén át el is távozik. Minthogy pedig a sejtközüti járatok a növény testének minden részébe elvezetnek, ennél fogva a levegő, illetőleg az oxigén a növény minden részében kicserélődhetik. A sejtközüti járatok azonban részben a párolgást, részben — különösen a chlorophyllt tartalmazó sejtekben — az asszimilálás szükségelte gázcserét közvetítik, ezért oly járatokkal és üregekkel, amelyek tisztán, vagy legalább nagyjából csak a lélekzést szolgálják, főképen a nem asszimiláló, tehát heterotrof növények testében találkozunk.

A sejtközüti járatok és a lélekzés mértéke között azonban általánosságban nem mindig találunk párvonalasságot. Igaz, hogy a nagyjából mértékű lélekzést mutató növények jórészt jól kifejlődött sejtközüti járatokkal bírnak, de a kettő nem jár mindig együtt. A sejtközüti járatok a fiatal növényrészekben már akkor kifejlődnek, amikor a szövetek kialakulása jóformán



90. kép.

A levegőnyílások és a sejtközüti járatok átjárhatóságát igazoló kísérlet amely bizonyítja a levegő áramlását a levélben át; a csőben levő higany nyomása folytán a levéllemezéből buborékok alakjában szabadul ki a levegő. Chalons után.



meg se kezdődött, sőt némely növényen a sejtközzötti járatok, pl. a gyökér tenyészőkúpján az ős merisztéma csúcsáig hatolnak (pl. a tengerin).

Ilyképen a levegő és az oxigén a növények legkülönbözőbb részeiben is kicserélődhetik, vagyis a növény legkülönbözőbb részei is — lakásaink módjára — szellőződhetnek, amennyiben a sejtközzötti járatok alkotják a szellőztetésre szolgáló berendezést, a levegőnyílások pedig ennek a szellőztető rendszernek a szabad levegővel érintkező nyílásai.

A levéllemezen és a zöld szárazon elhelyezett levegőnyílások azonban csak a kisebb testű növényekben képesek elegendőképpen szolgálni a levegőcserét, illetőleg a szellőztetést. Már a növények nagyobb testrészei, különösen a nagyobb testű növények, pl. a fák különböző, különösen a levelektől távolabb eső részei nem elégedhetnek meg csupán a levelek levegőnyílásainak közvetítésével, hanem másnemű közvetítést igényelnek. Ilyen külön közvetítést e növényeknél csakugyan találunk is; erre már csak azért is szükség van, mert a levegőnyílásokat felhasználó párolgás és asszimilálás a növény életében nem folytonos. Hiszen láttuk, hogy a párolgás hosszabb-rövidebb időre korlátozódhat is, sőt az asszimilálás az éjszakának megfelelően, vagy a mi éghajlatunk alatt télnek idején, szünetel is. Ellenben a lélekzés szünet nélkül, folytonosan tart az élő növényen.

Ez az oka annak, hogy a növény testének egyes részei a levegőnyílásokon kívül másnemű szellőztető utakat fejlesztettek. Különösen a rendes fejlettségű növények gyökerei nem érik be csupán a tőlük távolabb eső levegőnyílások közvetítésével, hanem külső sejtjeiknek vékony falán át is szellőződnek, sőt a talaj üregeiből a levegőt, illetőleg az oxigént még vékonyfalú szőrszálaikkal is felveszik, kiválasztva a széndioxydot.

Ilyen módon pedig jelentékeny mennyiségű a levegőcsere, amit az is bizonyít, hogy a nagyon tömött, levegőt tartalmazó hézagokkal nem bíró talajban a növények tenyésztése nem kielégítő, annyira, hogy az ilyen talajokban a növények a legtöbb esetben csak tengődnek. Már ez is eléggé bizonyítja azt, mennyire szükséges tenyésztett növényeinknek talaját a művelés által meglazítani, szellőztetni, hogy a talajnak meg legyen a kellő levegőtartalma.



Vannak azonban talajok, amelyekből a levegőt a víz kiszorította; ezek a nedves, vizes, helyesebben mondva mocsaras talajok. Az ilyen talajokban a gyökerek a szükséges oxigénre nem tudnak szert tenni és más módon kell arról gondoskodniok, ha meg akarnak élni. A kísérletek és tapasztalatok bizonyítják, hogy az ilyen talajon élő növények gyökerei sajátságos tulajdonsággal bírnak. Nevezetesen, ha nagyon vizes talajban vagy vizes kultúrában a fűzfa vagy a cukornád dugványait hosszabb időn át tenyésztjük, anélkül, hogy talajuk szellőzéséről gondoskodnánk, azt fogjuk észrevenni, hogy a növény egyes gyökérágai, rendes viselkedésüktől eltérően, növekedésükben a víz színe felé iparkodnak, vagyis negatív geotropizmust mutatnak, valószínűleg a levegő után való törekvésüknél fogva, amiért a jelenség maga pozitív aerotropizmus-nak is tekinthető. Hasonló jelenséget látunk a vízben tenyésztett némely *Pandanus*-faj gyökérzetén, amelynek gyökérágai nagy számmal nőnek a víz felülete felé, sőt abból csúcsaikkal kevéssé ki is emelkednek, megszerezve a szükséges oxigént.

Az ilyen mocsaras termőhelyeken rendszeren tenyésző növények nemcsak kivételesen fejlesztenek ilyen, a szellőztetést szolgáló gyökérágakat, amelyek a vízből, vagy a vizes talajból meglehetősen ki is emelkednek. Sőt ezekkel kapcsolatban az ilyen növényekben a víz alá merült növények módjára, még nagy sejtközzötti járatokkal, vagy üregekkel bíró parenchymaszövetet is találunk, amelyet *aerenchyma*-nak vagy levegős szövetnek nevezünk; ilyen *aerenchyma* képződik a szellőzést szolgáló negatív geotropizmussal növekedő gyökerekben. Az ilyen gyökereket külön névvel is megkülönböztetik, ugyanis ezeket lélekző gyökereknek (*pneumatofora*) nevezik, amelyek megfelelő szerkezetű és nagyságú nyílásokkal (*pneumatódok*) veszik fel a levegőt és *aerenchyma*s szöveteik segítségével a gyökérzetnek a mocsaras talajba merült részeihez vezetik. Ilyen jól kifejlődött lélekző gyökereket találunk az északamerikai mocsaras talajon tenyésző *Taxodium*-fákon és még inkább a földünk forró övének Mongrove mocsaraiban tenyésző fákon (pl. *Sonneratia*, *Avicennia*, *Laguncularia*), amelyeknek *pneumatódjai* is tekintélyes nagyságra növekednek. (l. 91. kép). Különösen jól kifejlődött *aerenchyma*t találunk a vízben



élő *Jussieua* -fajokon, amelyeknek szárából sajátos fehér színűkel feltűnő lélekzőgyökerek erednek (l. 92. kép).

A fás növények levegőcseréjét biztosítják elsősorban a levelek, a mi éghajlatunk alatt azonban fáink nagy része ősszel lehullatja leveleit, tehát a levegőcserének fenntartásáról nem



91. kép.

Az *Avicennia* gyökerén nőtt pneumatoforák függőlegesen felfelé növekedtek. A pneumatódok apró szemölcsök alakjában láthatók.  
Constantin után.



92. kép.

A *Jussieua repens*: *v* úszó, illetőleg lélekző gyökerek, *aa* rendes szőrszál nélküli, *bb* szőrszállal borított gyökerek.  
Martius után.

gondoskodhatnak. A lehulló levelek helyén a levélripacson pararéteg képződik, úgyhogy a fás növények törzse, ágai most teljesen el volnának zárva. Ámde ez mégsem következik be, mert a fás növények a télen át is szakadatlanul folyó lélekzés biztosítására az elpusztult epidermiszüket pótoló és helyettesítő ké-



regparájukon (periderma) megfelelő lélekzőnyílásokat (pneumatódok) viselnek, amelyeket már De C a n d o l l e lenticelláknak (paraszemölcsöknek) nevezett.

*A lélekzést módosító külső körülmények.*

A lélekzés hányadosát — amint előbb láttuk — módosítják már a lélekzés anyagául szolgáló vegyületek is. A lélekzés mértékét azonban módosíthatják még a külső körülmények is, vagyis a lélekzés erőssége függ úgy a növény belső sajátságaitól, mint a növény környezetének sajátságaitól. Ez az oka annak, hogy különben egyenlő külső körülmények között is a különböző fajok lélekzésének erőssége különböző és hogy ugyanazon faj különböző fejlődési állapotában, sőt különböző részein is különböző lehet. Általában azt mondhatjuk, hogy már az előbb említett tulajdonságokon kívül annak a növénynek a lélekzése élénkebb, amelynek szellőztető rendszere jól kialakult, ellenben ahol ez kisebb mértékű, ott a lélekzés erőssége is kisebb, amint ezt pl. a húsos és a bőrlevelű növényeken tapasztalhatjuk (*Aspidistra*).

A fiatal, még fejlődésben lévő növényrészek lélekzése is erőteljesebb, de különösen a rügyek fakadásakor fejlődő hajtások, nyíló virágok, fiatal éredő termések, csirázó magvak lélekzése felette élénk. Jól kialakult, befejezett fejlődésű növényrészek lélekzése már kisebb mértékű, még kisebb és alig észrevehető azoknak a részeknek a lélekzése, amelyek nyugalomban vannak, pl. a gumók, gyökértörzsek, érett magvak lélekzése.

A következő oldalon lévő táblázat W a r m i n g - J o h a n n s e n munkájából a különböző növényrészek lélekzésének mértékét tünteti fel.

A lélekzés mértékét módosító külső körülmények közül különösen a hőmérséklet, a nedvesség, a fény és a levegő O-tartalma fontosak.

A hőmérsékletnek a lélekzésre gyakorolt hatását tünteti fel a 93. kép. A hőmérsékletnek a lélekzésre gyakorolt hatása már eléggé ismeretes. Így tudjuk, hogy 0—25° C között a lélekzés intenzitása a V a n't H o f f-féle ismert energetikai törvény szerint változik, vagyis minden 10° C-os emelkedésnek a folyamat



kétszeres gyorsulása felel meg. 30—40° C között azonban a lélekzés intenzitása csökken, azért, mert a hőmérséklet emelkedése fokozatosan a növény többi normális életfolyamatait károsítja és ezáltal természetesen az asszimiláció lefolyása is zavarva lesz és így kevesebb szénhydrát képződhetik.

A hőmérséklet hatásában megkülönböztethetünk egy minimumot és számos kutató szerint egy maximumot, éppen úgy, mint az asszimilálásnál, bár sokan azt tartják, hogy a lélekzés-

A felsorolt növények élő súlyának egy kilogrammjára jut :	Hőmérséklet	Óránként kiválasztott széndioxid milligrammokban	Óránként felvett oxigén milligrammokban	Lélekzési hányados $\text{CO}_2 : \text{O}_2$
Búza, 8 napos (a lélekzésnél cukor használódik el) . . . . .	17°	378	286	0.96
Fiatal máktokok (a lélekzésnél zsír képződik) . . . . .	20°	446	214	1.51
Kender csiranövények (a lélekzésnél zsír használódik el) . . . . .	17°	497	660	0.55
Oleanderlevelek sötétben . . . . .	18°	226	177	0.93
Csiperkegomba ( <i>Agaricus campestris</i> ) . . . . .	20°	334	439	0.55
Májusi gyöngyvirág rizómája (a lélekzésnél cukor használódik el) . . . . .	17°	33	24	1.00
Burgonyagumók (a lélekzésnél cukor használódik el) . . . . .	20°	7—10	5—8	1.00

nek a hőmérséklet által való korlátozódása azon a fokon következik be, amely már a növény minden élettevékenységére károsan hat. Ha tehát a külső hőmérséklet annyira alásüllyed, hogy a növény vizes oldatai megfagynak, akkor a lélekzés elmarad, de azért Jumelle szerint a zuzmók még —10° C hőmérsékleten is lélekzenek. Az olyan magas hőmérsékleten, amely a növényre halálos, a lélekzés szintén elmarad. E két határ között a hőmérséklet emelkedésével a lélekzés élénksége is gyarapodik és pedig olyképen, hogy a lélekzés erőssége aránylag gyorsabban emelkedik, mint a hőmérséklet. Rischawinak csirázó árpával végzett kísérleteiben ugyanis óránként kivált



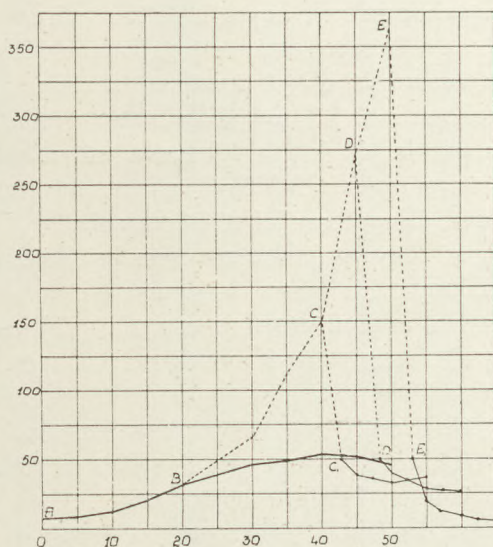
5°	10°	20°	30°	40° hőmérsékletben
33	53	125	220	376 mg. széndioxyd.

A lélekzés erőssége a maximális hőmérsékleten jelentékeny lehet, Clausen szerint a csirázó árpánál 11-szerese, a csirázó csillagfürtnél 16-szorosa a 0° C hőmérséklet melletti lélekzésnek; különben az előbbi számok is hasonlókat bizonyítanak.

Figyelembe vevendő a hőmérséklet jelentékeny változásának a hatása is. Ha 20° C hőmérsékletéről a növényt 0–4° C, tehát alacsony hőmérsékletű helyre állítjuk, akkor a lélekzés azonnal erősen csökken, majd később kissé emelkedik. Ha az ilyen módon lehűtött növényt ismét az előbbi hőmérsékletű térbe állítjuk, akkor lélekzése élénkebb lesz. A lélekzésre ható

külső hatások vizsgálatában tehát figyelniünk kell nemcsak a kísérlet tartamára, hanem a növénynek a kísérlet előtti állapotára is.

A hőmérsékletnek a lélekzésre való hatása adja meg a magyarázatát annak, miért kell azokat a növényrészeket hűvösen tartani, amelyeket hosszabb időn át frissen és lehetőleg kevés anyag elpusztulásával kell megőrizni. Ezek után megértjük, miért tartják virágárusaink lemetszett virágaikat jégszekrényben és miért őrzik meg a piacra szánt növényi élelmiszereket hűtőkamrákban.



93. kép.

A hőmérséklet hatása a lélekzésre. A, B, C, D, E a lélekzés tulajdonképeni lefolyása, C<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>, E<sub>1</sub> az elméleti lefolyása. C<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>, E<sub>1</sub>-től lefelé eső kis görbék a lélekzés intenzitásának esését mutatják 42, 48 és 53 C°-nál. Kuiper után.



A víz a lélekzést különösen annyiban módosítja, amennyiben a növény életének fenntartásához nélkülözhetetlenül szükséges; mihelyt tehát a növények víztartalma annyira csökken, hogy a növény élettevékenységét korlátozza, a lélekzés élénksége is alább száll. A vízben szükölködő, vagy száraz növény keveset, vagy alig lélekzik, egészen kiszáradva pedig teljesen nyugalomra jut, mint a száradást eltűrő mohok, zuzmók, száraz magvak, amelyek anyagforgalma száraz állapotban teljesen szünetel. A levegőn szárított gabonaneműek termése mégis fejleszt nagyon kevés, alig észrevehető széndioxydot, amely a nagy rakományokban már jól megállapítható. Amint említettük, nagyon kevés víz is élénkíti a lélekzést, sőt alkalmat ad penészgombák fejlődésére is. Ez okból a szemtermést és a szénát csak jó száraz állapotban lehet megőrizni.

A fény a lélekzésre nem hat közvetlenül és szerepe még ezidőszerint nincsen teljesen tisztázva. Valószínűleg azért, hogy az aszimilációt fokozza, nagyobb mennyiségű szénhydrátot fog a növény előállítani és ezért természetesen a lélekzés is intenzívebbé válik.

A levegőben levő ártalmatlan gázok sem módosítják a lélekzést, sőt a nitrogénnel nagyobb mértékben hígított oxigénben is rendesen folyik a lélekzés. A levegő O-tartalma csak abban az esetben hat a lélekzésre, ha ennek mennyisége 2% alá csökken, ilyenkor a lélekzés intenzitása erősen alászáll. Ezzel szemben az O-tartalom emelkedése különös érezhető hatást nem gyakorol. Tiszta oxigénben a növények épen úgy lélekzenek, mint a normális levegőben, azonban, ha az O-nyomás 2—3 atmoszférával emelkedett, abban az esetben káros jelenségek lépnek fel és további fokozásnál a lélekzés abnormális intenzitása következtében beáll a halál.

A levegő kevés széndioxydtartalma sem hat a lélekzésre, ellenben ha a levegő széndioxydtartalma gyarapodik, akkor pl. a zárt térbe, sötétbe állított zöld növények lélekzésének erőssége csökken. A lélekzés erőssége azonban csak a rendes levegőnyomás mellett közönyös ennyire a levegő gázai iránt. Bert kimutatta, hogy az oxigén nyomása határozza meg a levegő hatását pl.  $\frac{1}{5}$  atmoszféra nyomású tiszta oxigén úgy viselkedik, mint a rendes nyomású levegő és közönséges öt



atmoszférás levegő úgy hat, mint a tiszta oxigén, vagyis megöli a növényt. Az élet megszűnésének okát azonban nem ismerjük.

A lélekzésre serkentően hatnak kis mennyiségben a mérgek is (pl. formalaldehyd, rézsulfát) amelyeknek a növekedésre való kedvező hatása talán éppen ennek köszönhető. Azok az anyagok, amelyek kis mennyiségben serkentő hatásúak, nagyobb tömötséggű oldatokban a lélekzésre már korlátozóan hatnak.

A tartaléktáplálékban szűkölködő fiatal növényrészek lélekzése csakhamar csökken és lassan megszűnik, úgy látszik: az anyag hiányában. A növény megsérülése élénkíti a lélekzést, a sebek behegedése után ismét bekövetkezik a rendes állapot.

#### *A lélekzés és a hőfejlődés.*

A lélekzést bizonyító jelenségek sorából eddig még csak az oxigénfelvételt és a vele kapcsolatos széndioxydleadásra mutattunk rá. A lélekzésnek van azonban még egy olyan jelensége, amely a közvetlen megfigyelésre csak ritkább esetekben alkalmas, ez pedig a lélekző növények felmelegedése. A lélekzést az előzőekben égésként jelöltük meg; az égés pedig általában hőfejlődéssel jár, hő fog fejlődni tehát a növényekben is. Ez azonban nem figyelhető meg egykönnyen bármely növényrészen.

A növény teste ugyanis általában az őt környező levegő hőmérsékletével azonos hőmérsékletű. A növény néha meleget ad le, máskor meleget vesz fel és nem képes testének a melegvérű állatok módjára, állandó, a külvilágtól független hőmérsékletet biztosítani. A növény hőmérséklete a környezetének hőmérséklete alá is süllyedhet, a nagymértékű kisugárzás és párolgás folytán, aminek következtében a friss zöld leveleket megtapintásukkor hűvösnek érezzük.

Ha a növény testének a lélekzés következtében való felmelegedését észrevehetővé akarjuk tenni, akkor éppen a hőkisugárzást és a párolgást kell megakadályoznunk, sőt a hőelvezetés megszüntetéséről is gondoskodnunk kell. Ha ezek egyikét, pl. a párolgást megakadályozzuk, máris a különben a levegővel megegyező hőmérsékletű növényi rész hőmérsékletének



emelkedését vehetjük észre. Még inkább észrevehetővé tesszük a hőfejlődést, ha erősen lélekző növényrészekkel kísérletezünk, aminők a csírázó magvak, fakadó rügyek, fakadó bimbók pl. a fészkes virágzatokon.

Természetesen a hőmérséklet emelkedése még mindig nagyon kicsiny lesz, ha a felsoroltakat egyenként figyeljük meg, sőt a közönséges hőmérőkkel nem is állapítható meg és legfeljebb a termoelektromos módszer segítségével mutatható ki. Ámde, ha a nevezett növényrészeket felhalmozzuk, megakadályozva lehűlésüket, párolgásukat és kisugárzásukat, akkor az egyesek hőfejlődésének összegezése folytán tekintélyes mennyiségű hőfejlődés mutatkozik.

Így jelentékeny a hőemelkedés ott, ahol a csírázó magvak nagy tömegben vannak felhalmozva, pl. a malátagyárakban, amelyekben a csírázó árpa hőmérséklete gyakran 6, sőt 10° C-al magasabb környezeténél, pedig a párolgás és kisugárzás folytán még sok meleg vész el.

A legjelentékenyebb hőmérséklet emelkedést tapasztalhatjuk a régi idő óta ismeretes kontyvirágfélék (*Aroideae*) virágzatát körülfogó buroklevélen belül. Pl. vágjuk le a minálunk is honos, foltos kontyvirágnak (*Arum maculatum* L.) éppen felnyíló buroklevelű virágzatát, állítsuk vízbe és süllyesszük a hőmérő gombját a buroklevél által körülfogott üreg fenkére, az egészet pedig fogjuk körül gyapottal, a kisugárzás és a párolgás megakasztása végett. Ellenőrzésül egy másik hőmérőt burkolhatunk be gyapotba a levegő hőmérsékletének a mérésére.

A készülék összeállítása után négy órával, május 19-én, azt találta *Schleichert*, hogy a levegő hőmérséklete 18°10' C, ellenben a kontyvirág burkán belül a hőmérséklet 26°60' C-ra emelkedett. Ez az emelkedés már tekintélyes, de nagyobb virágzatú kontyvirágfélék virágzatában *Mágo*csy még nagyobb emelkedést tapasztalt: pl. a *Sauromatum guttatum* virágzatában 8—10, az *Amorphophallus Rivieri* virágzatában pedig még 15 fokkal is nagyobb volt a hőmérséklet a környező levegő hőmérsékleténél.

Különben erről a hőmérsékletről a virágba, vagy a virágzatba egyszerűen belehelyezett hőmérővel, a szabadban is meg-



győződhetünk. Pl. a napraforgó fejlődő és nyíló virágzatának a hőmérséklete  $19.5^{\circ}\text{C}$ , a levegőé pedig  $21^{\circ}\text{C}$  volt.

Az egyetemi növénykerti *Victoria regia* hatalmas virágának kelyhében a hőmérséklet  $14^{\circ}\text{C}$ -al volt magasabb, mint a meleg akvárium ( $28\text{--}31^{\circ}\text{C}$ ) levegőjének hőmérséklete.

Molisch legújabb vizsgálatai szerint az élő, frissen leszakított levelek is képesek a lélekzés következtében erősen felmelegedni, kivált ha nagyobb (3—5 kg-nyi) tömegben halmozódnak fel és gondoskodás történik a párolgás és kisugárzás korlátozásáról. A felmelegedés igen jelentékeny, sőt az élet felső hőmérsékleti határát is eléri, amit Molisch kísérleti eredményeinek következő táblázata bizonyít:

A növény neve	A levegő hőmérséklete $^{\circ}\text{C}$	A levelek hőmérsék- letének maximuma $^{\circ}\text{C}$	A hőemelkedés bekövetkezé- sének ideje órákban
Vadkörte . . . . .	15	59	27
Közönséges gyertyán .	23	51.5	15
Fehér ákác . . . . .	24	51	13
Hársfa . . . . .	18	50.8	27.5
Pompás diófa . . . . .	15	49.7	43.5
Kecskefűz . . . . .	15	47.1	22
Aranyeső zanót . . . .	18	45.6	18.5
Bortermő szőlő . . . .	17	43.3	28

Ezt a hőemelkedést nem minden növény levele mutatja; általában számos egyszikű, továbbá örökzöld növény levelei, a lemetzés után is sokáig épen maradó levelek csak nagyon kevésbé melegednek fel. A felmelegedés a lélekzés következménye és nem esetleg a baktériumok munkája, amit az is bizonyít, hogy a levelek a legmagasabb hőmérséklet elérése előtt még frissek, élők és vízre téve még napokig tenyésznek. A lélekzés hatását bizonyítja az is, hogy a levelek víz alatt tartva jóval alacsonyabb hőmérsékleten halnak el, mint a levegőben, mert a vízben



a lélekzés meg lévén akadályozva, az élet már sokkal alacsonyabb hőmérsékleten megszűnik.

A sérülések előidézte élénkebb lélekzéssel hevesebb melegfejlődés is jár. Ez a sebesüléssel járó hőemelkedés, az ú. n. sebláz (Böhm), azonban nem a levegőnek a sejtekkel való nagyobb mértékű érintkezése folytán jön létre, mert hiszen a seb betapasztásakor is megmarad, hanem a hegesztő szövetek gyorsabb képződésének a következménye.

A lélekzés folytán bekövetkező hőmérséklet emelkedéséről a leírt mérések által meggyőződhetünk, de a hő mennyiségéről magáról csak pontos kalorimetrikus eljárások adhatnak felvilágosítást. Ilyen módon sikerült Bonnier-nek kideríteni, hogy 1 kg csirázó mag percenként 20—50, sőt 100 kalóriát is fejleszt. Ezek a számok is azt bizonyítják, hogy a növények lélekzésekor tekintélyes mennyiségű hő szabadul fel és hogy ebben a tekintetben az állatok és növények között nincs különbség.

#### *Az intramolekuláris lélekzés.*

Az oxigén felvétele nélkül való széndioxyd kilehelést intramolekuláris lélekzés-nek nevezik, amely rendkívül hasonlít az erjedési folyamatokhoz és tulajdonképen a nem valódi erjedések közé kell sorolni.

Erről már sokszor a közéletben is meggyőződhetünk, ha tömeges növényi szöveteket figyelünk meg, amelyek szellőzése tökéletlen. Pl. a dúsnedvű gyümölcsök érédsük utolsó szakában általában gyenge alkoholképzést mutatnak (veresszilva).

Az intramolekuláris lélekzéskor a keletkezett széndioxyd  $\frac{1}{3}$ — $\frac{2}{3}$ -a a rendes lélekzéskor keletkező mennyiségnek. De vannak erre pontosabb adataink is. Pl. a fehér mustár egészen fiatal csiranövénye 18%-al, a búzáé 50%-al, a lóbükkönyé 150%-al kevesebb széndioxydot fejleszt ugyanazon hőmérsékleten a rendes lélekzéskor kiválasztott széndioxyd mennyiségénél.

Egy molekula cukor az intramolekuláris lélekzéskor csak két molekula széndioxydot fejleszt, ellenben lélekzéskor hat molekula képződik, minél fogva az oxigén hiányában képződő széndioxyd harmadrésze a rendes lélekzéskor keletkező mennyi-



ségnek, tehát ugyanazon széndioxydmennyiség előállítása oxygén nélkül csak nagyobb mennyiségű anyag felhasználása folytán lehetséges.

Az intramolekuláris lélekzéskor keletkező alkohol nagyon jelentékeny lehet, pl. a borsó csiranövénykéiben a száraz súlynak 5%-a, a borsó termésében 2—3%-a.

Az intramolekuláris lélekzés azonban nemcsak akkor következik be, ha a növény egészen oxygén híjával van, hanem bekövetkezik akkor is, ha a rendes lélekzéskor a növény nem rendelkezik elegendő oxygénnel.

A növények nem bírják ki egyenlő mértékben az intramolekuláris lélekzést. A lóbükköny csirája órák hosszat éppen annyi széndioxydot lehel ki, mint rendes lélekzéskor. Általában minél inkább bővelkednek cukorban a növények, annál inkább képesek a levegő szabad oxygénjét nélkülözni. A hőmérséklet emelkedésével az anyagcsere élénksége növekedik és ezáltal az intramolekuláris lélekzés erőssége is, de annál gyorsabban is megy tönkre a növény az oxygén hiányában. Az alacsonyabbrendű növények, különösen a gombák és a baktériumok, természetesen sokkal inkább vannak képesítve az O-nélküli életmódra úgyhogy ezeket O-el élő a e r o b vagy O nélkül is élő a n a e r o b szervezetekre osztjuk. Ezek az a e r o b és a n a e r o b szervezetek rendszerint már szaprofita életmódot folytatnak; az a n a e r o b élő szervezetek azonban már életműködésük folyamán az erjedések különböző folyamatait idézik elő. Vannak közöttük olyanok is, amelyek levegőben és levegő nélkül is egyaránt meg tudnak élni. Ezeket fakultatív a n a e r o b o k -nak nevezik. Amelyek pedig csak O-hiány mellett növekednek, azok az obligát a n a e r o b o k. Egy tipikus, feltétlenül O-hiányt követelő ú. n. obligát a n a e r o b baktérium a *Clostridium Pasteurianum*.

Az oxygén nélküli élet rendesen különleges táplálékokhoz, pl. redukálható testekhez (cukor) van kötve és ebben bizonyos átmenet tűnik ki a fakultatív a n a e r o b o k anyagcséréje és a magasabbrendű növények intramolekuláris lélekzése között.



### A $H_2$ , a $H_2S$ , a $CH_4$ és a $NH_3$ oxydációja autotrofi baktériumok által.

Míg a baktériumok túlnyomó része parazita, vagy szaprofita életmódot folytat, addig — amint az újabb kutatások kiderítették — a baktériumok jelentékeny része, különösen azok közül, amelyek a vízben és a talajban élnek, azt a hőenergiát, amely az asszimilációhoz szükséges és amelyet a zöld növények a chlorophyll segítségével a nap hőkisugárzásából nyerik, különböző szerves anyagok oxydációjával, illetőleg elégetésével is meg tudják szerezni. Ezek közül a baktériumok közül nagyon sokkal már „a talaj biológiája” című fejezetben behatóan foglalkoztunk. Így nevezetesen részletesen foglalkoztunk a nitrifikáló baktériumokkal. Ezek a nitrifikáló baktériumok a legjellemzőbb képviselői azoknak a szervezeteknek, amelyek szerves anyagok elégetésével az asszimilációhoz szükséges hőenergiát előállítani képesek. Winogradsky vizsgálatai szerint 1 mg szervesen kötött szén megkötéséhez 35.4 mg N elégetése szükséges. Az újabb vizsgálatok még tökéletesebbek, úgyhogy pl. Mayerhof-nak sikerült 1 g  $CO_2$  asszimilációját 135 g oxydált N-el elérni.

Ezek a szervezetek tehát a levegő  $CO_2$ -jéből a fény hozzájárulása nélkül állandó sötétségben is képesek szerves anyagikat felépíteni. Sőt — amint Winogradsky és Omeliansky vizsgálatai mutatják — ezek annyira kizárólagosan autotrof baktériumok, hogy a táplálóoldataikban nekik nyújtott szénhydráttartalmú táplálóanyagok működésüket egyenesen megakadályozzák. Különösen érzékenyek ebből a szempontból a nitrít szervezetek.

Hasonlóképen részletesen szólottunk a kénbaktériumok munkájáról, amelyek a  $H_2S$  oxydációjával nyerik az autotrof működésükhöz szükséges hőenergiát. Ugyancsak ezekkel kapcsolatosan részletesen szólottunk a vasbaktériumok munkájáról is. Ezeknek kémiai mechanizmusa azonban — amint ugyanott már hangsúlyoztuk — még nincsen teljesen megvizsgálva és felderítve. Valószínű lefolyását a fejezet végén közöljük.

Itt most még röviden szólnunk kell a metán baktériumok munkájáról, amelyeknek egyik legjellemzőbb képviselője a Bac.



*methanicus*. Ennek a munkája főleg arra irányul, hogy a cellulóz már ismertetett erjedésénél felszabaduló methant oxydálja.

Van azután egy baktériumfajta, a *Bac. pantotrophus*, amely a H-t képes elégetni vízzé, sőt — amint *Ruhland* vizsgálatai mutatják — más baktériumok, így pl. a *Bac. pycnoticus* is képes arra, hogy a H molekulák elégetésével felszabaduló hőenergiát autotrof életfolyamatainál felhasználja. Ezeknek a baktériumoknak asszimilációs működésükhöz a vas jelenléte feltétlenül szükséges, amely itt úgylátszik egy kémiai akceptor szerepét játszsa.

Azonkívül meg kell még említenünk, hogy vannak adatok arra vonatkozólag, hogy egyes baktériumfajták, mint pl. a *Bac. oligocarbophilus* a szénmonoxydot is képes széndioxyddá elégetni energianyerés céljából.

Ezeknek a folyamatoknak energianyerését a következő egyenletek mutatják:

1.  $\text{KNO}_2 + \text{O} = \text{KNO}_3 (+ 22 \text{ kal.})$
2.  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + 3\text{O}_2 = 2\text{HNO}_2 + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} (+ 148 \text{ kal.})$
3.  $\text{H}_2\text{S} + \text{O} = \text{H}_2\text{O} + \text{S} (+ 62 \text{ kal.})$
4.  $4\text{FeCO}_3 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 2\text{Fe}_2(\text{OH})_6 + 4\text{CO}_2 (+ 58 \text{ kal.})$
5.  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} (+ 220 \text{ kal.})$
6.  $\text{H}_2 + \text{O} = \text{H}_2\text{O} (+ 69 \text{ kal.})$
7.  $\text{CO} + \text{O} = \text{CO}_2 (+ 74 \text{ kal.})$

## A heterotrof növények táplálkozása.

### A szaprofiták.

#### A rendes táplálkozású növények.

A növények táplálkozásának eddigi tárgyalása során mindig szem előtt tartottuk a zöld növények nagy seregének zömét, amely gyökereivel a talajból szedi magába az oldott szerves anyagokat, leveleivel pedig a széndioxydot veszi fel és mindezekből chlorophylltartalmánál fogva szerves vegyületeket alakít. A szerves vegyületek megalakításához a növény bizonyos tulajdonságai szükségesek, amelyek közül különös jelentőségű a gyökérzetnek tekintélyes fejlettsége, továbbá a zöld részeknek lehetőleg nagy felületre való kiterjeszkedése, hogy a növény egyrészt a



párolgás kellő mértékét elérhesse, másrészt, hogy a szerves anyag alakításához szükséges fényt minél nagyobb mértékben nyelhesse el.

A táplálkozásnak ezt a módját — tekintettel ezen táplálkozás eredményének nagy fontosságára és az ilyen módon táplálkozó növények túlnyomó nagy többségére — a növények *rendes táplálkozásának* nevezhetjük.

A táplálkozásnak ezen a módján nem változtat sem a növények alakbeli eltérése (pl. a vízinövények, különösen moszatok alakbeli változatossága), sem pedig a növényegyedek különböző élettartama. Akár valamely egészen apró, a talajból alig kiemelkedő kis növényt, a tavaszi daravirágot (*Draba verna*) szemlélünk meg, amelynek élete alig terjed néhány hétre, akár pedig a hatalmas termetű és jelentős (40—50 m-nyi) magasságot elérő százados tölgyfát, mind valamennyien *rendes úton* táplálkoznak, ha az előbbiekben kiemelt tulajdonságokkal, a zöld festékanyagot tartalmazó nagy felülettel bírnak.

#### *Az autotrof növények.*

Az eddigiekben mindig olyan növények táplálkozásával foglalkoztunk, amelyek képesek a talajból és a levegőből szerves vegyületeket készíteni chlorophylljük segítségével, vagyis az ún. *rendes táplálkozással* élnek, bármennyire is kénytelenek alkalmazkodni a termőhelyi viszonyokhoz, amint azt az iszalag és fánlakó növényeken tapasztalhatjuk. Az ilyen chlorophylltartalmu növények tehát a szerves vegyületeket képesek maguk készíteni, azért is viselik az *autotrof növény* vagy *autofita* elnevezést.

Az autotrof növények bőven tartalmaznak chlorophyllszemecskéket és általában nem szükségelnek szerves táplálóanyagokra. Sok esetben mégis képesek szerves anyagokat felhasználni és ez által bujábban tenyészni. Hiszen láttuk az eddigiek folyamán, hogy keményítőjüktől megfosztott, levágott zöld levelek sötétben képesek cukor- vagy glicerindatban keményítőt készíteni chlorophyll szemecskéikben. Kétségtelenül képesek erre a zöld hajtások és a zöld gyökerek is.

Ha a zöld növények tudják is asszimilálni a felvett szerves



vegyületeket, ez rájuk nézve nem nagyjelentőségű, már csak azért sem, mert a termőtalajban igen kevés erre alkalmas szerves vegyület van; a szerves anyagok ugyanis a talajban — amint láttuk — igen gyorsan szétesnek egyszerű szervetlen vegyületekre.

Különben kísérletekkel is igazolták — amint azt az előzőekben is bizonyítottuk — azt, hogy a zöld növények hosszabb időn át nem képesek tenyészni, ha a levegőben nincs széndioxid, sőt még akkor sem, ha a növények jó, humuszos talajban tenyésznek. És éppen ez jellemző az autotrof növényekre nézve, hogy nekik a szerves vegyületek nem szolgálhatnak állandó szénforrással.

Az autotrof növények azonban a nitrogént már felveszik a szerves vegyületből. A vizes oldatokban való tenyésztéssel bebizonyították, hogy a zöld növények pl. az asparagint, a glykollt, a leucint, a tyrozint és a carbamidot, tehát az amidok körébe tartozó vegyületeket felvehetik, ellenben a fehérjenemű testeket, alkaloidákat, ciánvegyületeket nem tudják értékesíteni. És mégis ezek az asszimilálható, nitrogéntartalmú vegyületek általában nem bírnak jelentőséggel a zöld növények táplálkozásában, mert e növények — amint az előzőekben láttuk — egészen más nitrogénvegyületeket használnak fel. Mégsem lehet tagadni, hogy a virágos növények sorában vannak autotrof növények, amelyek minden valószínűség szerint rendszeresen vesznek fel szerves vegyületeket, pl. a már említett epilíták sorában a ciszternás *Bromelia cecae*, amelyeknek vízgyűjtőjébe kétségen kívül szerves vegyületek is bejutnak. Alighanem a táplálkozásra szükséges szerves vegyületek az okai annak is, hogy némely autotrof virágos növényt nem tudunk a termőtalajban tenyészteni, mint aminő pl. a körtike (*Pirrola*) és több kosborféle stb. Ezek az erdő humuszos talaján érik jól magukat és ott tenyésznek szépen, de még ezek is az életfolyamatokhoz szükséges szén a levegő széndioxidjából szerzik be.

#### *A heterotrof növények.*

A növények egy része — amint az előzőkből is kitűnik — az autotrof növényektől abban tér el, hogy a szervetlen, vagyis



nyers táplálékból nem képes önállóan szerves vegyületet készíteni, tehát nem tud a széndioxydból szénhydrátot alkotni, sőt sok esetben még arra sem képes, hogy a nitrát- vagy ammonia-vegyületekből fehérjevegyületeket készítsen. Ezeknek a képességeknek a híjával rászorulnak táplálkozásukban a szerves vegyületekre, azokra a szerves vegyületekre, amelyeket más növények munkája termelt. Éppen azért ezeket a többnyire nem zöld színű, tehát a chlorophyllt nélkülöző növényeket az autotroffokkal szemben a mások útján táplálkozóknak, heterotrof növényeknek, vagy heterofiták-nak (allotrof-oknak) mondják.

Az autotrof és heterotrof növények közt e szerint éles különbség, nagy ellentét volna, amelyről látszólag könnyű meggyőződni, hiszen a chlorophyll jelenlétét könnyű megállapítani. A valóságban azonban ez nincs úgy, amint az már az autotrof növények ismertetéséből is kitűnik.

De még inkább eltűnik ez a nagy ellentét, ha magát a fejlett virágos növény életét figyeljük meg. Nevezetesen a növények rendes táplálkozásában két egymástól eltérő szakaszt figyelhetünk meg: azt, amellyel az előzőekben foglalkoztunk, és amelyet általában rendesnek nevezünk.

Ezt megelőzőleg azonban a fiatal kis növényke, a csira (embrió) a magban és a csirázáskor növekedik és új szerveket fejleszt, amelyekhez a táplálékot a magot fejlesztő növény által a magfehérjében meggyűjtött szerves tartalékból veszi. A csira-növényke tehát mindaddig, amíg meg nem zöldül és amíg gyökerei a talajból nem képesek a szervetlen táplálékot maguk felszedni, a magfehérje szerves anyagából táplálkozik, úgyhogy ilyenformán az autotrof zöld növények is bizonyos ideig szerves anyagból táplálkoznak. Különben még a teljesen kifejlődött autotrof növénynek is csak bizonyos sejtjei, a chlorophyll-tartalmú sejtjei képesek szénhydrátokat készíteni, amellyel azután ellátják a növény testének többi chlorophylltalan sejtjeit, mint aminők a földbeli részek, a növekedő fiatal részek stb. Ezek tehát az előbbiekkel szemben heterotrofok.

Az autotrof növények — amint láttuk — csak világosságon, szervetlen táplálékanyagokból képesek megélni és még idáig nem sikerült magasabbrendű növényt sötétben szerves vegyüle-



tekkel növekedésre bírni, ellenben a heterotrof növények csak szerves vegyületből táplálkozhatnak, tehát a fényre nincs is szükségük. Az alsóbbrendű autotrofok sorából már többet sikerült bizonyos szerves vegyületekkel sötétben tenyészteni.

Az autotrof és heterotrof növények közötti nagy ellentét még inkább eltűnik, ha tekintetbe vesszük azokat a növényeket, amelyek elégtelen chlorophylljukkal nem tudnak elegendő mennyiségű szerves vegyületeket készíteni fotoszintézis útján, tehát szerves vegyületbeli szükségletüket később, nagyobb mértékben, más növények készítette szerves vegyületekből kell megszerezniök. Ezek a Pfeffer-től mixotrof-oknak nevezett növények átmenetet alkotnak a két csoport között.

Már az eddigiek is elegendőképpen tanúskodnak amellett, hogy a két eltérő csoportbeli növények táplálkozásában alapvető különbségek tulajdonképpen nincsenek, ámde a szerves táplálék mégis bizonyos sajátosságokat fejleszt ki, amelyeket a növények táplálkozása ismeretének teljessége kedvéért meg kell ismernünk.

Mindenesetre valamely növény chlorophyll hiányából már heterotrof táplálkozásra fogunk következtetni, éppen úgy abból a jelenségből is, hogy a növényt valamely szerves vegyületben nagyon gazdag talajon találjuk, még akkor is, ha esetleg chlorophyllt is tartalmaz.

Az ilyen már elhalt szervezetekből, akár állatokból, akár növényekből származó szerves vegyületekkel táplálkozó heterotrof növényeket szaprofita (korhasztó) növényeknek nevezzük, amire magyarul, ha nem is teljesen megfelelően, de legalább a virágos szaprofitákra találóan, a „televénylakó” elnevezést használhatjuk. Ellenben azokat a heterotrof növényeket, amelyek élő állat vagy élő növény szerves vegyületekben bővelkedő testéből táplálkoznak, élősködő, parazita növényeknek nevezzük, amelyekhez csatlakoznak azután a húsevő (carnivora) növények.

Úgy a parazita, mint a szaprofita növények sorában vannak olyanok, amelyek nincsenek mindig ugyanazon táplálkozási módhoz kötve, hanem alkalom adtán autotrof módon is megélhetnek: ezek a fakultatív paraziták és fakulta-



tív szaprofiták szemben az obligátokkal, amelyek csak szaprofita vagy csak parazita módon tudnak megélni.

A heterotrof növények sorában a táplálkozás módját, vagy legalább a táplálóanyagokat még legjobban ismerjük a szaprofiták körében, amiért is elsősorban ezekkel foglalkozunk.

### *A virágtalan szaprofita növények.*

Az elhalt növények és állatok anyagából, tehát nem élő szerves vegyületekből táplálkozó szaprofita növények valamenynyien megegyeznek abban, hogy nélkülözik a chlorophyllt és éppen azért ezeket a valódi szaprofitákat Jostrom (1889) után holoszaprofiták-nak nevezik, megkülönböztetésül azoktól, amelyekben még van chlorophyll, a hemiszaprofiták-tól.

Ezek a hemiszaprofiták (félig-meddig televénylakók) tulajdonképpen zöld növények, amelyek csakis olyan termőhelyeken élnek, amelyekben bőségesen vannak meg a szerves vegyületek; ilyenek pl. a Flagellaták-hoz tartozó *Euglena viridis*, a zöldeskék moszatok, a *Splachnum* nevű moha, amely trágyán él. Valószínű, hogy a hemiszaprofiták szerves táplálék nélkül nem élhetnek meg, vagy legalább nem tenyésznek jól; bizonyára a nitrogént iparkodnak szerves vegyület alakjában megszerezni. A valódi szaprofiták, a holoszaprofiták teljesen chlorophylltalanok és a szén is szerves vegyület alakjában veszik fel. Idetartozik az alsóbbrendű növények nagy sokasága, nagyon sok baktérium, nagyon sok gomba, a nyálkatelepűek nagy része és néhány virágos növény.

Ezek sorában különösen a baktériumokkal és a penészgombákkal foglalkoztak legbehatóbban, úgyhogy ezeket ismerjük legjobban. Ezek különböző talajon meg tudnak élni, amint a legtöbb szaprofita, amiért is a szaprofiták táplálóanyagának ismertetésében, ezekkel kell foglalkoznunk.

Elsősorban is rámutatunk arra, hogy e növények a szerves vegyületeken kívül a hamualkotórészeket is megkívánják, amelyek jóformán azonosak az autotrof növények táplálására szükséges elemekkel és amelyekből még csekélyebb mennyiséget igényelnek. Hamualkotórészeik között szerepelnek különösen a kén,



a phosphor, a vas, a kálium, amely helyett a rubidium, vagy a caesium is szerepelhet, de nélkülözhetik a calciumot, amelyet a felsőbbrendű növények nem nélkülözhetnek. A szén forrásául szolgáló szerves vegyületek, illetőleg széntartalmú anyagok kikutatásában legcélszerűbb tenyészteti kísérleteket végezni, amelyekben *Aspergillus niger*-t, vagy *Penicillium glaucum*-ot használunk. Ezeknek megfelelő tenyésztéséből következtethetünk azután az illető anyagok megfelelő voltára. Az ilyen kísérletekből kiderült, hogy a penészgombák rendkívül sokféle szénvegyületből képesek táplálkozni és pedig szénhidrátokból, alkoholokból, szerves savakból, zsírokból, peptonokból, fehérjékből. A gombák ezekből a vegyületekből készítik azokat a vegyületeket, amelyeket a zöld növények a szénasszimiláláskor termelnek, és pedig elsősorban a cukrot. Ilyenformán tehát a gombák szénasszimilálásáról is lehet beszélni, amely után a további átalakulások következnek. A penészek azonban a felsorolt vegyületeket nem képesek egyformán asszimilálni és ebben a tekintetben azután eltérések mutatkoznak. A különböző vegyületeknek alkalmas volta vagy használhatósága nem csupán az illető növényfajtól függ, de az egyén korától, a talajt alkotó vegyület reakciójától is. Ebben a tekintetben különösen a gombák és a baktériumok között van nagy eltérés: a gombák kevésbé savanyú, a baktériumok kevésbé alkálikus oldatokat kedvelnek. A vegyület alkalmassága függ azután az oldat tömörségétől, továbbá a nitrogéntartalmú vegyületektől és végre a talaj hőmérsékletétől.

A közönséges penészek a legkülönbözőbb anyagokon is megélnek, a szó valódi értelmében *omnivorák* (mindenevők), amelyekről meg kell különböztetnünk a *specialistákat*, amelyek táplálkozásukban különleges táplálékot kívánnak meg, amennyiben bizonyos határozott anyagra szorulnak, pl. a borvirágnak, a *Mycoderma aceti*-nak kitünő tápláléka az alkohol és az ecetsav. A szénában élő és a széna felmelegedését okozó *Bacillus calfactor* pentózt és dextrint kedvel. Sőt ismeretes egy penészfaj, amely a paraffinon él, holott ez az anyag a legtöbb növénynek hozzáférhetetlen. Legigénytelenebb azonban a Beijerinck felfedezte *Bacillus oligocarbophilus*, amely a levegőben csak nyomokban lévő



ismeretlen természetű szerves szénvegyületeket használja fel. Mindezekből látható, hogy a szaprofita növények a legkülönbözőbb szénvegyületeket képesek szénforrásul felhasználni, sőt mondhatjuk, hogy nincs a természetben olyan szénvegyület, amelyet valamely szervezet ne részesítene előnyben a többi felett.

Ebben a tekintetben a gombák és a baktériumok közül többen meg is tudják válogatni különleges táplálékukat, úgyanyyira, hogy két egyenlő alkotású, csak az atomok elhelyezésében különböző anyag közül is a megfelelőt használják fel. A szaprofitáknak ilyen sztereoizomer testekkel szemben való viselkedését Pasteur fedezte fel. Az ő, a fény polározási síkját nem forgató (inaktív) szőlőcukorban tenyésztett penésze, a szőlőcukrot jobbra és balra fordító borkósavra hasítottá és csak a jobbra fordítót használta fel. Ezek közül az alsóbbrendű szervezetek közül e szerint többen még bizonyos optikailag aktív testeket is előnyben tudnak részesíteni, szóval ezeknek a szénforrásra nézve jelentős mértékű válogató képességük van.

A szaprofiták nitrogénszükségletüket úgy a szervetlen salétromsavas ammoniából, valamint a szerves vegyületekből, mint a fehérje, pepton, aminosavakból stb. fedezni tudják. Vannak közöttük olyanok, amelyek az előbbieknek előnyt adnak és ismét olyanok, amelyek csak az utóbbiakat használhatják fel, sőt vannak olyanok is, amelyekre nézve közömbös, hogy minő vegyületből szerzik nitrogénjüket. Ebben a tekintetben kevésbé válogatóságoknak látszanak, mint a szénforrásnál, de azért mégis sikerült kideríteni, hogy némelyek bizonyos nitrogénforrást részesítenek előnyben.

A felvett nitrogénvegyületekből ezek a szervezetek is az autotrof növények módjára készítenek fehérjevegyületeket, első sorban aminosavakat, bárhonnan származzék is a nitrogén.

A legkülönbözőbb szerves anyagokkal való táplálkozási képességnél fogva a penészgombák, baktériumok és hasonló szervezetek mindenütt el vannak terjedve, ahol szerves anyagok vannak; ezek a növények valódi *ubikvisták* (mindenütt tenyészők). Ezek első sorban is elhalt növényi részeket támadnak meg, lehullott leveleket, terméseket, ágakat, de elhullott állatokat, állati ürüléket is, hacsak megfelelően nedvesek és megfelelő



reakciót mutatnak: a közömbös és alkálikus reakciós anyagokat — amint tudjuk — a baktériumok lepik el, míg a gombák jobban kedvelik a savanyú anyagokat.

A gombák közül sokan micéliumaikat csak a szerves anyag felületén terjesztik ki, mások ellenben behatolnak a testek belsőjébe és azokat keresztül-kasul át és áthatják. Eközben azonban nemcsak az oldott anyagokat veszik fel, hanem a szilárd részeket is feloldják, amiben segítségükre vannak a testük által kiválasztott különböző erjesztő anyagok, amelyek által a táplálásukra használt anyagban nagymértékű elváltozásokat hoznak létre. A fában tenyésző gombák mycéliuma átfúrja a faszövet falát, pl. a legveszedelmesebb szaprofita gombák egyike, a házigomba (*Merulius lacrymans*) a fából asszimilálja a cellulózt és szétroncsolja a fát.

A gombák közül némelyek — amint említettük — a szénforrásokban egy cseppet sem válogatósak és bármely talajon megtelepednek, amely csak csekély mennyiségben is tartalmaz szerves anyagot.

Az élesztő gombák mindennemű cukortartalmú folyadékot és a rothasztó baktériumok mindennemű szénhidrát- vagy nitrogéntartalmú bomló anyagot, amint táplálékuknak megfelel, szívesen keresnek fel. Mások ellenben már korlátozottabbak, mert inkább válogatósak a talajban.

Ezek is a többi szaprofita gombákkal egyetemben — amint említettük — jobban tenyésznek savanyú talajon, mint alkálison. Ez az oka annak, hogy csak azután jutnak kifejlődésre, mikor a talajt a baktériumok tenyésztése már savanyúvá tette. A telepnek ebbeli sajátossága, továbbá bizonyos anyagok tartalma okozza azt, hogy a szaprofita gombák tenyésztése bizonyos sorrendet követ a folytonosan bomló, rothadó anyagon (pl. a friss lótrágyán a következő gombák fejlődnek sorrend szerint: baktériumok, *Mucor Mucedo*, *Pilobolus*, *Coprinus*, *Sordaria* stb.).

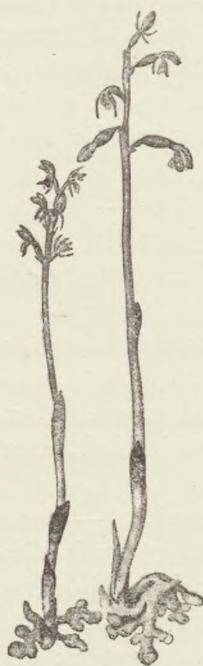
Ezeknek a szaprofita növényeknek az elhalt növényi és állati anyagokat bomlasztó hatása nagyjelentőségű a földünkön, mert nekik köszönhető az, hogy az évezredek óta elhalt növények és állatok testei, hullái nem fedik magas rétegekben a föld felületét és ilyenképen nem akadályozzák meg az utódok életét,



sőt inkább bomlásukból keletkező vegyületeikkel még hasznukra válnak.

### A szaprofita virágos növények.

Vannak azonban virágos növények is, amelyek tisztán az elhalt növényi részekből alakult televényt használják ki. A szaprofita virágos növények jól kialakult szívó szervekkel bírnak, amelyek azonban rendszerint rövidek, vastagok és merevek, majdnem korallszerűen ágaznak el és legtöbbször még a táplálék felvételében mások támogatására szorulnak.



94. kép.

Az erdei kláristő (*Coralliorrhiza innata*) természetes nagyságban.

Ilyen határozott televénylakó szaprofita növény a sarjadzó madárfészek [*Neottia Nidus avis* (L.) Rich.], amelynek sajátos a földi giliszta alakjára emlékeztető gyökerei különös, a madárfészekhez hasonló csomókat alkotnak; azután az erdei kláristő (*Coralliorrhiza innata* R. Br.), amely nem bír gyökérrel, hanem szárának földbeli részei laposra nyomott villás ágakat fejlesztenek (l. 94. kép) és az eltörpült gérbic (*Limodorum abortivum* Sw.) húsos, csomósan álló gyökérrostjaival.

A kláristőhöz hasonlít földbeli szárával az *Epipogon aphyllus* (Schm.) Sw., csak hogy a rizomájából hosszú, tarackszerű hajtásokat fejleszt, végre az erdei fenyőspárga (gazillat, *Monotropahypopitys* L.), amelynek gyökerei rö-

videk, húsosak és a fák gyökereivel összeszővődve a televénybe vannak betemetve. Ezekhez hasonlóan a forró földöv nedves erdeinek gazdag televényében még nagyobb számmal találni tisztán a televényből táplálkozó növényeket, különösen az Orchideák, Gentianaceák, Burmanniaceák, Triuridaceák stb. családjából.



Az eddigiek folyamán rámutattunk arra, hogy a szerves táplálék felvételében csak fokozatos különbségek vannak, amennyiben autotrof táplálkozású növények is képesek erre, de minél nagyobb mértékben alkalmazkodtak a szerves táplálék felvételéhez, annál nagyobb mértékben térnek el a zöld növényektől és a legnagyobb végletet a tisztán televényből táplálkozó növények mutatják. Az előbbiekben ismertetett mádár-fészek, klárító és a fenyőspárga már külső alakbeli sajátosságaikkal is elárulják, hogy tisztán televényből táplálkozva a zöld, illetőleg az autotrof növényektől a táplálkozás tekintetében mindinkább eltérnek, tehát a valódi televénylaktó, virágos növények jellemző példái.

Miként megy végbe a szerves táplálék felvétele és milyen módon történik a felvett szerves anyagok asszimilálása? E kérdések megoldásától még messze vagyunk.

A még chlorophyllt is tartalmazó növényekben a szerves anyagok bizonyára valamely módon még átalakulnak, amiben szerepet visz a chlorophyllban megalakuló kis mennyiségű szénhidrát, ellenben a chlorophylltalan szaprofiták a kész anyagot jóformán úgy használják fel, amint kapják; vagy, miután bizonyos ásványi anyagokra, amint kimutattuk, szükségük van, valószínűleg a felvett anyagok csak kevéssé alakulnak át.

A televény anyagainak felvétele az autotrof táplálkozású növényeken esetlegesen a gyökérszörszálak által is megtörténhetik, de kétségtelen, hogy a tisztán heterotrof szaprofiták a gyökereikkel vagy földbeli szárrészeikkel szívják fel a televény oldott táplálékát. Feltűnő azonban az, hogy a tisztán televénylaktó virágos növényeknek a földben levő és a táplálék felvételére berendezett szervei csekély kiterjedésűek, például az autotrof növények gyökérzetéhez képest. Igaz ugyan, hogy erre a kész táplálékfelvételnél nincs is olyan nagy szükségük, de ennek ellenére, magával a növény testével összehasonlítva, a gyökereket pótló szerveket mégis csekélyeknek kell tartanunk. Igaz ugyan, hogy a talaj fölé emelkedő és virágzatot hordó száraik sem érnek el tekintélyes nagyságot, mégis a talajbeli táplálékot felvevő szerveknél tömegükre nézve jelentősebbek. Ezzel kapcsolatban edénynyalábjaik sem mutatnak jelentős fejlődést. A szaprofiták pedig mégis kellő mennyiségű táplálékot



képesek felvenni, de nem mindig saját erejükből, hanem más növények közvetítésével, amit később fogunk részletesen tárgyalni. A szaprofita virágos növények is az alsóbbrendű szaprofita növények módjára határozottan alkalmazkodtak sajátos táplálékukhoz, bizonyosságot szolgáltatva arról hogy a táplálkozás a növényéletnek fontos folyamata, amelynek kedvéért a növény teste jelentékeny módosulásra képes.

### A húsevő és az élősködő növények.

#### *A húsevő növények.*

A növények táplálkozásának amúgy is csodálatos jelenségeinek körében a legbámulatosabb minden esetre a növényeknek állatokkal való táplálkozása. Igaz ugyan, hogy a már említett epifita *Bromeliaceák*, *Umbelliferák* sorában és néhány májmohon (*Pleurozia*, *Cololejeunia*), amelyek levelei fogókészülékké alakultak át, már találkoztunk egyes esetekben rovarfogással és ezek teste egy részének felszívódásával. Ezt azonban nem nevezhetjük rendszeres táplálkozási módnak — már csak esetlegességénél fogva sem. Vannak azonban zöld növények, amelyek az autotrof növények tagolt-sága mellett autotrof módon táplálkoznak, tehát az összes táplálékot meg tudják maguknak szerezni, képesek szénhidrátot készíteni és mégis sajátos berendezésükkel a rovarokat is felhasználják táplálkozásukban. Ezek azok a növények, amelyeket rovarévő (*insectivora*) helyesebben húsevő (*carnivora*) növényeknek neveznek. Ezek valamennyien a kész szerves táplálék felvétele folytán kedvezőbben fejlődnek mint a pusztán csak autotrof táplálkozásúak. A húsevő növények legfőbb szerves tápláléka az alsóbbrendű állatok, különösen rovarok testének szerves anyaga, amelyeknek megragadására és megemésztésére leveleik sajátos módon alakulnak meg. Épen azért, mert a szerves táplálék felvétele által elűtnek az autotrof növényektől, itt a heterotrof növények sorában kell velük foglalkoznunk, minthogy különleges táplálkozásuk folytán tulajdonképpen szaprofita növények.

A húsevő növények minden világrészben megtalálhatók,



ahol többnyire a nedves termőhelyeknek, vagy az álló vizeknek, a mocsaraknak vagy pedig a nedves forró földövi erdőknek lakói vagy végre epifiták, amelyek szegényes termőhelyükön nem kapják meg a nitrogén és a phosphortartalmú sókat az egyéb szárazföldi növényekkel egyenlő mennyiségben.

A ma már ismeretes húsevő növények fajainak száma megközelíti a négyszázat, amelyek csak kevés növénycsalád közt oszlanak meg és pedig a következők közt: *Droseraceák* (*Drosera*, *Aldrovandia*, *Dionaea*, *Drosophyllum*), *Nepenthaceák* (*Nepenthes*), *Sarraceniacéák*, (*Sarracenia*, *Darlingtonia*, *Heliamphora*), *Cephalotaceák*, (*Cephalotus*), *Lentibulariacéák*, (*Byblis*, *Pinguicula*, *Utricularia*, *Genlisea*, *Biovularia*).

Mindezek családi jellemvonásaiktól függetlenül sajátos módon alkalmazkodtak különleges táplálkozásukhoz. Amint ugyanis az autotrof növények a rendes táplálkozás céljából sajátos szervekkel rendelkeznek, úgy a húsevő növények is táplálkozásuknak megfelelő berendezéseket fejlesztenek.

Ezek a berendezések első sorban az állatok csalogatására szolgáló eszközök, továbbá az állatok megfogását elősegítő sajátosságok, azután az állatok megemésztésére és végül a megemésztett anyagok felszívására szolgáló sajátos szervek.

Mindezeket a berendezéseket a fajok, de még a génuszok nagy számának megfelelően itt nem ismertethetjük. Különben is a húsevő növények tulajdonságait irodalmunkban Klein már részletesen ismertette. Ebből az okból csak röviden emeljük ki az egyes csoportokra jellemző tulajdonságokat.

Az állatok csalogatására szolgáló eszközök legjelentősebb fejlettségükben azokra a berendezésekre emlékeztetnek, amelyekkel a légpompásabb virágok csalogatják a beporzást közvetítő rovarokat és amelyekkel az ékes, sokszor rikító színű termések hívják fel a magvak elterjesztését teljesítő állatok figyelmét. Elég a sok közül csak a *Nepenthes* kancsóinak szép rajzolatát, a *Drosera* barnásszínű és harmatcseppekhez hasonlóan csillogó leveleit megemlítenünk, hogy a csalogató eszközök feltűnése mellett bizonyosságot szolgáltatassunk.

A rovarok megfogásának módja és a vele kapcsolatos táp-



lálkozás szerint a húsevőket három főcsoportba sorolhatjuk, nevezetesen aszerint, hogy a rovarok megfogása a levél ragadósága által történik, vagy pedig a rovarok sajátságos korszzerű levelekben mintegy verembe kerülnek, vagy végül a levelek mozgása által mintegy csapóvasban esnek foglyul.

I. A *Drosophyllum* csoport. A rovarokat a legegyszerűbben fogja meg a *Drosophyllum*, amelynek egy faja a *Drosophyllum lusitanicum* (L.) Link, a spanyol félsziget délnyugati részén és Marokkóban, a száraz, köves termőhelyeken tenyészik. Rózsásan elhelyezett, szálás, lándzsás levelein széles, kalapos, gombaszerű, világos rózsaszínű, csak néha bíborszínű mirigyeket és ezek közt apró, színtelen, kerek- vagy tojásalakú mirigyeket hord.

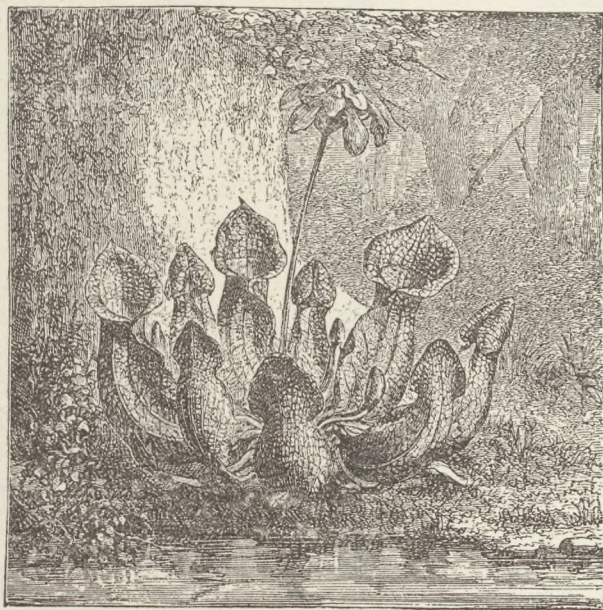
A nagy mirigyek ragadós nedvet választanak ki, amely a levélre telepedett rovarra ragad, a rovar a levélen tovább haladva mind több és több ragadós anyagot szed magára, úgyhogy végül nem tud mozogni és elpusztul. Hogy milyen bőségesen ragadnak meg a rovarok a *Drosophyllum* levelein, azt legjobban bizonyítja az, hogy a *Drosophyllum*-ot hazájában légyfogóul alkalmazzák, akárcsak nálunk az enyves papírost. A kisebb mirigyek érintetlenül szárazak, ha azonban fehérjenemű anyagokkal jutnak érintkezésbe, szintén nedvet választanak ki és felszívják a nitrogéntartalmú anyagokat. Ezeket a kis mirigyeket munkájukban némiképen a nagy mirigyek támogatják, amennyiben ezek váladéka is savas természetű, sőt még enzimeket is tartalmaz. A rovar hulláját ezeknek a váladékoknak anyaga hatja át, aminek következtében a hulla fehérjeanyagai folyóssá lesznek. A kis mirigyek ezt a folyós anyagot felszívják, amit a mirigyek tartalmának sajátságos változása is elárul.

A *Drosophyllum* levelére került rovar hullájának csak külső chitin váza marad meg.

II. A korszós vagy a *Nepenthes-Utricularia* csoport. A rovarok megfogására való berendezkedésnek sajátosabb módja az, amidőn a levél, vagy a levélnek csak egy része sajátságos tömlöket alkot és amely ugyancsak rovarok megfogására szolgál, mint a *Nepenthes*, *Cephalotus*, *Sarracenia*, *Darlingtonia* fajckon. Valamennyi olyan



alakú, hogy a tömlőbe a rovarok könnyen bejuthatnak, sőt a legtöbb tömlőbe még a csapadék is behatolhat. A rovarok pedig valóban be is másznak a tömlőbe, ahová egyrészt a tömlő színe és valószínűleg a váladék is csalogatja őket. Amint azonban bejutottak a tömlőbe, többé nem tudnak kijutni belőle, mert a tömlő szélén, vagy felületén hegyükkel lefelé álló merev szőrök állják útjukat. A rence (*Utricularia*) különösen nálunk



95 kép

*Sarracenia* eredeti termőhelyén. Emery után.

előforduló fajain sajátságos csalogató- és fogókészülékeket találunk. Az *Utricularia vulgaris* sallangósan osztott levelein egyes sallangok helyén borsszem nagyságú, belül üres hólyagok fejlődnek. A hólyagok belsejébe nyílás vezet, amely egy felülről lefelé függő csapó által záródik; a nyílásban nyálkás felületű szőrszálak állnak, amelyek úgylátszik csalétkül szolgálnak. A hólyag nyílása felett kívül két serteszerű függelék van, ami által az egész készülék hasonló lesz a vízi bolhához (*Daphnia pulex*). Cohn szerint apró kis rákok (*Daphnia*,

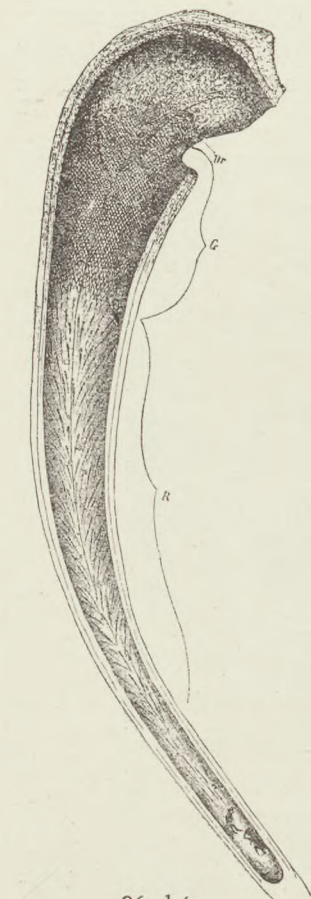


Cypris, Cyclops) sereggestül tódulnak a hólyagocskák nyílásába a csaló étel után, továbbá apró ázalékok, férgek; a nyíláson át könnyen jutnak be a hólyag belsejébe, de már alig vagy

nem is jutnak ki, mert a csapóajtó befelé nehezen nyílik és a kijárást elzárja. Moseley sejtése szerint a hólyagok még fiatal halivadékok is képesek megragadni, amennyiben a csapóajtó megszorítja fejüket, vagy farkukat. A csapóajtó ugyanis szerkezeténél fogva rugalmas és ennél fogva fejt ki nagyobb ellenállást is. Green vizsgálataival pedig kísérletileg bebizonyította, hogy a csapóajtók kis fiatal halacskákat is megfognak.

A tömlők, amint látjuk, jó fogóknak bizonyultak és minthogy a tömlőkbe jutott állatok többé ki nem juthatnak, végre is elvesznek.

A *Nepenthes* korsói rendszeren tele vannak a rovarok hullamaradványaival. A korsók belső felületeinek sejtjei citrom- és almasavat választanak ki, továbbá pepsinnemű erjesztőt, amelyek a rovarokat megölik, fehérjenemű vegyületeiket oldhatókká alakítják át. Az oldatot végre a korsó belső felülete felszívja. Ellenben a *Sarracenia* (l. 95. és 96. kép), *Darlingtonia*, *Cephalotus* tömlői és valószínűleg az *Utricularia* hólyagjai enzimeket nem választanak ki, vagyis



96 kép.

A *Sarracenia psittacina* csiránövényének felezett levele: *Dr* mirigyes öv, *G* sikamlós öv, *R* merev szőrű öv. 15-ször nagyítva

ezek nem emésztik meg a rovarok fehérjeanyagát. Minthogy azonban a rovarok mégis a tömlőkön belül, ha kiéhezés folytán is, vagy a *Sarracenia* tömlőiben megfulladás folytán elpusztulnak, hullájukat fehérje feloldására képes baktériumok



bontják szét; az így oldatba jutott nitrogéntartalmú vegyületet azután a tömlők falának vékonyfalú sejtjei szívják fel. Hasonlót sejtett már Darwin az *Utricularia* hólyagjáról, és azért nem húsevőnek (szarkofág), de dögevőnek (nekrofág) nevezte.

III. A *Dionaea*—*Drosera* csoport. A húsevő növények harmadik jelentős berendezése a rovarok megfogására, a levelek, vagy részeik sajátos mozgásán alapszik. A hízóka (*Pinguicula*) és a harmatfű (*Drosera*) levelein még a ragadós váladék is szerepel a rovarok megfogásában, úgyhogy ezeknél a *Drosophyllum* és a *Dionaea* csoportok jellemét látjuk kifejezve a rovarok megfogásában. A *Pinguicula* leveleinek nyeles és fejes, továbbá a nyolc sejtből álló mirigyszőrszála, mielőtt a levél nitrogéntartalmú szerves anyagokkal érintkezésbe jut, ragadós nyálkát és savanyú pepsinszerű folyadékot választanak ki, amelybe az apró állatkák beleragadnak, a lemez széle pedig befelé görbül, vagy hengeredik és lassanként beburkolja az odakerült tárgyat, vagy pedig a lemezen tovább taszítja, hogy minél nagyobb számú, emésztőmiriggyel jusson érintkezésbe. Az emésztés és felszívás után a lemez ismét kiterül.

A harmatfű (*Drosera*), a *Dionaea muscipula* és az *Aldrovandia vesiculosa* berendezését már az I. kötetben a 359.—361. oldalakon tárgyaltuk.

Ennél a három növényenél a rovarok kétségtelenül a levelek vagy részeik záródásának esnek áldozatul. A záródást pedig a levél egyes részeinek ingerlése okozza. Az ingerlés Sachs szerint, valószínűleg az ingerelt képlettel összefüggő sejtek duzzadságának megváltozása folytán következik be. Ellenben Burdon-Sanderson szerint az ingerelhető rész megérintése folytán elektromos áramok keletkeznek. Sachs az elektromos áramokat csak a duzzadságbeli változás következményének tartja. A rovarévi növények nemcsak rovarokat, de — amint a kísérletek igazolták — fehérjenemű anyagokat, húst stb. is meg tudnak emésztetni, az emésztést úgy értve, hogy képesek oldhatóvá tenni a fehérjetesteket, oldó nedvük segítségével éppen úgy, mint az állatok. Ez az oka annak, hogy a húsevő (*carnivora*) elnevezés is használatos. Ámde az előzőekben közölt



futólagos és csak a főbb sajátságokra utaló ismertetésből is kitűnik, hogy ebben a tekintetben a különböző húsevők nem viselkednek egyformán. Például a rence hólyagjában az állatok és ürülékeik a baktériumok által megbontott vegyületek alakjában szolgálnak táplálékkul, úgyhogy az már nem tulajdonképeni húsevő növény, hanem csak olyan, mint aminő az említett *Bromelia* vagy *Dischidia*. A *Sarracenia* valószínűleg hasonló viselkedést mutat.

A valódi rovarrevő növények ugyanis proteolitikus, valamely a pepsinnel rokon enzimet választanak ki savak kisérétében és éppen ezáltal képesek a fehérjét megemészteni. Ebben — amint láttuk — valamennyi valódi rovarrevő megegyezett és eltérés csak abban mutatkozott, hogy a váladék képződése az egyiknél csak ingerlés folytán indult meg (*Dionaea*, *Nepenthes*), a másiknál pedig folytonos volt (*Drosera*).

A proteolitikus enzimek felőli ismereteink még nem tisztázottak teljesen, mert pl. *Vines* két enzimet különböztet meg a *Nepenthes* korsóiban, egy erősebb peptonizáló enzimet és egy gyengébb hatású erepsint, amely az előbbi által készített peptonokat tovább hasítja.

A kiválasztott sav felől sem vagyunk teljesen tisztában; a legtöbb kutató almasavat, hangyasavat említ, lehetséges azonban, hogy más savak is fejlődnek, pl. propionsav, vajsav, sőt a sósav kiválása sem lehetetlen.

A fehérje oldásából és átalakításából származott vegyületeket, vagy a váladékot kiválasztó mirigyek szívják fel (*Drosera*), vagy pedig más, külön e célra alakult szörszálképletek (*Pinguicula*). Az emésztés és a felszívás meglehetősen gyorsan megyen végbe, néha 1—2 nap múltán már csak vázakat találni az ismét rendszeren elhelyezkedő leveleken.

A húsevő növények — amint láttuk — autotrof módon élnek és meg tudnak élni a fehérjetáplálék nélkül is, azonban fehérjetáplálékkal mégis jobban gyarapodnak. Ennek oka az, hogy gyér fejlődésű gyökereikkel a nitrogénben különben is szűkölködő termőhelyeiken nem nyernek elegendő nitrogént. Ennek, és esetleg a szerves vegyületbe foglalt más elemnek, például a foszphornak hiányát érzik és ezeket szerzik meg a rovarok által. Éppen ezért újabban úgy tekintik a rovarrevő növényeket, mint



peptonnövényeket, amelyek a nitrogént pepton alakban felvéve jobban tenyésznek, mintha ezt az elemet nitrát vagy ammonia alakban vennék fel.

Ilyképen a rowarevő növények a szükséges táplálék megszerzéséhez bámulatos módon való alkalmazkodás példái és különleges sajátosságukkal a szaprofita növények táplálkozását legjobban megközelítik, jöllehet azoktól — amint láttuk — úgy a szén asszimilálása, mint a nitrogéntáplálék megszerzésének módjában különböznek. Mindenesetre a heterotrof táplálkozásnak az érdeklődést méltán fölkelő esetei.

#### *Az élősködő növények.*

A rendes táplálkozású növények autotrof növények, amint tudjuk, szervetlen anyagból táplálkoznak olyképen, hogy azokból a táplálkozás folyamán szerves anyagokat készítenek. Ezekből a szerves anyagokból az autotrof növények elhalása után a már ismertetett folyamatok útján ismét egyszerű, jóformán szervetlen vegyületek keletkeznek, amelyeket más autotrof növények ismét felhasználhatnak táplálékkul. A szaprofita növényekben azonban olyan növényekkel ismerkedtünk meg, amelyek az elhalt növényrészeknek említett teljes szétesését nem kívánják, mert a még szerves anyagokat is fel tudják használni táplálkozásukban. A heterotrof táplálkozású növényeknek van azonban egy csoportja, amely be sem várja az autotrof táplálkozású növény, vagy az állat elhalását, hanem még annak életében táplálkozik teste anyagából. Az ilyen módon, tehát élő növény vagy állat testéből táplálkozó növényeket nevezzük élősködő (élősdí, parazita) növényeknek.

Ezekkel együttesen ismerünk most egyrészt autotrof növényeket, másrészt heterotrof növényeket, amely utóbbiak sorában megkülönböztetjük a szaprofita-, carnívora- és parazita növényeket. A két-, illetőleg négyféle táplálkozási módszerint élő jellegzetes alakok között könnyű a tájékozódás, mert a végleteken a sajátosságok kialakulása igen feltűnő, csak hogy nem mindig találkozunk ilyen végletekkel. Igen sok esetben valószínűleg olyan táplálkozás folyik, amely a végleteket kapcsolja egybe, mintegy átmenetet alkotva közöttük; különösen mondható



ez az úgynevezett vegyes táplálkozású, *mixotrof* növényekről, amelyek szervetlen táplálék mellett szerves anyagokat is magukba vesznek, mint pl. a húsevő növények. Ilyen vegyes táplálkozásúak azok a növények is, amelyek zöldek és a televény talajból is nyernek szerves táplálékot, mint a körtike (*Pirrola*), a *Goodyera repens*, a kosbor (*Orchis*)-fajok és az előzőekben felsorolt virágos zöld szaprofiták. Ezeket nevezi *Johow* *hemiszaprofiták*-nak, aminek még *Regel* és *Kerner* szerint a kakastaréj (*Pedicularis*) és a kántusfű (*Bartschia*) is.

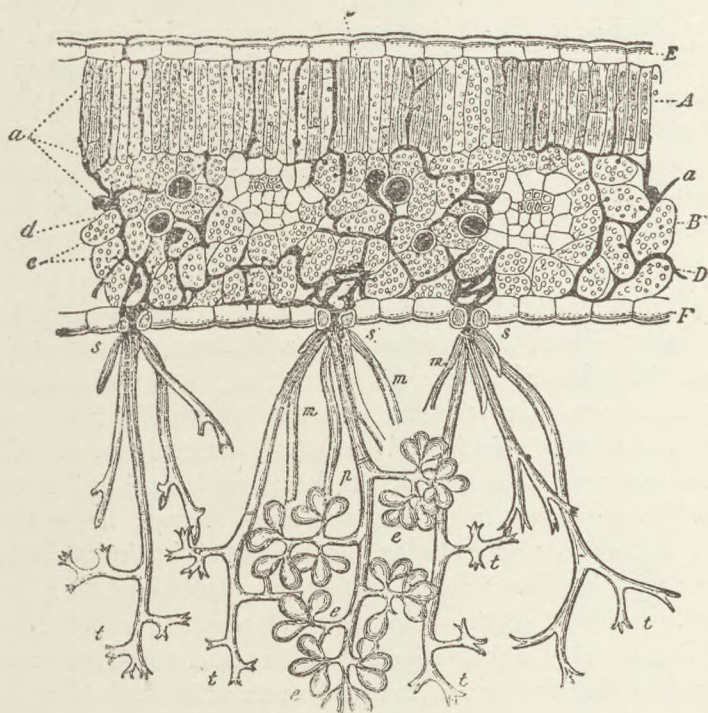
A szaprofita és a parazita életmód között is számos átmenetet találunk. A virágos növények sorában ugyan ritkábbak az ilyen átmenetek, mert a virágos növények csekélyebb mértékben tudnak alkalmazkodni a körülményekhez. A tátogető (*Scrophulariaceae*) zöld növények sorában a szemvidító (*Euphrasia*), a kakascímer (*Alectorolophus*) és a kéküstökű csormolya (*Melampyrum nemorosum* L.) élősködő, ellenben a réti csormolya (*Melampyrum pratense* L.) *Gautier* vizsgálatai szerint nemcsak szervetlen anyagokból tud megélni, hanem képes szaprofita módon is táplálkozni, de ránézve legelőnyösebb az élősködő táplálkozás, vagyis — amint *Heinricher* mondja — „a táplálkozás súlypontja” az élősködő módon való táplálkozás.

A szaprofita és a parazita életmódhoz alkalmazkodtak különösen a gombák, amelyek közül a szaprofita életmódhoz való alkalmazkodást már kiemeltük. Azokat a gombákat, amelyek életük javarészét inkább mint szaprofiták élik át és csak bizonyos körülmények között élősködnek, a tulajdonképeni szaprofitáktól (*holoszaprofiták*) és a tulajdonképeni parazitáktól (*obligát paraziták*) való megkülönböztetés végett *hemi-* vagy *fakultatív szaprofiták*-nak nevezik. Ilyen fakultatív szaprofita nagyon sok van, többek között ilyenek a táplálógombák, a *Polyporus*-ok között is vannak, amelyek a fák gesztjébe jutva a sebekén át, belőle táplálkoznak, de azután a gesztet környező élő sejtekbe is bejutnak.

Vannak azonban gombák, amelyek parazita életmódot folytatnak, de szaprofita módon való táplálkozás nélkül fejlődésüket



nem is fejezhetik be. Ezek tehát a parazita életmódot csak életük bizonyos szakában szükségelik, éppen azért inkább a parazitákhoz, mint a szaprofitákhoz húznak és azért félpazitáknak (hemiparazita) nevezhetők, mint pl. az üszöggomba. Végül



97. kép.

A szőlő peronoszporája (*Plasmopara viticola* Berl. et de Toni) a megtámadott levél keresztmetszetének részletével. A palissád, B szivacsos sejtréteg, D levélerek, E felső, F alsó epidermis, a a sejtközi járatokban fejlődő mycélium, o oospóra, c szívóág, s, s, s levegőnyílások, amelyen át a konidiumtartók kinőttek, m és p konidiumtartók, e konidium spórák, t a konidiumtartó ágacsák. Erősen nagyítva. Viala után.

vannak gombák, amelyek csak tisztán élősködve képesek megélni és amelyeket elhalt szerves anyagokon nem lehet tenyészteni; ezeket a gombákat nevezzük tiszta parazitáknak, ilyenek az anyarozs (*Claviceps*), a peronoszpora (l. 97. kép) stb.



*Az élősködő növények sajátosságai.*

A tisztán élősködés útján táplálkozó növények tehát, ellentétben a rendes táplálkozású növényekkel, csakis szerves anyagokból táplálkoznak. Ennek a táplálkozásnak megfelelően kell testüknek, tagjaiknak kialakulni; e táplálkozási módhoz kell alkalmazkodniok is, éppen úgy, amint a szaprofita növények is alkalmazkodtak a rendestől eltérő életmódjukhoz és ennyiben el is térnek a rendes táplálkozású növényektől. Az élősködő növények táplálkozásbeli körülményei azonban még inkább elütnek a rendestől, mint a szaprofitáké, ennek megfelelően alkalmazkodásuk is jelentékenyebb és ezáltal alakbeli viszonyaik is még jobban eltérnek a rendes növényektől, mint a szaprofiták.

Lássuk azonban közelebbről, minő tulajdonságokban üthet el az élősködők táplálkozása a rendestől. Elsősorban, minthogy nem asszimilálnak, épen úgy mint a holoszaprofiták, száruk, levelük többé-kevésbé ezekhez hasonlóan fog kifejlődni, vagy pedig, minthogy már teljesen feldolgozott táplálékhoz jutnak, tenyészeti szerveik még inkább el fognak csenevésznedni. A táplálékhoz azonban nem fognak oly könnyen hozzájutni, mint az autotrof és a szaprofita növények, mert hiszen, hogy az élő növény testéből nyerhessék az élősködők táplálékukat, az élő növényt meg kell támadniok, a testének belsőjéhez hozzá kell férközniök és végül a táplálékfelvételre kedvező helyzetbe jutva, meg is kell kapaszkodniok azon a növényen, amelyből táplálékukat merítik és amelyet épen ezért tápláló növénynek, g a z d a n ö v é n y n e k, sőt némelyek dajkának neveznek.

*Az élősködő gombák.*

Az élősködő táplálkozás megkivánta előbb felsorolt tulajdonságokat leginkább megtaláljuk az élősködő gombákon, amelyek chlorophyll nélkül tisztán a szerves táplálékra szorulnak. Ezeknek teste, a mycélium, akár egy sejtből, akár több sejtből épül is fel, nagy terjedelemben kifejlődve messze szétterjedő ágaival könnyen hozzá tud férni a szerves táplálékhoz, amelyet azután akár testének egész felületével is könnyen felvehet. Ez a mycélium pedig a gombák termette spórából fejlődik, amely egyetlen egy sejtből áll. De ez az egy spóra sem fejlődik ki minden körülmények között mycéliummá, ha-



nem sok esetben csak egy új sejtet fejleszt sarjadzás útján, amely azután ismét sarjadzás és osztódás után újólag új, egyenkint élő sejteket fejleszt. Ezek egyenkint is meg tudnak élni, mint az élesztő sejtjei (*Saccharomyces*). Ilyen egysejtű gombák a hasadó gombák is (*Schizomycetes*), vagy amint közönségesen mondani szokták, a baktériumok is, amelyek egyenkint külön egy-egy sejtből álló egyedekként élnek, nemcsak — amint már említettük — az élettelen szerves anyagokban, hanem az élő szervezeteken is, tehát élőködni is.

Mind az élőködő gombáknak, mind a baktériumoknak a táplálék forrásául szolgáló gazdanövényeikhez valami módon hozzá kell jutniok.

A baktériumok maguk vándorolnak egy helyről a másikra, ellenben a gombákból a legtöbb esetben csak a spórák.

A baktériumok és a gombák spóráinak szállítását a legkülönbözőbb külső tényezők teljesítik. A legjelentősebb szállító eszközök kétségen kívül a mozgó levegő, tehát a szél, amely a felette apró baktériumokat és gombaspórákat nagy távolságokra hordja el és szórja szét, különösen a lisztharmat, peronoszpora, rozsdá és üszög spóráit (l. 97. kép).

A vízben élő növényeken és állatokon tenyésző gombák és baktériumok szállító eszköze úgy az álló, mint a folyó víz, de az eső- és harmatcsepp is, a levegőből lecsapódva, magával ragadja a spórákat és a növényen végigfolyva, viszi őket levélről levélre, sőt le a talajban levő részekre is; a burgonyavész okozó gomba (*Phytophthora infestans*) spórái így módon jutnak az esőcseppel a gumókig.

Az örökké repdeső és mászkáló rovarok a testükön megtapadó spórákat ugyancsak könnyen szállítják tovább és így módon terjesztik pl. a legyek és egy bogár (*Rhago nychia fulva Scop.*) a fűvek anyarozsát, amidőn az anyarozs mycéliuma által kiválasztott cukros anyagra rájáznak és egyúttal a gomba konídiumait is magukra veszik. Kétségen kívül hozzájárulnak a gombák terjesztéséhez a mezőn, erdőn kalandozó nagyobb állatok is, de az ember maga is mindennemű közlekedésével elősegíti a gombák elterjesztését; így módon hurcolták be minden valószínűség szerint a mályvarozsának Chile-ben honos rozsdagombáját (*Puccinia Malvacea* -



rum Mont.), amely még 25 évvel ezelőtt ismeretlen volt Európában.

A gombák átvitele különösen akkor gyors és biztos, ha a gomba tápláló gazdái sűrűn érintkeznek egymással, vagy tömött sorokban tenyésznek.

A tömötten együtt élő hernyók, gabonaneműek, gombák által megtámadva, gyorsan adják át egyik egyedről a másikra a spórákat, úgy, hogy néhány nap alatt tömegestől sínylik meg a gombák elszaporodását.

A baktériumok és a spórák, rájutva a növény vagy állat testére, egyéni tulajdonságuknak megfelelő módon kezdik meg fejlődésüket és tenyésztésüket.

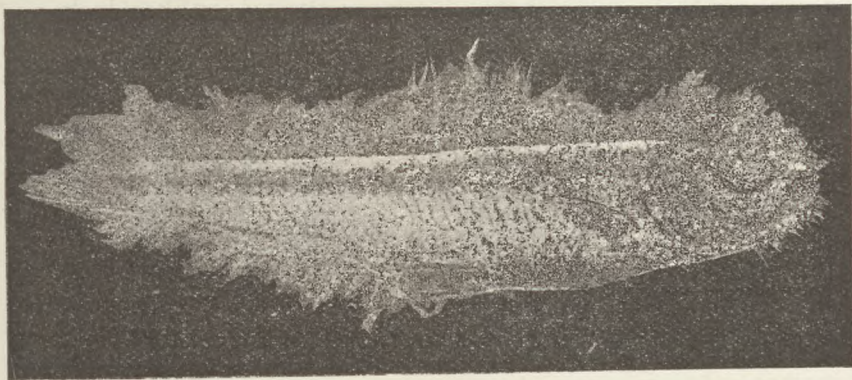
Számos baktérium és gomba csak a felületen marad és a rajta kiválasztott cukortartalmú nedvből táplálkozik, mint pl. az erjesztő gombák (*Saccharomyces* fajok), amelyek a gyümölcsök pl. a körte, szőlő felületén is tenyésznek. A gombák és baktériumok jelentékeny része azonban nem marad az élő testek felületén, hanem valami módon a test belső részével igyekszik összeköttetésbe jutni, hogy annak anyagából táplálkozhassék, vagyis a gazdanövényből élőködjék. Az élőködő növényeknek a gazdanövény belsejével történő egybekapcsolódását *fertőzés*-nek (*infekció*-nak) mondjuk. Ebben a tekintetben az élőködő növényeket a tenyésztésük helye és a gazdanövény megtámadási módja szerint két csoportba osztjuk: az egyik csoportbeliek csak a gazda test felületén maradnak és fejlesztik ki testüket, a mycéliumot, amelynek csak egyes ágait bocsátják be a gazda testébe; ezek a kívül élőködő ú. n. *epifitaparaziták* (*ektoparaziták*) pl. a lisztharmat; a másik csoport bejut a növény testébe és egészen a növény testén belül él, ott terjeszti ki mycéliumait, sőt sokan közülök bizonyos terméseiket is a gazda testén belül fejlesztik ki, pl. a *Plasmopara viticola*,\*) a legtöbb pedig csak terméseit fejleszt ki a gazdanövény felületén; ezek a bennélőködő, vagy *endofita-paraziták* (*endoparaziták*).

Az epifita vagy epi-parazita gombák spórája kicsírázva tomlót hajt, amelyből azután megfelelő tapadó szervek (a p p -

\*) T. i. az oospóráit, konidspóráit ez is a gazdanövény felületén fejleszt ki.



resszóriumok) fejlődnek, hogy a gazdanövényen kívül élősködő gombát a gazdanövényhez erősítsék. Ilyen tapadó szervek fejlesztésére készíti a gombát a gazdanövény testével való érintkezés ingere. Ebből a tapadó szervből, de magából a mycéliumból is, fejlődnek azután a gazdát fertőző fonalak és pedig a gazdából kiinduló, bizonyára kémiai úton ható ingerek folytán. Ezek a fertőző fonalak bejutnak a gazdanövény sejtjeibe és abból egyúttal a táplálékot is kiszedik — kiszívják — amiért is szívóágaknak (hausztórium) nevezzük őket.



98 kép.

Egy *Saprolegnia*, valószínűleg a *S. Thuretii* által megölt hal. Kisebbitve. Freeman után.

Meglehetősen egyszerű alakú a lisztharmat (*Erysiphe*) gombák hausztóriuma. Ezeknek a mycéliuma a gazdanövény felületét finom pókhálóként borítja be. A mycélium egyes pontjain, amelyek szorosabban símulnak az epidermiszhez, tapadó szervek keletkeznek és ezeknek egyes pontjaiból szálak erednek, amelyek a gazdanövény epidermiszének kutikuláját és falát áttörik és a sejt belsejében sajátos tömlőszerű alakot öltenek.

Az epifita-parazita gombák hausztóriumait, minthogy a gazdanövényből veszik a táplálékot többé-kevésbé összehasonlíthatjuk a táplálék felvételére nézve a rendes táplálkozású növények gyökereivel, ámde annak a különbségnek a kiemelé-



sével, hogy az előbbiek a gomba összes táplálékát, az utóbbiak pedig csak a szervetlen táplálékot veszik fel.

Az endofita-élősködő gombáknak akár állati, akár növényi testbe való behatolásának két módja van; az egyik az, hogy olyan nyílásokba jutnak, amelyek a test belsejébe vezetnek, vagy pedig ilyenek hiányában, a test felületét alkotó sejtfalakat törik át, épen úgy, mint az epifiták hausztóriumaiának a test felületébe való bemélyesztésekor.

Az emberek és állatok testébe a leggyakrabban a szájon át jutnak az élősködők, ahol már meg is telepedhetnek, vagy ahonnan azután a légcsőbe és a tüdőbe vagy pedig az eledellel a gyomorba és a belekbe juthatnak, amely helyekről azután a test többi részeibe is vándorolnak; ily módon kerülnek az állati testbe a baktériumok és az állati testben is tenyésző gombák, pl. az *Actinomyces* az emlős állatokban, az *Entomophthora*, *Isaria*, *Botrytis* és *Cordyceps* fajok a rovarokban. A vízi állatok testébe még a kopoltyúik útjain is bejuthat a gomba, mint a *Saprolegnia* fajok a halak testébe (l. 98. kép).

A gombák általi fertőzésre alkalmas helyek még az állati testen keletkezett sebek is. A bőrben élő gombák pedig, úgy látszik, a bőrnek bármely sértetlen pontján is be tudnak hatolni. Egyébként a gombáknak az állatok testébe való behatolása sok esetben még nem ismeretes.

Az endofita élősködő gombák a növények testébe is elsősorban és a legkönnyebben a test nyílásain jutnak be és pedig az egysejtű baktériumok közvetlenül, ellenben a többi gombák a test felületén való csírázás után fejlődött tömlőjükkel hatolnak be a nyílásokon és pedig legtöbbször a levegőnyílásokon (pl. a rozsdagomba), de sok esetben más nyílásokon is, pl. a bibe nyílásán és csatornáján át (*Fusicladium* vagy a *Monilia*).

Az endofita élősködő életmódnak legegyszerűbb esete az, amidőn a gomba csak az epidermisz sejtfalában magában él és itt ozmotikus úton nyeri a sejtekből táplálékát. Az ilyen gombák, áttörve a kutikulát, alatta fejlesztik ki mycéliumaikat és csak akkor törik át másodszer, amidőn terméseiket fejlesztik ki. Ilyen módon él a nyárfák levelein a *Taphrina*



aurea Pers. Más *Exoascus*-fajok már tovább furakodnak és behatolnak az epidermiszsejtek, sőt még a mélyebben fekvő sejtek közé is.

Más gombák, behatolva az epidermiszsejtek közé, mycéliumaikkal tovább növekedve, a mélyebben fekvő sejtek közé telepednek, — különösen felhasználva a sejtközüti járatokat (pl. a *peronospora*) és csupán csak a sejtközüti járatokban maradva táplálkoznak.

A legtöbb endofita azonban nem elégszik meg azzal a táplálékkal, amelyet a sejtközüti járatokban talál, vagy amelyet csak a gazdanövény sejtfalán át vehet fel, hanem magába a sejtbe iparkodik. A legtöbb sejtközüti járatokban élő endofita gomba azonban még az ilyen ágakkal sem elégszik meg, hanem az epifitákhoz hasonlóan *haustorium*-okat, szívókat fejleszt és bocsát a sejtközüti járatokkal szomszédos sejtekbe. Ezek növekedése rendesen korlátolt és alakjuk többé-kevésbé állandó. Ellenben igen sok endofita gomba mycéliuma nem fejleszt szívókat, hanem mycéliumával a gazdanövénynek nemcsak sejtközüti részeit, de sejtjeit is keresztül kasul járja.

#### *A gazdanövény elváltozásai.*

Az élőködő a megtámadott növényrészeket megfosztja táplálékától, mire ezek bizonyos idő múlva elhalnak — és ha a mycélium nem ölt nagyobb terjedelmet, akkor csak a mycélium által közvetlenül megtámadott sejtek pusztulnak el; ha az pl. a levélen történik meg, akkor az ilyen levél foltos lesz, elszárad és végül a támadás helyén átlukad. Ellenben az olyan élőködők, amelyek mycéliuma nagyobb terjedelmet ölt és egész növénytagokat foglal el, a növénynek egyes tagjait, pl. leveleit, ágait, terméseit ölik meg, pl. a *peronospora* (l. 97. kép), az *Erysiphe*-fajok (*Uncinula spiralis*). Már nagyobb mértékben teszik tönkre a növényeket azok a gombák, amelyek mycéliuma pl. a szár egész vastagságában pusztítja el a szövetet, ami által az elpusztult rész feletti növénytagok is elpusztulnak, ezt látjuk pl. a fáinkon ráksebet okozó *Nectria ditissima* Tul-on.



Végre más gombák mycéliuma lassan bár, de végre teljesen elterjed a növény egész testében, minden rétegében és ilyen módon megöli a növényt, mint pl. a fapusztító taplógombák.

A növény egyes részeinek halálát előidézheti az is, hogy a gombák a megtámadott részt fokozottabb anyaggyűjtésre és tevékenységre sarkalják, aminek folytán a felette álló testrészhez nem juthat elegendő táplálóanyag és az elpusztul, pl. a boszorkányseprők ága.

Ezek a példák világosan bizonyítják, hogy az élősködők nemcsak beteggé teszik a növényt, de élettartamát is megrövidítik, amit különben a gombák által megtámadott állatok, pl. a rovarok, halak esetei is világosan bizonyítanak. Nem szabad azonban ebből arra következtetnünk, hogy minden növény vagy növényrész a gomba támadása után elpusztul; sok gomba van, amely gazdanövényéből táplálkozva, őt nem meríti ki teljesen, hanem vele együtt maradva táplálkozik belőle, lassanként vonva el anyagain, úgyhogy az ilyen gombák gazdájukat csak a spórák kifejlődése után pusztítják el.

Mind a két esetben azonban a gazdanövény az élősködés folytán zavart szenved rendes táplálkozásában és működésében, aminél fogva rendes alakjától eltérő külsőt ölt magára, többé-kevésbé elváltozik. Ezek az elváltozások nagyon sokfélék, de nagyjában két csoportba sorolhatók. Az egyik csoportba sorolhatók azok a zavarok, amelyek folytán a gazdanövény satnyulást, törpülést (*diastrofia*, *atrofia*) mutat, a másik csoportba pedig azok az esetek, amidőn a gazdanövény szervei megnagyobbodnak (*hypertrofia*).

Az első csoportba tartozik az a jelenség, amidőn a gomba támadta hajtáson virágok nem fejlődnek, amint azt a boszorkányseprőkön tapasztalhatjuk.

A második csoportnak a jelenségei még feltűnőbbek. A *Taphrina pruni* megtámadta, éretlen szilva jóval nagyobb az épeknél; szedik is a gyerekek a „bábaszilvát”.

Még nagyobb mértékű térfogatbeli gyarapodást okoznak az üszöggombák, amelyek közül a legismeretesebb az *Ustilago Maydis*, a kukoricaüszög, amely nemcsak a száron és a leveleken okoz nagymértékű változást, de a virágzatot, a virágokat és kivált a termőt megnagyobbodásra bírja.



Hasonló hatása van ama gombáknak, amelyek a fákon a már említett boszorkányseprőket (ágtorzonborzot) hozzák létre. Ezek közül a legismeretesebb a jegenyefenyőn élő *Aecidium elatinum* Alb. et Schw. [*Melampsorella Caryophyllacearum* (DC.) Schroet], amely a megtámadott ágban több éven át él és fejleszti ki a leveleken spóráit.

#### *A virágos növények élősködése.*

Mindezekből világosan látható, hogy a gombák tekintélyes része kellőképpen alkalmazkodik az élősködő életmódhoz és kifejlesztette mindazokat az életműszereket és eszközöket, amelyekkel kellőképpen érvényesülhet sajátságos életmódjában. A gombákon kívül találunk még a virágos növények sorában is olyan növényeket, amelyek többé-kevésbé alkalmazkodnak az ilyen életmódhoz. Az alkalmazkodás nem egy családon belül következik be, hanem egymástól meglehetősen távol álló családok génuszain, fajain és éppen azért nem is tekinthetjük az élősködést előrehaladó fejlődésnek, hanem a tagok fejlődési zavara folytán inkább visszaesésnek. Az élősködés folyamán a virágos növények más virágos növények testéből veszik át a szerves táplálékot, más növényen nem is igen élősködnek.

A virágos növények is alkalmazkodtak ehhez a reájuk nézve esetleg előnyös táplálkozáshoz és ezért a gombákhoz hasonlóan kifejlesztették a megfelelő eszközöket is: nevezetesen a támadó, tapadó és szívó eszközeiket és pedig meglehetősen változatosságban. Mivelhogy az alkalmazkodás módjának bemutatása végett csak egyes jellemző esetek ismertetése szükséges, éppen ezért eltekintünk az élősködő növények nagy sokaságának felsorolásától. A jellemző esetek kiválogatásában lehetőleg hazai fajokat veszünk szemügyre és csak ezek híján ismertetjük a megfelelő eseteket a külföldi növények sajátságain.

Az élősködő életmódhoz való alkalmazkodásnak különböző fokait különböztethetjük meg. Vannak ugyanis olyan élősködők, amelyek maguk is képesek szerves anyagokat, nevezetesen szénhidrátokat készíteni; ezek, nagyon természetesen, zöldek. Vannak azután olyanok, amelyekben a chlorophyll színanyaga csak nagyon csekély, ezek már teljesen más növényből való táplálko-



zásra szorulnak. Az előbbieneket zöld parazitáknak, félélősködőknek (hemiparaziták-nak), az utóbbiakat valódi parazitáknak (holoparaziták-nak) nevezzük.

A félélősködő virágos növények. A félélősködők körébe különösen a következők tartoznak: a zsellérkefélék (*Santalaceae*) közül a bögretok (*Thesium*) fajai, továbbá a tátogetők (*Scrophulariaceae* (*Rhinanthoideae*)) alcsaládjába sorolt kakastaréj (*Pedicularis*), fogfű (*Odontites*), kakascímer (*Alectorolophus*, vagy *Rhinanthus*), szemvidító (*Euphrasia*), torokvirág (*Tozzia*), csormolya (*Melampyrum*), továbbá a kántúsfű (*Bartschia*) és végül a fakínfélékhez (*Loranthaceae*) sorolt fakín (*Loranthus*) és fagyöngy (*Viscum*) fajai. A két utóbbi a fák ágain csirázik, ellenben az előbbienek valamennyien a földben csiráznak. Az élősködés mértékére nézve különböznek egymástól, valamennyien zölddek, de csirázásukban a gazdanövény jelenlététől függetlenek, kivéve a *Tozzia*-t, amely legmesszebb megy az élősködésben, tehát legkevésbé önálló; ezzel szemben a szemvidító, a fogfű csirázáskor független a gazdanövénytől, sőt még gazdanövény nélkül is ki tud fejlődni a virágzásig és a termés képzéséig, pl. a piciny szemvidító (*Euphrasia minima* Jacq.) és a tavaszi fogfű (*Odontites pratensis* Wirtg), ellenben az orvosi szemvidító (*Euphrasia Rostkowiiana* Hayne) gazdanövény nélkül csirázik ugyan, de már nélküle csak nyomorúságosan fejlődik. A földben csirázó félélősködők tulajdonképpen más növények gyökerein élősködnek és azért gyökérelősködőknek is mondhatók. A gazdában nem váltogatósak, sőt képesek saját fajukbeli egyedeken is élősködni, amikor is az egyedek közül az egyik a többi társa rovására fejlődik.

A félélősködők a csirázás után, mihelyt gyökereik megnövekedtek és növekedésük alatt más növények gyökereivel érintkezésbe jutottak, kifejlesztik a járulékos gyökerek módosulásából keletkezett szívószemölcsöket, amelyekkel a gazdanövény gyökereit megtámadják, megragadják és amelyekből szívókat eresztenek a gazdanövény gyökereinek belső szöveteibe, egészen az edénynyalábokig.

A szívószemölcsök, helyesebben szívógyökerek (haus-



torium-ck) kialakulásában és kifejlődésében különben nem nagyjelentőségű eltérések mutatkoznak a különböző félélősdiek között. A bögrek (l. 99. kép) szívógyökerei majdnem gömb-szerű nyeles dudorok, amelyeknek kéregrésze a megtámadott gyökér felületéhez kiszélesedő felületével hozzásímul, sőt azt kissé körül is veszi, szóval megragadja, azután a szívó középső részéből apró, szálasan rendezkedett sejtsorok és edénynyalábok nyomulnak a gazdanövény testébe és itt ecetszerűen területnek szét és összeköttetésbe jutnak az egyes edénynyaláb elemekkel. A kakascímer, a szemvidító, a fogfü, a csormolya szívógyökerei többnyire apróbbak, alapjukon nem keskenyednek nyélszerűen. A kakascímer szívógyökere a gazdanövény gyökerének több mint felét körülfogja, a többieké is többé-kevésbé hozzákapcsolódik a gazdanövény gyökeréhez.

Ezekkel ellentétben más zöld élősködők nem a gyökéren, hanem más növényrészen, kivált a fák ágain telepednek meg és ezért ezeket az előbbiekkel szemben fánlakó, epifita (vagy epifitoid) élősködőknek nevezik, jóllehet ezek is — éppen úgy, mint az előbbiek — a gazdanövénybe mélyeszti a táplálékot magukba szedő nyúlványaikat, szívójukat. Ezek közül nálunk gyakoribb a fehér fagyöngy (*Viscum album* L.), mint az európai fakín (*Loranthus europaeus* L.). Előbbi (l. 100. kép) a legkülönbözőbb fákat támadja meg, de legszívesebben keresi fel a nyár, fűz, körte, alma, hárs, juhar, tehát a lágy fákat, de a szőlőn és a fakínon is, sőt még maga-magán is megél, a keményebb fák közül pedig az ákácon, míg a tölgyön való megtelepedését sokan kétségbe vonják. Már a fakín válogatosabb, mert csak a tölgyfajokon és a jóféle gesztenyén él; a Földközi-tenger vidékén tenyésző *Arceuthobium oxycedri* csak a Junipe-



99 kép.

A bögrek (*Thesium humifusum*) a tetemtoldó (*Helianthemum*) gyökerén élősködve. Felére kisebbitve. Bonnier et du Sablon után.



rus-on, kivált a *Juniperus oxycedrus* L.-en élőkődik.

A fagyöngy (l. I. kötet 332. kép) csirázásakor a szíkalatti szárrész növekedik legelőbb és amint a magból kijutva a gazdanövény testével érintkezik, a csiragyökérhez való csatlakozása



100. kép.

A fehér fagyöngy (*Viscum album* L.) bokrai a fekete nyárfán (*Populus nigra* L.).

helyén tapadó koronggá szélesedik ki. Ezután a csiragyökér indul fejlődésnek és benyomul a gazdanövény fatestébe, egészen a fás (xylem) részig. A gyökér a gazdanövény hancs (phloem) részében elágazik és hosszú kéreggyökereket fejleszt, amelyekből azután merőlegesen kiinduló más gyökök, az úgynevezett eresztvények, a bélsugarakba nyomulnak. Az eresztvényeknek



az a része, amely a gazdanövény kambiumának síkjába esik, hosszában interkalárisan növekedik, úgy, hogy a gazdanövény vastagodásával lépést tart, vagyis a fagyöngy eresztvénye ilyenformán a gazdanövény ágának módjára viselkedik. Különben a gyökerek sem epidermisszel, sem pedig gyökérsüveggel nem bírnak, sőt a gyökér ecetszerűen csoportosított, hajszálszerű, hosszú sejtekből álló bunkóban végződik. A fakín szívókészüléke némiképen eltérő módon fejlődik ki (I. I. kötet, 333. kép). A csirázáskor a gyököcske a gazdanövény kérgén átfúródva, rendszeren három ágat bocsát a kéreg alatt, lefelé a fatest felületén. Ezek a vízszintes ágak egyenesen a fatest elemeinek felső végéből veszik át a felfelé szállított táplálékot és pedig olyképen, hogy a gyökérnek süveggel nem borított hegye közvetlenül a hancs alatt az épen képződő, legfiatalabb farétegben növekszik a faelemek mentén lefelé és összenyomja a hancs felé eső kambialis sejteket. Ilyen módon a fakín gyökere addig haladhat előre, amíg az illető réteg egészen fiatal; megfásodott elemei közt a gyökerek nem tudnak előrehaladni, ekkor azután a gyökér felső felén mintegy új növény csúcsot fejleszt, amely a kambialis rétegben hasonlóan halad tovább, úgyhogy fokozatosan lépcsőzet alakul ki egyrészt a fatest külső, másrészt a fakín gyökere belső oldalán; a lépcsőzet fokai az érintkezési lapok, amelyek a gazdanövény szállító elemeinek végeiből közvetlenül a fakín gyökereinek szállító elemeibe vezetnek.

E két epifitoid élősködő zöld levelekkel bír, amelyeket télire csak a fakín hullat el; ezek az élősködők tehát tudnak széndioxydot asszimilálni. A fagyöngy és a fakín Európán kívül különösen a forró égőben terjedt el nagyobb mértékben más, a *Loranthaceák* családjába tartozó génuszok fajaival (I. I. kötet, 334. kép). Minthogy pedig a *Loranthaceák* a fák ágain élnek, erősebb tapadószervekre van szükségük, mint a gyökérelősködőknek. Ez már a fagyöngy és a fakín gyökereinek fejlettségéből is kitűnik, de a gyökérzetnek még nagyobb mértékű változatosságát találjuk a forró öv epifitoid élősködőinél. A tapadás szerveinek és módjainak nagy változatosságára nem mutathatunk rá és csak példaképen említjük meg a *Phoradendron* amerikai fakíféle élősködőnek a gazdanövényen való elhelyezkedési módját. A *Phoraden-*



dron ugyanis sajátyszerűen kifejlesztett tapadókoronggal bír, amelynek megfelelően a gazdanövény illető része is hipertrofikusan fejlődve az élősködő korongnak megfelelő korongot fejleszt, amely az előbbinek a visszáját mutatja. A két tapadókorong az élősködő halála után egymástól el is válik, amikor a sajátyszerűen kialakult tapadó berendezésről közvetlenül is meggyőződhetünk. A tapadókorongot a nép hazájában farózsa „rose de Palo” (Mexiko), „rose de Madeira” (Guatemala) néven ismeri. Mások ismét, különösen a kapaszkodó szárúak, a szár hosszában több helyen fejlesztenek gyökereket vagy ágakat, amelyekkel a legkülönbözőbb módon kapaszkodnak meg a gazdanövényen.

Az élősködő virágos növények. A virágos növények között élősködőt a nyitvatermők (*Gymnospermae*) és az egyszíklevelűek (*Monocotyledoneae*) sorában nem igen találunk, az eddig ismeretesek valamennyien a két-szíklevelűek (*Dicotyledoneae*) közé tartoznak. Nem feladatunk ezeket ismertetni, azért csak a hazaiakat vesszük szemügyre és az élősködő virágos növényekről alkotandó kép teljessége kedvéért mutatunk rá egy-két idegenföldre. A hazaiak közül a gazdanövények gyökerein élősködik a tátogetőkhöz (*Scrophulariaceae*) sorolt kónya vicsorgó (*Lathraea squamaria* L.) a szádorgófélékhez (*Orobanchaceae*) tartozó szádorgó (*Orobanche*) fajai. A felfutó növények (I. I. kötet, 336. kép) módjára kapaszkodik a szulákfélékhez (*Convolvulaceae*) tartozó aranka (*Cuscuta*). Ezek után még az úgynevezett fungoid, gombához hasonló élősködőkre fogunk rámutatni.

Az itt felsoroltak sorában legismertebbek az aranka (ördög-cérna) fajai, amelyek közül hazánkban a herefojtó aranka (*Cuscuta Trifolii* Babo) a lóherén él (I. I. kötet, 336. kép), a kakukfűfojtó aranka (*Cuscuta epithymum* Murz.) a kakukfűvön, a pillangósvirágú növényeken, a komló-képű aranka (*Cuscuta lupuliformis* Krock) a fiatal fűzfa és nyárfasarjakon és csemetéken, a lenfojtó aranka (*Cuscuta epilinum* Weihe) a lenen, a szagos aranka (*Cuscuta suaveolens* Sér.) a lucernán élősködik stb. Az arankamagból kelt csíra növénykéje bunkósvégű, szíklevél-



telen, szálszerű tengelyrészből áll, amelynek gyököcskéje szőrös és süveg nélküli. A víztartó gyanánt szereplő csiragyökér a földbe furakodva szilárd helyzetbe kerül, a csira szárrésze felfelé irányul és ingaszerű (nutációs) mozgást végez, miközben rátalál a gazdanövényre és ha ez a keresése sikertelen maradna, akkor a talaj felületére heveredik alsó részével, hogy azután azon tovább növekedve ismét felemelkedjék, mialatt gyökere elszorvad. Amint rátalál a gazdanövényre, növekedésénél fogva arra rácsavarodik és a gazdanövénnyel érintkező oldalán kifejleszti szívóit. Amidőn ezek által a gazdanövénnyel egybekapcsolódott, a gyökere — mint most már felesleges szerv — elpusztul. A szívók eleinte lapos, kis dudorok, amelyek hegye a gazdanövény szárára erősen ráilleszkedik, majd behatol a szárnak az epidermiszébe és az elsődleges kérgen át az edénynyalábokhoz jut (l. I. kötet, 337. kép). Az elsődleges kérgben a szívó szövete ecetszerűen szétterül, az egyes sejtek, sejt sorok jóformán a gomba mycéliumának módjára megnyúlnak és a gazdanövény sejtjei közé nyomulnak. A szívó belsejében hancs és faedények is fejlődnek, amelyek a gazdanövény edénynyalábrendszerét összekötik az élőködő edénynyalábrendszerével. A gazdanövényre meglehetősen tömötten rácsavarodó arankaszáron sűrűen keletkeznek az érintési inger folytán szívók, azután egy időre a szár érzékenysége, ingerelhetősége megszűnik és néhány laza csavarodás keletkezik, amely után ismét fellép az ingerelhetőség és a szár ismét szorosabban csavarodik rá a gazdanövényre és a szívókat is sűrűbben fejleszti. Az arankának látszólag levéltelen, igen apró levelű, cérnavékonyágú szára nagyon kevés chlorophyllt is tartalmaz és igen szívós életű. A leszakított szárdarabok chlorophylltartalma gyarapodik, úgy hogy bizonyos ideig életben is maradnak, ha ezalatt a gazdanövénnyel érintkeznek, arra rácsavarodnak és szívóikat kifejlesztik. Már az eddigiek bizonyossága szerint is az aranka a gazdanövényekre károsan hat, buján megnövekedve a gazdanövényt meg is öli és ha elszaporodik, a mezőgazdának érzékeny károkat okozhat. A szárdarabok említett viselkedése az irtásánál is óvatosságot igényel.

A gyökérelőködők közül a kónya vicsorgó (*Lathraea squamaria* L.) magvai csak a gazdanövény közelében csi-



ráznak és pedig leginkább az éger és a mogyoró gyökérzete közelében.

A csirázáskor megjelenő két levélke a fejlett szár leveleihez hasonló. A szár alsó része gumós gyökértörzsek módjára fejlődik, amelyből ágak indulnak ki; mindezekből származó gyökerek a gazdanövény gyökereivel érintkezve számos szívót fejlesztenek az ágak oldalán, amelyek az előbb ismerte-



101. kép.

A kónya vicsorgó (*Lathraea squamaria* L.) virágzó növénye. Smalián után.

tett félélősködő tárogatófélek szívóíhoz hasonlítanak. A gyökértörzsből ered a földfeletti virágzó és pikkelyes levelű szár (l. 101. kép). A leveleken sajátos üregek vehetők észre, amelyekben különös epidermiszképletek vannak, amiért is sokan az üreges levelekben a rovarévésre való berendezést látták. Most a legtöbben az említett képleteket hidatódáknak tartják és a levelek sajátos berendezkedését a párolgás korlátozásával hozzák kapcsolatba. Minthogy

ez az élősködő vicsorgó már idősebb fás növények gyökérzetén élősködik és nem is terjed nagyon el, alig okoz számbavehető kárt.

Még kevesebb fejlettséget mutatnak az ugyancsak chlorophylltalan szádorgó (*Orobanché*) fajok, amelyek közül pl. a nagy szádorgó (*Orobanché major* L.) a szamárkenyérren (*Echinops*) és a búzavirág (*Centaurea*) fajokon, a



galajfojtó szádorgó (*Orobancha caryophyllacea* Sm.) a galajféléken (*Rubiaceae*), a fehér szádorgó (*Orobancha alba* Stev.) az ajakos virágúak fajain, a kis szádorgó (*Orobancha barbata* Poir.) többnyire a lóherén és a dohányfojtó szádorgó (*Orobancha ramosa* L.) a dohányon és a kenderen él. Amint látjuk, csak a két utolsó élősködik mezőgazdasági növényen, de csak a dohányfojtó szádorgó okoz károkat. A szádorgófajokban van ugyan egy kevés chlorophyll, de színük inkább világosbarna vagy kevésbé lilaszínű, különösen fejletlen állapotban; egyébként még inkább csökkevényesek, mint a vicsorgó. A gazdanövény jelenlétében bekövetkező csirázáskor a magból kilépő süvegtelen főgyökér és szikalatti szárrész hengeres vagy szálszerű test, mihelyt növekedésében azonban a gazdanövénynek gyökerére rátalál és vele érintkezik, elsősorban az érintkezés közelében, majd teljes egészében, a főgyökér megdagad és a szikalatti szárrész is egészen gumószerű lesz; a gumón később sem fejlődnek sziklevelek. A főgyökér azután belatol a gazdanövénybe és azzal teljesen összenő olyképen, hogy a megfelelő, különösen a táplálékot szállító elemek egybekapcsolódnak (l. I. kötet 339. kép), minél fogva az élősködő úgy viselkedik most, mint a gazdanövény gyökerének a hajtása. A gumószerű test felső részéből, tehát a tulajdonképeni csira tenyészőkúpjából fejlődik a virágzatot hordó szár, amelyen most, éppen úgy, mint a gumószerű részen, megjelennek a pikkelyszerű levelek és a gumós alsó részből gyökerek fejlődnek. Ezek a gyökerek képesek a gazdanövény gyökerével újból egybekapcsolódni. Még nagyobb mértékben csökkevényesedtek azok az élősködők, amelyeket a gombákhoz való hasonlatosságuknál fogva — amint említettük — fungoid-oknak neveznek. Ezek legtöbbnyire a forró övben tenyésző *Balanophoraceák*, a *Rafflesiaceák* és a Földközi-tenger vidékén tenyésző *Cynomoriaceák* családjába tartoznak; közülük mihozzánk legközelebb a Földközi-tenger vidékén található a *Pistacia lentiscus*, a *Myrtus communis* gyökerén élősködő *Cynomorium coccineum* L. (máltai kereszt) és a *Cistus*-gyökereken élő *Rafflesiaceák*-hoz tartozó *Cytinus hypocistis*.

A *Balanophoraceák* és a *Cynomoriaceák* va-



lamennyien chlorophylltalan gyökérélősködők csökkevényes levelekkel, virágzó szárral, amely a gazdanövény gyökerébe alsó, gumósan megdagadt részéből szívót bocsát. A csirának sziklevele és gyököcskéje nem fejlődik. A gumó alakjai és a virágzati kocsányok sajátságos alakulása, kapcsolatban a kellemetlen szaggal, a szömörcsőgre (*Phallus*) emlékeztet (I. I. kötet 340. kép).

A *Rafflesia* ceák teste másképen alakul ki, nevezetesen ezeken még inkább csökkevényesedett tenyésző szerveket találunk; a növény egészen a gazdanövény belsejében marad és legfeljebb a pikkely levele és a virágzati kocsány jut ki belőle, pl. a *Cytinus*-nál, vagy pedig csak az egyes virágok, mint a *Pilostyles*-en és az *Apodanthes*-en.

A *Rafflesia* ceák fajainak egész teste a gazdanövényben a kéreg alatt üres hengert alkot, amely a gyökér vagy a szár fatestét körülfogja, anélkül, hogy gumószerű daganatot vagy nagyobb mértékű elváltozást idézne elő.

Még inkább csökkevényesedik a *Pilostyles* teste, amely finom szálakból rakódik össze; ezek áthatják a fán kívül eső szöveteket és helyenként nagyobbra dagasztják. Ezekből a dagadásokból fejlődnek a virágok, amelyek azután áttörik a kérget. A virágok nem mindig kicsinyek, vannak közöttük jelentékeny nagyságúak, mint a *Rafflesia* patma virága. Ez a növény Jávában a *Vitis scariosa*-nak a talajon kígyószerűen elhelyezkedő gyökereiben élőködik; virága kellemetlen dögszagú és fél méternél nagyobb átmérőjű. Szumatrában a *Vitis*-fajok gyökerein élőködik a *Rafflesia Arnoldi*; ennek a virága 0'8—1 m átmérőjű és 5—8 kg súlyú, tehát a legnagyobb ismeretes virág a földön (I. 102. kép).

A *Rafflesia* ceák tenyésző szervei, teste élénken emlékeztetnek a fában élő gombák mycéliumára, amelyeknek módjára a fakéreg alatt terjeszkedve élnek, vagy pedig mint a *Pilostyles*, a szöveteket keresztül-kasul járva táplálkoznak egyéniségüknek jóformán teljes feláldozásával.

Az élőködéssel járó sajátságok. A táplálék felvételének módjával, a párolgással és az asszimilálással foglalkozó fejezetekben már rámutattunk arra a jelenségre, hogy a növényi test vagy testrészei a táplálkozásban rájuk váró fel-



adatok megoldásának megfelelően alakulnak meg. Kitűnő példaul szolgálnak erre a gombák amelyek valamennyien szaprofiták vagy paraziták és ennek az életmódnak megfelelően fejlődött ki testük mycéliumként, amely a táplálótalajon vagy talajban él és amely vékony szálaival, ágaival fel tudja keresni a táplálékot.

Az élősködő virágos növények tenyészőszervein hasonló módon azt találjuk, hogy azok is a szaprofita és a parazita élet-



102. kép.

A *Rafflesia Arnoldi* Szumatra szigetén, valamely szőlő testében élősködve, a háttérben a *Brugmansia Zipelii* (*Rafflesiaceae*) virágai. Schumann-Gilg után.

módhoz alkalmazkodva, csökkevényesen fejlődtek ki és pedig a szaprofitizmus és a parazitizmus mértékének megfelelően, csak úgy, mint az állatoknál. A táplálkozásban részes növénytagoknak ezt a csökkevényesedését megítélhetjük különösen akkor, ha az élősködő növényeket összehasonlítjuk azokkal a rokon növényekkel, amelyekből származhattak, pl. az arankát (*Cuscuta*) a szulákféle (*Convolvulus*) növényvel, a vicsorgót (*Lathraea*) a kakascímmerrel (*Alectorolophus*).



Amint feleslegessé válik a szerves táplálék felvételével a széndioxydasszimilálás, úgy tűnik el az élősködő növényekből a chlorophyll és velük együtt kisebbednek az asszimilálás helyéül szolgáló lomblevelek; ez az oka annak, hogy a televénylakók és az élősködők többnyire nem zöldek és hogy leveleik pikkelyszerűek.

A gyökerek is nagy változáson mennek át; vagy átalakulnak, vagy teljesen elcsökkvényesednek. A valódi szaprofitákon nem találunk gyökérszörzsálakat, a gyökerek rövidek, vastagok, ágatlanok, vagy el is maradnak. Az élősködők gyökerén nem fejlődik ki a gyökérsüveg és a gyökerek szövete többé-kevésbé mycéliumszerűen szálakra bomlik fel. Az élősködés végletében már az egész test ilyen mycéliumszerű (P i l o s t y l e s).

A világosságra jutott hajtások többnyire ágatlanok, feladatuk ügylátszik csupán csak a szaporodásra szolgáló tagok fejlesztése. A szaporodó szervek keveset változnak és csak a magkezdemény mutat messzemenő csökkevényesedést. A magvak igen gyakran nagyon aprók és a csira nagyon tagolatlan, végül csak sziklevel, gyököcske nélküli sejthalmaz (M o n o t r o p a, B a l a n o p h o r a).

Már a gombák sorában a szaporodási szervek csökkevényesedése is bekövetkezik, sőt maga a szaporodás is a szaprofita és a parazita életmódnak megfelelő módosulást mutat.

#### *Az élősködő növények tápláléka.*

Az előzőekben már rámutattunk arra, hogy az élősködő növények, mint heterotrof növények, szerves táplálékra szorulnak.

Az élősködő növények ismertetett sora bizonyosságot szolgáltat arról, hogy nem valamennyien alkalmazkodtak egyformán ehhez a táplálékhoz és pedig a hemiparaziták kevésbé mint a holoparaziták. Hiszen láttuk, hogy a félélősködők még zöld növények, tehát a széndioxydot még tudják asszimilálni, de mellett a szerves táplálék felvételére is alkalmasak. Ezek tehát valódi m i x o t r o f o k, akárcsak a húsevő növények. Nem is ismerjük még ezeknél az élősködő életmód jelentőségét. H e i n r i c h e r, akinek a félélősködők ismeretében nagyon sokat köszönhetünk, azt véli, hogy ezek a gazdanövényből csak szervet-



len anyagokat vesznek fel. A fákon élő fagyöngy és fakín táplálkozását sem ismerjük teljesen. Jóllehet, valószínű, hogy a gazdanövényből csak vizet és szervetlen sókat vesznek fel, a szerves vegyületeket pedig maguk készítik; e mellett tanuskodnék az a körülmény, hogy a szívók, illetőleg az eresztvények a gazdanövénynek vízszállító elemeivel kapcsolódnak össze.

A chlorophyllnélküli élősködőkre nézve már több bizonyossággal állíthatjuk, hogy a gazdanövényből szerves táplálékot vesznek fel, a vízzel és a szerves táplálék esetleges átalakításához szükséges szervetlen sókkal együtt, bár kevésbé kifejtett párolgási részeiből arra következtethetünk, hogy a szervetlen sókból bizonyára csak keveset vesznek magukba. Különben is a szádogónál rámutattunk arra, hogy a gazdanövényvel való kapcsolódásánál fogva a gazdanövény hajtásaként szerepel. A szádogó ennek megfelelően veszi át a kész táplálékot is, mint akár-mely autotrof növénynek chlorophyllnélküli tagja.

Az ilyen élősködők tehát csak a szerves szén- és nitrogénvegyületeket dolgozzák fel saját céljaikra, függetlenül a képződés helyétől, éppen úgy, mint az autotrof növényeknek bizonyos részei, például gyökerei. Ennélfogva az élősködő növények anyagcseréje, a szerves táplálék megszerzésétől eltekintve, tulajdonképpen nem különbözik az autotrof növények anyagcseréjétől.

Látszólag már jobban eltér a kizárólag szaprofita és parazita életmódú gombák anyagcseréje. Közelebbi vizsgálat azonban meggyőz arról, hogy a sajátos életmód kívánta anyagokon és változásokon kívül a gombák sejtje is csak ugyanolyan anyagokból épül fel. Maga a gomba is, ha egyszer megszerezte a szerves táplálékokat, ugyancsak a zöld növény módjára alkotja meg a különböző feladatokra felhasználható anyagait. A sajátos életmódnak kell tulajdonítanunk azt, hogy pl. a sejt falban chitin alakul meg, továbbá, hogy a nitrogénes tartalékanyagok sorában a volutin fordul elő bőségesen, amely még phosphort is tartalmaz.

A nitrogénhíjás tartalékanyagok sorában nem találjuk a keményítőt, mert hiszen a gombák sejtjében nincsenek chromatofórak. Ennek a helyét foglalja el, a zsírok és a cukorféle vegyületek mellett a g l y k o g é n, amelyet különösen az élénk nö-



vekedésű részekben találunk, ahol azután a sejttal anyagává alakul át. A glykogén különben vízben oldható és ilyen állapotban a jódtól borvörös lesz; egyébként kolloidális és még ismeretlen, nagy molekulású test; valószínű, hogy alkotásában nagyon közel van a keményítőhöz és még nem bizonyos, vajjon azonos-e az állatok testében található glykogénnel.

Erre pedig azért mutattunk rá közelebbről, hogy bizonyosságot szolgáltatassunk arról, miszerint az autotrof és a heterotrof növények anyagcseréje lényegében véve azonos módon folyik le és eltérés csak a szerves táplálék megszerzésének módjában tapasztalható.

### Az együttélés.

#### *A növény táplálkozására ható tényezők.*

A növények táplálkozásának különböző folyamataival megismerkedve, meggyőződhetünk arról, hogy a növény táplálkozásának menetére, módjára a legkülönbözőbb tényezők gyakorolnak hatást. Az autotrof növények rendes táplálkozását — amint láttuk — nagy mértékben módosítják környezetének tulajdonságai. Láttuk, hogy a legkülönbözőbb fizikai és kémiai tényezők érvényesítik hatásukat a táplálkozás folyamataira; eközben néha korlátozzák a táplálkozást és végül teljesen megakadályozva azt, a növény korai halálát, pusztulását okozzák. Mindezeket most újból összefoglalva, azt mondhatjuk, hogy a növény élete nagyrészt a rajta kívül eső világ hatásától függ.

Ebben a világban azonban nemcsak fizikai és kémiai tényezőket találunk, hanem e világban élnek még a növényekhez többé-kevésbé közel álló rokon, vagy távolabb álló egyéb szervezetek.

Ezeknek a szervezeteknek egymásra való hatásáról már egyes esetekben megemlékeztünk, minthogy azonban ezeknek a hatása nemcsak a növények egész életében, de legkülönösebben az egyes növények táplálkozásában is érezhető, kénytelenek vagyunk röviden ismertetni ezeket a viszonyokat is.

Igaz, hogy még nem ismerjük minden esetben a szervezetek egymásra való hatását, sok esetben azonban már közelebbről is bizonyosságot szerezhettünk ennek a hatásnak a



módjáról és mértékéről. Épen ezen utóbbi körülmény alapján fel kell tennünk, hogy az egymással akár közelebbi, akár távolabbi, térbeli vagy időbeli vonatkozásban vagy összeköttetésben lévő szervezetek egymásra hatnak. Ez az oka annak, hogy a növények táplálkozására ható tényezők közt a fizikai és kémiai tényezőkön kívül az élő szervezeteket is számba kell vennünk, mert ezek is hatnak a növények táplálkozására.

Az előző fejezetben azokkal a növényekkel foglalkoztunk, amelyeket televénylakóknak, szaprofitáknak nevezünk, azért, mert chlorophylljuk vagy csak alig elegendő a szénvegyületek alakítására (mint pl. a *Neottia*), vagy pedig egyáltalában nincsen chlorophylljuk, tehát a húmoszos, televényes talajban tenyésztve, szerves anyagaikat egyenesen a talajból merítik. A magasabbrendű televénylakó növények azonban a szerves anyagokat nem veszik magukba olyan egyszerű módon, mint a rendes táplálkozású autotrof növények a szervetlen anyagokat.

Kétségtelen, hogy — amint az autotrof növények nem zárkoznak el teljesen az esetleg a talajban levő szerves vegyületek felvételétől — úgy a szaprofita növények is gyökereikkel vagy talajbeli szárképleteikkel csekély mennyiségű oldott szerves vegyületet tudnak magukba venni; ez azonban nem fedezi szükségletüket. Ennek fedezésére nagyobb mennyiségre van szükségük, amelyet azonban magukra hagyva nem képesek megszerezni, amint azt a tenyésztési kísérletek bizonyítják.

A kevés chlorophyllal bíró vagy egészen chlorophylltalan televénylakó növények csak más szervezetek segítségével képesek a szerves táplálékot magukba venni, amelyekkel többé-kevésbé szorosan vagy lazán kapcsolódnak egybe.

Igaz ugyan, hogy amint a televényből való táplálkozás és a rendes táplálkozás közt egész sorát találjuk az átmeneteknek, úgyannyira, hogy — amint láttuk — az autotrof és a heterotrof táplálkozás között csak fokozatbeli különbség van, amiért is mindazon növények, amelyek a rendes táplálkozás mellett szerves anyagokat is vesznek fel, tehát a mixotrofok, de még az autotrofok maguk is, bizonyos esetekben kisebb-nagyobb mértékben épen oly módon kapcsolódnak össze más szervezetekkel, mint a szaprofiták.

Ha ugyanis az erdő televényében vagy más húmoszos ta-



lajban tenyésző növényeket sorra vizsgáljuk, azt fogjuk tapasztalni, hogy legvékonyabb gyökereik, amelyek épen a táplálékot veszik fel, nincsenek hajszálképletekkel fedve a rendes gyökerek módjára, hanem valamely gomba testével (mycéliumával) vannak mintegy köpennyel, betakarva. Ez a köpeny számtalan gombafonál összessége, amelyek nemcsak egymással, de egyszerűs mind a gyökér felületével is belsőleg összenőnek, sőt a gomba fonalai még be is hatolnak az epidermisz-sejtek közé és még a belső oldalról is közbe fogják az epidermisz-sejteket. A gyökér hosszanti növekedésével együtt nőnek és ezáltal a gyökér csúcsát egész életén át körülveszik, míg a gyökér növekedése folytán már hátrább kerülő gombarészek elpusztulnak és tartalmukat nagyon valószínűen a gyökér szívja fel.

A gyökereknek ilyen gombafonalakkal való egyesülését régebben már Schleiden is megfigyelte a Neottia-n, később Rees után Kamienski bizonyította be, de tulajdonosságainak és általános elterjedésének kifürkészését Frank-nak köszönhetjük, aki a gyökereknek a gombafonalakkal való ilyen összekapcsolódását mykorrhizának nevezte el és egyszerűs mind megállapította, hogy a mykorrhiza a televényes talajban tenyésző különböző növényeken fordul elő.

A mykorrhizát morfológiai szempontból az I. kötetben ismertettük, míg élettani szerepéről ebben a kötetben szoltunk már, így e helyen részletesen nem foglalkozunk vele.

#### *Az együttélés értelmezése.*

A növényeknek televényből való táplálkozása, illetőleg a nitrogéntartalmú vegyületek megszerzése tehát a mykorrhizákkal való társulás által megy végbe és pedig a gyökérnek a gombával való egybekapcsolódása által; másképen a magasabbrendű növények a televényből nem táplálkozhatnak. Lehetetlen ennek folytán ezt az egybekapcsolódást egyszerűen a véletlennek tulajdonítani, hanem ellenkezőleg a két különböző egyén együttes élettevékenységét egy bizonyos, az alkalmazkodás folytán létrejött célszerű berendezkedésnek kell tekintenünk. Épen ezért a két lény ilyenmő egybekapcsolódását, sőt sok esetben egyesülését, mint a szervezetek egyik jellemző életjelenségét



de Bary után együttélés-nek (szimbiózis-nak) nevezzük.

Az együttélésben a lények egybekapcsolódása bizonyára azért történik meg, mert ezen egybekapcsolódásból mindkettőre bizonyos előny háramlik. Ez az előny akár a kölcsönös megvédelmezés, akár a kölcsönös táplálkozás, akár pedig egyik részről a védelem, másik részről a táplálék nyújtása lehet. Ezeknek az előnyöknek, illetőleg ezeknek a viszonyoknak kifejtése nem mindig könnyű feladat, mert egyrészt az egyesülés folytán feltűnő folyamatok meglehetősen el vannak rejtve szemeink elől, másrészt nem is ismerjük még teljesen az egyesülés módját és az így létrejött életfolyamatot sem. Sőt megmegnehezíti még a jelenségek magyarázatát az a körülmény is, hogy az egybekapcsolódó lények szükséglete és ily módon előnye is még az együttélés folyamán is változást szenvedhet.

A zöld növények ektotroph mykorrhizája bizonyára előnyös úgy a gyökérre, mint a gombára, mert ezáltal minden valószínűség szerint a táplálékok kölcsönös kicserélése megyen végbe. Már az endotroph mykorrhizás növényeken a kölcsönösség nem olyan világos. Igaz ugyan, hogy kezdetben, amidőn a gombafonalak bejutnak a sejtekbe, úgy a plazma, mint a gombafonalak gyarapodnak nitrogéntartalmú anyagokban, különösen fehérjékben és e mellett a sejten belül eső fonalak védelemben is részesülnek, később azonban a gombafonalak plazmáját — amint láttuk — a gyökér sejtplazmája mégis nagyrészt felémészti, amiből aligha háramlik előny a gombára. Ugyanez az eset mondható a vitorlás virágúaknál tapasztalt együttéléstről és az éger, ezüstfa mykodomáciumáról, jóllehet ez utóbbi esetben a hosszabb élettartam valószínűleg a gomba védelmét is hosszabb időre biztosítja. — Már a tisztán heterotrof, tehát szaprofita növényeknél tapasztalt együttélés, mint a fenyőspárga-ektomykorrhizán, csakis a virágos növényre lehet előnyös, mert hiszen mindennemű táplálékot a gomba szolgáltat a televénytalajból; a gomba részére előny csak úgy származhatik, ha a felvett és a gyökérnek átszolgáltatott anyagot a gyökér sejtjei képességükkel átalakítják és azután ismét visszaszolgáltatják a gombának: ez utóbbi esetben az anyagok átalakulásából volna a gombának haszna. Ez azonban csak föl-



tevés, amely még bizonyításra szorul, sőt nem is valószínű.

Minden esetben azonban világosan látható, hogy az együttélésben az egybekapcsolódott lényekre az együttélésből valaminemű előny háramlik, amely jó barátság azonban nem alapszik mindig a teljes kölcsönösségen. Ha az együttélésben a kölcsönösség teljesen kielégítő, az esetben életkölcsönösségről (mutuálisizmusról) beszélünk.

A mykorrhiza és az említett mykodomácium minden valószínűség szerint olyan együttélés, amelyben a kölcsönös előny nem nyilvánul meg egyszerre, minden esetre azonban kölcsönösségen alapuló együttélés. Ugyanis az egybekapcsolódás első időszakában a gomba legalább is kedvező helyzetbe jut és csak a második időszakban esik jórészt a gazdanövény áldozatául.

Éppen ez utóbbi okból sokan a mykorrhiza és a mykodomácium esetében az együttélés különleges esetét látták, amelyben a két együttélő közül az egyik a másik táplálására szolgál és ezért az együttélés e nemét külön névvel, tápláló együttélésnek, *nutricizmus*-nak nevezték. Erre a kifejezésre azonban nincs szükségünk, mert a mutuálisztikus kifejezéssel már de Bary az antagonisztikus együttélést állította szembe, amelynél az egyik együttélő (szimbionta) a másik rovására él.

Az antagonisztikus (ellenségeskedő) együttélésre számos példát soroltunk fel már, megvilágítva annak különböző viszonyait az élősködő és gazdanövényeinek a viselkedésével.

Ma már legtöbbször tágabb értelemben fogják fel az együttélést, sőt nem is vonatkoztatják csupán csak a táplálkozás jelenségeiben megnyilvánuló életkölcsönösségre vagy bekapcsolódásra, hanem beleértik az élő szervezetek mindennemű egymás mellett vagy egymásután következő egybekapcsolódását vagy vonatkozását. Ez utóbbiakra szándékozunk néhány különleges példát felsorolni, minthogy az összes ilyen esetekre még mai ismereteink alapján nem tudunk rámutatni. Az esetek megítélésében azonban nagyon óvatosan kell eljárunk; pl. a mykorrhizához, illetőleg a felsorolt mykodomáciumokhoz nagyon hasonló a bakteriorrhiza, amelyre Hiltner és Strömer mutatott rá. Nevezetesen a répa és a borsó gyökerének külső sejtjeibe a baktériumok nyomulnak, amelyek a



gyökerek külső rétegeit meg is barnítják, különben pedig a gyökerek egészségére nem károsak. Ezek a baktériumok csak megakadályozzák más káros szervezetek behatolását. A virágos növény ez esetben táplálékot nyújt a baktériumnak és viszont tőle védelmet nyer. A fentebb felsorolt mykodomáciumok kétségen kívül mutuálisztikus együttélés esetei; vannak azonban mykodomáciumok, amelyek antagonisztikus együttélés folytán jöttek létre.

#### *A lichenizmus.*

A kölcsönösségen alapuló együttélés legjellemzőbb és legeredetibb alakját mutatják a növények között a zuzmók (*Lichenes*), amelyeket még ezelőtt néhány évtizeddel is a moszatokkal és gombákkal egyenrangú kryptogám növénycsoportnak tartottak. A zuzmók teste belső alakulásának pontos vizsgálata derítette ki, hogy a zuzmó teste tulajdonképpen nem egy növény, hanem két növény szorosabb egybekapcsolódása és pedig egy moszat és egy gomba együttélése. A zuzmó teste külsejéből erre az együttélésre nem lehet következtetni, mert semmi nyoma sem látszik a moszatnak, a gombatest külső alakja pedig annyira elváltozott, hogy a közösleges gombák alakjától teljesen elüt. Csakis a termések alakulása és fejlődése tartotta meg a gombák termésének jellemző vonásait.

Ha ugyanis valamely zuzmónak a testét keresztülvágjuk és nagyítóval megvizsgáljuk, azt fogjuk találni, hogy a test színtelen fonalakból rakódik össze, amelyek zöld testeket fognak körül, a moszatokat, és pedig vagy úgy, hogy a moszatok a zuzmó testében a gombafonalak között egyöntetűen oszlanak el (rétegtelen zuzmók, *lichenes homoeomerici*), vagy pedig úgy, hogy a moszatok a zuzmók testében csak egy határozott rétegben helyezkednek el (réteges zuzmók, *lichenes heteromerici*). Előbbire példa az *Ephebe pubescens* és a *Collema*-fajok, utóbbira a *Xanthoria parietina*, a *Cetraria islandica*, stb. A gombafonalak közrefogta moszatokat a gomba testének külön alkotórészeként tekintették és gonidium-oknak nevezték, amely elnevezést a zuzmók testére vonatkozó ismereteink tisztázása után is megtartották. A gonidiumok tehát a zuzmó testen belül lévő moszatok.



A színtelen gombafonalak terméseket érlelnek, amelyek alapján felismerhető, hogy a gombák két nagy csoportjának fajai vesznek részt a zuzmók alakításában, nevezetesen a tömlős gombák (*Ascomycetes*), azután igen kis részben és inkább csak a föld forró és déli övében a pálcikás spórások (*Basidiomycetes*), aminek megfelelően az *Ascolichenes* és *Basidiolichenes*, vagy *Hymenolichenes* csoportokat különböztetjük meg.

A moszatok csoportjai közül sem mindegyik vesz részt a zuzmók alakításában. Ugyanis a zuzmók testének moszatai, amelyeket gonidium-oknak nevezünk, a *Schizophyceae* és *Chlorophyceae*, tehát a két alsóbbrendű csoportba tartoznak; például a következőket említjük meg:

A *Parmellaceae*-k-hoz tartozó *Protococcus viridis* Ag., a *Physciá*-ban, *Usneá*-ban, *Cladoniá*-ban él; a *Chaetophoraceae*-k-hoz sorolt *Trentepohlia Iolithus*, a magas hegység ibolyaszagú moszatja, a *Gyallecta cupularis*-ban él; a *Nostocaceae*-k-hoz tartozik a *Peltigera gonidiuma*, a *Gloeocapsa crepidinum*, a *Verrucaria halodytes*-ben; a *Sirosiphonaceae*-k-hoz sorolják az *Ephebe pubescens* gonidiumát.

Közel rokon zuzmók gonidiumaiban gyakran ugyanazon moszatra ismerünk, de az ellenkező eset is lehetséges, pl. a *Pannariák* körében. Sőt ugyanazon zuzmó testén belül is különböző moszattípus helyettesítheti egymást vagy együttesen is előfordulhat, pl. *Bonnier* ugyanazon *Parmeliá*-ban a *Protococcus viridis*-t helyettesítve találta a *P. botryoides*, sőt a *Trentepohlia Iolithus*-szal.

Ismerve már most a zuzmó teste alkotását, az alkotóelemeket, tekintsük meg, milyen a két lény egybekapcsolódása? Vajon teljes-e az életkölcsonösség, vagy pedig nem hátrányos-e valamelyikre az együttélés? A gombafonalak által körülvelt és betakart gonidiumok jól tenyésznek, sőt még a zuzmó testén belül oszlás útján szaporodnak és ennél fogva fel kell tennünk, hogy a tenyésztésükhöz szükséges feltételeket megtalálták. Ugyanazt tapasztaljuk a zuzmó gombáján is, holott — amint az előbbi fejezetben kifejtettük — a színtelen gombák csak szerves talajban tudnak táplálkozni, már pedig a legtöbb zuzmó a pusztá



sziklán tenyészik, sőt legelsőnek jelenik meg a szervesetlen talajon a növények sorában. Ime tehát a zuzmó gombája is megél szervesetlen talajon, de csak azért, mert a chlorophyll hiányát pótolják a fonalai közé zárt gonidiumok, amelyekkel szemben nagyjában olyan viszonyban van, mint a chlorophylltartalmú sejt a chlorophyllnélküli sejtrel szemben.

A gomba ugyanis azáltal, hogy betakarja a zuzmót, megvédi őt a vízvesztéstől, illetőleg a víz elpárologtatásától, azon felül még a levegő páráját is magába gyűjti, csapadékát felfogja és átadja a gonidiumokat alkotó moszatoknak; ezek ennél fogva kellő víz és világosság birtokában, amely a gomba alkotta kérgen át jut hozzájuk, a zuzmó testébe jutott levegő széndioxidjából, amelyet a gomba lélekezése által még folyton gyarapít, áthasonítás útján megalkotják a szerves anyagot, nevezetesen a cukrot, amelyből azután a gombáknak is juttatnak. Ellenben a gomba a védelmen és a vízen kívül a moszatnak a cukorért cserébe még szervesetlen anyagokat is ad, amelyeket a talajból szálaival vesz fel, azáltal, hogy savakat választ ki és ezekkel a legkeményebb kőzetet is feloldja. Éppen ez teszi lehetővé azt, hogy a zuzmók a többi növényekre nézve hasznavehetetlen sziklákon is megtelepedhetnek és úttörői a növénytenyészet terjeszkedésének. A szénhidrátokon kívül a zuzmónak szüksége van még a fehérjeféle vegyületek alkotása végett nitrogénre is, ezt azonban minden valószínűség szerint, vagy a csapadékkal a zuzmó testére jutott nitrátokból, vagy ammoniavegyületekből szerzi meg, vagy pedig a gomba adja neki. Bizonyos gonidiumokat alkotó moszatok peptonnövények, valószínű tehát, hogy a moszattól nyert szénhidrátok fejében a gomba peptont szolgáltat. Ilyen módon tehát a két együttélő között a táplálék kölcsönös kicserélése is folyik, ami azáltal válik lehetségessé, hogy a gombafonalak végeikkel, vagy sokszor oldalaikkal is hozzáfűlnek a gonidiumokhoz, azokat körülveszik, sőt sok esetben végeikkel a gonidiumok belsejébe is furakodnak.

Az együttélés megfigyeléséből azonban mégis arra a következtetésre jutunk, hogy bár a táplálkozásban bizonyos kölcsönösség tapasztalható, azért mégis a gombák jutnak túlsúlyra, mert ezek nagyobb mértékben gyarapodva, még külön szaporodásra is képesek gombaspóráik útján. Igaz ugyan, hogy a zuz-



móknak van egy szaporodás módja még telepük feldarabolódásán kívül, amelyben néhány gonidium megfelelő gombafonalakkal egyesülve leválik a zuzmó testéről és új zuzmótelepet alkot. Ez az úgynevezett szorédiumok által való szaporodás. Csak mellesleg említjük meg, hogy a zuzmó spórájából csak az esetben fejlődik ki ismét zuzmó, ha a spórából kifejlődő gombafonál megfelelő gonidiummoszatokra akad.

Amíg tehát a zuzmón belül a moszat megtartja önállóságát, a táplálkozásban mégis csak szolgájává szegődik a gombának, úgyhogy sokan e viszonyt helotizmus-nak, rabszolgaságnak is nevezték, míg újabban Soraue r ezt a sajátságos együttélést a mindenesetre legmegfelelőbb lichenizmus elnevezéssel illette. Reinke a zuzmó együttélését konzorcium-nak nevezte, pedig — amint látjuk — a két együttélő nem teljesen egyenjogú.

Ezt a szolgaságot a moszatok azzal boszulják meg, hogy a gomba, illetőleg zuzmó külső alakulására gyakorolnak hatást, ami különösen abban nyer kifejezést, hogy a chlorophyllal kapcsolatban, éppen mint a virágos növényeken is, a felület nagybodása lép föl. Ez az oka annak, hogy a zuzmó gombája külső alakulásában annyira elüt a többi gombáktól. Sőt az Eph e e és némely más zuzmó testének alakját egészen a moszat szabja meg, amennyiben a gombafonalak a moszatot vagy csak burokként veszik körül, vagy pedig csak a moszat nyálkájában tapadnak meg.

A zuzmók ezen együttélését De B a r y már sejtette (1866), de csak Sch w e n d e n e r (1869) derítette ki és utána B o r n e t, S t a h l, B o n n i e r, stb. világították meg a jelenséget, kísérletileg is bizonyítva az előbb mondottakat.

A zuzmó együttélésével kapcsolatban meg kell még említenünk a p a r a s z i m b i ó z i s t, amidő n a zuzmóra idegen gombák telepednek és az eredeti zuzmó gonidiumaitól is vesznek el táplálékot. Sőt az antagonisztikus együttélés még jobban bonyolódik pl. a N o r m a n n - t ó l a l l e l o s z i t i z m u s - n a k nevezett esetben, amidő n idegen zuzmók spórái jutnak valamely zuzmótelepre, ott csiráznak és rajta élőködnek, sok esetben megtámadva úgy a gombafonalat, mint a gonidiumokat is.

A zuzmóknak most vázolt táplálkozási viszonyai alapján



tehát lehetetlen, hogy a zuzmók az aljazaton, pl. a fák kérgén élősködjének. Ezért a zuzmók a fatörzseken nem élősködésük miatt károsak, hanem inkább azért, hogy sűrűn ellepve a kérget, a fa szellőztető nyílásait elzárják és a szükséges lélekzést megakadályozzák.

*Az oltott növények együttélése.*

Az életkölcsonosság még szebben tűnik ki az oltott növényeken. Ismeretes, hogy már évezredek óta szokás a jóféle, nemes gyümölcsöt termő fákat, szép virágot fejlesztő rózsákat stb. akként szaporítani hogy a jóféle fajta gallyait, illetőleg hajtásait mint oltóvesszőt, vagy csak rügyeit (szemeit) a kevésbbé jófajtájú, vagy — amint mondani szokás — „vad“ csemetékre, vad tövekre, mint alanyra, megfelelő módon ráillesztik, oltják, szemezik, hogy azután a két egyed darabjai a metszési felületen összeforradjanak, egybenövekedjenek.

Tehát ez esetben is csak úgy, mint a zuzmóban, két egyén egybenövéséből keletkezik egy új, külön egyéniségű test, amelynek két részlete különböző munkát végez a táplálkozásban és pedig az alany gondoskodik gyökereivel a víz és a nyers táplálóanyagok felvételéről, amelyeket azután elszállít a jóféle fajból alakult részletnek, viszont ez gondoskodik a víz elpárologtatása által a vízszállítás fenntartásáról és a széndioxyd asszimilálásával a szerves táplálóanyagokról, amelyeket azután lefelé szállít az alany alkotta alsó rész és gyökerek fenntartására és gyarapítására. És ha kellőképen gondoskodunk az oltvány ápolásáról, ez a viszony meg is marad állandóan; elhanyagolt ápolás mellett megtörténik, hogy az oltvány alsó része, az alany is fejleszt zöld leveleket, amelyek azután szintén résztvesznek az asszimiláták készítésében. A két rész egyesülésének következménye a kölcsönös táplálkozás és ennek lényegén semmit sem változtat az, ha egy alanyon nem is egy, hanem több oltógallyat helyezünk is el.

Az oltás folytán együttélő egyedek nemcsak egybekapcsolódtak, hanem egyúttal a szó szoros értelmében össze is nőttek, de mindegyik egyén az oltás nélkül is külön-külön önálló életre képes. A lichenizmussal szemben tehát ez szorosabb egyesülés, ellenben a zuzmók együttélőinek önállósága általában kisebb.



*A térbeli élősködés mint együttélés.*

Az együttélés körébe soroljuk azokat az eseteket is, amidőn a moszatok más magasabbrendű növények testében, vagy a test által alkotott üregekben tenyésznek. Ezen esetek mindegyikéről még nem mutatták ki egész határozottsággal, hogy a két növény egybekapcsolódásából minő előny származik egyikre is, másikra is, éppen azért sokan nem is hajlandók ezeknek a lényeknek egybekapcsolódásában a táplálkozás célját szolgáló életkölcsonosságot elismerni és a jelenséget úgy fogják fel, hogy e moszatok csak életük biztonsága kedvéért keresik fel a magasabbrendű növények üregeit és ezért az egészet csak térbeli élősködésnek tartják, mint pl. aminőt a tőzegmoha (*Sphagnum*) vízgűjtő sejtjeibe került moszatoknál, vagy aminőt a *Lemna trisulca* egyedeit lakó *Chlorochytrium Lemnae* Cohn-nál tapasztalunk. A következő példákból azonban ki fog tűnni, hogy valószínűleg ezen térbeli élősködés nem mindig kölcsönös viszony, hanem átcsaphat az antagonisztikus együttélésbe is.

Feltűnő, hogy az alább ismertetendő esetekben mint együttélők mindig a *Nostocaceák*-hoz tartozó moszatok (algák) szerepelnek: az *Anabaena Azollae* pl. az üvegházakban és a szobai akváriumokban is tenyésztett apró *Azolla* nevű vízi haraszt fajainak bizonyos helyein él. Az *Azolla*-levelek egy felső húsos úszó karéjból és egy alsó, hártvás, alámerült karéjból állanak. Az alsó karéj szövete szűk nyílású üreget fog körül, amelyet az *Anabaena* gyöngysorszerű szálai egymással összegabalyodva töltenek ki. Az üreg falából állítólag elágazó szőrszálak nyúlnak be a moszat szálai közé.

Különös volna, hogy az *Azolla* levelei ezeket az üregeket csak azért fejlesztenék ki, hogy az *Anabaena*-nak lakást biztosítsanak. Ebben az együttélésben is bizonyára, mind a két együttélőnek jut valamelyes szerep.

Más esetekben a moszatok a külső világtól annyira el vannak zárva, hogy táplálékukat csak a nekik lakást adó növény segítségével szerezhetik be, tehát jóformán antagonisztikusan viselkednek.

Ezt találjuk a nálunk csak ritkábban tenyésztett *Gunnera scabra* és *G. macrophylla* szárrészében, ahol a



kéreg területében a nyálkamirigyek eloszlásának megfelelően találni kékeszöld fészkeket, amelyeket a *Nostoc punctiforme* (Kütz.) Har. foglal el. Ez a moszat a pálhalevelek közötti nyálkacsatornákon jut a kéregsejtek közé. Hasonló módon él az *Anthoceros laevis* és a *Blasia pusilla* testében a *Nostoc lichenoides*, amely nélkülök külön a szabadban is megél és csak előre alkotott nyílásokon jut be a nevezett májmohok testébe. További sorsukról semmit sem tudunk. Némelyek a *Gunnera*-t lakó *Nostoc*-ról azt állítják, hogy a sejtek üregébe is be tud hatolni és tartalmukat felszívja, a növénynek minden kára nélkül, amiért is fakultatív parazitának tartják. Annyi bizonyos, hogy a *Gunnera* nélkülök is éppen olyan jól tenyészik, mint velük.

Az üvegházainkban általában tenyésztett és szép leveleinél fogva nagyon kedvelt *Cycas*-félék (*Cycas*, *Ceratozamia*, *Encephalartos*, *Dioon*) tenyésztésére szolgáló talaját megvizsgálva, azt fogjuk találni, hogy a talaj fölé emelkedő gyökerek sajátságos módon ágaznak el és többé-kevésbé korallszerű külsőt mutatnak. Ha e gyökereket keresztben elvágjuk, akkor a kéreg alatt egy zöld övet találunk, a gyökerek hasszanti metszetében pedig két a csúcs felé haladó görbe zöld réteget. Ezen zöld, helyesebben mondva kékeszöld sávok cölöpszerűen megnyúlt parenchymasejtekből állanak, amelyek között számos egymásba fonódott szálát találjuk egy a *Nostocaceák*-hoz tartozó moszatnak (*Anabaena Cyadeorum Reinke*).

A moszatok által elfoglalt réteggel két szomszédos réteg sejtjei sajátságos tömlőszerű kitüremléseket nyernek. Úgy ezeknek, mint az előbb említett parenchymasejteknek a fejlődését tisztán az *Anabaena* jelenléte indítja meg.

Ebből az okból, de meg azért is, hogy az *Anabaena* k évek hosszú során a talajtól eltakart gyökerekben is megélnek, ahol tehát széndioxydot nem asszimilálhatnak, fel kell tennünk, hogy a gazdanövény táplálja őket.

P r a n t l vizsgálódásai szerint az ilyen módon élő *Nostoc*-féle moszatok a levegő szabad nitrogénjét magukba tudják venni és vegyületté alakítják át, amelyet azután a magasabbrendű növények vesznek át, kivált ott, ahol a *Nostoc*-szálak



közé szőrszálak nyomulnak be, mint az *Azolla*-n. Viszont a moszat bizonyos anyagokat nyerhet a növényből, pl. a lélekzés-nél kiválasztott széndioxyd is hasznára lehet.

*Prantl*-nak ez az eredménye még idáig nem nyert megerősítést, úgyhogy az együttélés ezen esetei még máig sincsenek teljességgel megvilágítva.

### *Az állat és növény együttélése.*

Az együttélés eddig említett eseteivel még mindig nem merítettük ki az együttélés bámulatos változatosságát, amely még fokozódik azok által az esetek által, amelyekben a növények és állatok egymás életfolyamatának, sokszor épen táplálkozásának biztosítása végett egyesülnek. Az állat és növény együttélése ugyan nem minden esetben olyan, hogy a két lényt egymásra való utaltsága egyszersmind egymáshoz is köti, de azért egymáshoz való vonatkozásaik olyanok, hogy lehetetlen föl nem ismerni az együttélés legfontosabb jelenségét, az egymásra való utaltságból eredő hasznosságot.

Az együttélés előbb ismertetett jelenségeiben a két lény egybekapcsolódása vagy egymáshoz való közeledése (együttlakás) könnyíti meg a kölcsönös vonatkozást és a táplálkozásban való kölcsönös támogatást, amiért is *Pfeffer* az együttélésnek ezt a jellemző alakját *konjunktus* néven különbözteti meg az együttélésnek azoktól az eseteitől, amelyekben a lények kölcsönös támogatása bizonyos határozott célok elérése végett következik be, anélkül, hogy a két lény egybekapcsolódása szoros volna, vagy anélkül, hogy a két lény eme törekvésében hosszabb időre volna egymásra utalva (külön lakók szimbiózisa). Ilyen esetekben *Pfeffer* a szimbiózist *diszjunktus*-nak nevezi.

A növények eddig ismertetett kölcsönös antagónisztikus együttélése és a térbeli parazitizmus, mind a *konjunktus* szimbiózis jellemző sajátságait tárják elibénk. A növények *diszjunktus* szimbiotikus eseteinek ismertetését későbbre halasztva, most csak az állatok és növények közti szimbiotikus jelenségekre óhajtunk rámutatni. Az állatok és növények együttélésében, épen úgy mint a növények egymással való kapcsolódásában is meg lehet különböztetni az egybekötött (*konjunktus*)



és az elkülönített (diszjunktus) egyedek egymásra való vonatkozását.

Ilyen egymástól elkülönített kölcsönös vonatkozás mutatkozik a növények megporzása és a rovarok között, amely esetekben a növények bizonyos kedvezményben részesítik a rovarokat, ezek pedig a kedvezményt a virágpornak egyik virágból a másikba való átvitelével hálálják meg.

Az állatok és növények közti szimbiotikus egybekapcsolódás létrejöhet a táplálkozásban való támogatás, továbbá a táplálkozásra szolgáló szervek, tagok megvédése céljából is.

A táplálkozásban való kölcsönös támogatást szolgálja az az együttélési viszony, amely az alsóbbrendű állatokat az alsóbbrendű moszatokkal köti össze; régebben a kettőnek egyesülését nem ismerték fel és egységes lényeket láttak bennük, de úgy állati, mint növényi tulajdonságait látva, annak idején őket állatnövényeknek fitozoáknak nevezték. Ezeknek együttélésével Entz is részletesen foglalkozott, egybeállítva az ismeretes eseteket.

Legismertebb ezek közül a zöld édesvizi polip (*Hydra viridis*) esete; ezen állat testének belső rétegében zöld színű moszatsejtek vannak (*Zoochlorellák*), amelyek az állati test sejtmagjával lépést tartva szaporodnak, osztódnak, sőt még a hydra petéibe is bejutnak, úgyhogy ezen együttélés egyik ivadékról a másikra már a peték által származik, úgy mint a zuzmóknál a szorédiumok által.

Hogy az állat testében levő sejtek csakugyan zöld moszatsejtek, azt Beijerinck mutatta ki, amennyiben ő a zöld sejteket az állat testéből kiszabadítva önállóan tenyésztette és ekkor kiderült, hogy e moszatok azonosak a nagyon elterjedt alsóbbrendű moszattal, a *Chlorella vulgaris*-al.

A két lény szimbiózisa mindkettőnek táplálkozására előnyvel jár, mert a moszatok asszimilálása folytán fejlesztett szénhidrátokat az állat felhasználja, úgy, hogy szűrt vízben is megélhetnek, ellenben a moszatok, úgy látszik, nitrogéntartalmú vegyületeket nyernek az állat testéből és egyúttal más állatok ellen való védelmet.

A folyami szivacs (*Spongilla fluviatilis*) is zöld színű moszattal él együtt, a *Chlorella infusiorum*



(*Protococcus infusiorum*, *Zoochlorella parasitica*)-al, de peték által az együttélés nem örökölheto; itt tehát az együttélés még nem erősödött meg annyira, mint az előbbinél.

Az együttélés azonban még előrehaladottabb is lehet, mint pl. a *Convoluta Roscoffiensis*, kerekeshéreg és valamely moszat között. Ezen állat testében levő zöld asszimiláló szövetet alkotó moszatok önállósága teljesen elveszett és a zöld sejtek az állati test kiegészítő részeivé süllyedtek, de már külön sejtfalat nem fejlesztenek. Ilyenformán ezek már az állat táplálkozásában a jól tartott és táplálékot készítő rabszolga szerepére alacsonyodtak le.

A moszatoknak olyan szereplését az állatok testében, mint amilyenekről a *Spongilla*, a *Hydra* és a *Convoluta*-nál megemlékeztünk, az alsóbbrendű állatok sorában a legváltozatosabb alakban és a legkülönbözőbb átmenetekben találhatjuk meg. Pl. *Chlorella* fordul elő a *Stentor polymorphus*, *Paramecium*, *Bursaria* stb. állatokban, ellenben a *Zooxanthellák* a *Radioláriák*, *Bryozoák*, sőt a *Coelenteráták*-ban is előfordulnak.

Az állatok és növények intercelluláris szimbiózisával az utóbbi időben különösen Buchner foglalkozott, aki ezt a benső együttélést a fenti névvel látta el. A már ismertetett eseteken kívül az utóbbi évtizedekben végzett vizsgálatok még számos újabb és rendkívül érdekes intercelluláris együttélést tártak fel. Így különösen nagyon érdekes a *Zoochlorellák*-nak a *Rhizopodák*-kal, a *Ciliaták*-kal és a *Flagellaták*-kal való intercelluláris együttélése. Ugyancsak rendkívül érdekes a *Zooxanthellák*-nak szintén a protozoákkal való együttélése. A baktériumoknak egyes *Amoebák*-kal való együttélésének egyik legklasszikusabb példája a *Pelomyxa palustris*-nak baktériumokkal való szimbiózisa.

De ezeken kívül az újabb kutatások bebizonyították, hogy az alacsonyabbrendű moszatok még a férgek egyes fajaival is képesek szimbiózist létesíteni.

Az említett *Zoochlorellák* és *Zooxanthellák* még a *Bryozoák*-kal, az *Echinodermák*-kal, a *Molluscák*-kal és a *Tunicaták*-kal is együttélésbe léphetnek.



De nemcsak az alacsonyabbrendű moszatokat találjuk meg az együttélésnél, hanem például a *Cyclostomák*-nál baktériumokat, a *Molgulidák*-nál pedig szimbiotikus gombafonalakat találtak. Itt kell megemlékeznünk az *Insecták*-nak intercelluláris szimbiózisáról is. Rendkívül érdekes pl. az *Aphidák*-nak (pl. *Drepanosiphum*) szimbiózisa, ahol *Peklo* vizsgálatai szerint a növényi szimbionták az *Azotobacter* *genus*-ba tartozó baktériumok.

Nagyon érdekes a növényi szimbiontáknak a rovarok testében való elhelyezkedése és azután ezeknek vándorlása és fejlődése a gazdaállat szaporodása során. Kimutatták ezeket a rovarok rendkívül sok fajánál, így pl. a hangyáknál, a *Lepidopterák*-nál, a *Chermidák*-nál, a *Culicidák*-nál, a *Pediculidák*-nál stb. Az *Insecták*-nak a legalacsonyabbrendű növényekkel való szimbiózisára vonatkozó növényi szimbiontáknak rendszertani helyét illetőleg még nem egységesek a vélemények. Egy részük kétségtől a gombákhoz tartozik, de — amint említettük — a baktériumok is képviselve vannak. Azonban *Buchner* szerint a rovarokkal szimbiózisban élő növények jelentékeny része a *Saccharomyces* nevű tömlős gombához tartozik. Mindenesetre itt már a zöld moszatok alig vannak képviselve.

Ami most már az együttélés élettani részét illeti, úgy ez a kérdés még nincsen teljesen felderítve. Bizonyos, hogy az ide tartozó esetek jelentékeny részében, így különösen a *Peklo* által felderített *Azotobacter* esetekben a növény a levegő szabad N-jét veszi fel és hasznosítja a gazdaállat számára. Másrészt kétségtől különösen a cellulózon és a fán élősködő rovaroknál a velük élő gombák a cellulóznak és ligninnek bontásánál és megemésztésénél is segídeknek és mindezek helyébe a gazdaállattól szerves anyagokat kapnak. Azonfelül vannak rovarok, amelyek pl. a különböző, nehezen emészthető növényi részekben élősködnek (viasz, szőrök, tollak, szörmék) és amelyek a növényi szimbiontákat kétségtől szintén ezen anyagok könnyebb feldolgozására használják fel. Így pl. a hangyák növényi szimbiontái teljesen hasonló szerepet játszanak ezen állatok táplálkozási folyamatainál.

Végül még egészen röviden megemlékezünk az ú. n. vi-



lágítási szimbiózisról, amelyeket a Coleopterák-nál és a Pyrosomák-nál észleltek, de megtalálták ezenfelül még más tengerlakó állatnál is. A növényi szimbionták kétségkívül a gombák közé, mégpedig valószínűleg túlnyomórésztben a Phycomycesek közé tartoznak. Az idevonatkozó vizsgálatok azonban még nincsenek teljesen lezárva, úgyhogy ezeknek a részletes ismertetésével itt nem foglalkozhatunk. Idevonatkozólag különben utalunk Buchner-nek legújabbán megjelent kiváló munkájára.

Ugyancsak az együttélés körébe tartoznak azok az esetek is, amelyekben a moszatok a tengeri állatok héjára telepednek vagy maga az állat telepíti őket oda, hogy az így megtelepedett moszatok védőburkában az egyéb állatok elől rejtve maradjon, viszont a moszat ennek fejében pl. a csigahéjak mesztét is felhasználhatja táplálékkul és a mozgó állat más és más helyekre jutva, újabb és újabb tápláló anyagokat nyer.

A táplálkozásban való kölcsönös támogatással találkozunk abban az együttélésben is, amelyet a májmohok és a kerekesszék (Rotatoria) alkotnak, ha nem is minden esetben. Ugyanis — Delpino, Kerner és Zelinka tapasztalata szerint — a fák törzsén élő májmohok levélzugaiban a kerekesszék, különösen a Callidina symbiotica és C. Leitchii élnek. A májmohok közül a Radula complanata, a Lejeunia serpyllifolia, a Frullania dilatata, a F. Tamarisci levelei két sorban állanak és a kéreghez hozzásimulnak; a levelek alsó felülete fülszerű öblöket alkot, amelyekbe a fatörzsekről lefutó víz bejut és ott még szárazság idején is sokáig megmarad, de egyúttal beleviszi a magával ragadt szervetlen és még inkább a szerves anyagokat tartalmazó port. A leveleknek ebben az üregében helyezkednek el a kis állatkák és táplálkoznak az ott megrekedt lényekkel, mint az ázálékokkal, moszatokkal stb.-vel. A kerekesszék a májmohok adta szállást és a szállásban nyert táplálékot meg is hálálják.

Nem is szólva arról a kölcsönös szolgálatról, hogy az állatkák kilehelte széndioxidot a növény közvetlenül felhasználhatja és az állat az asszimilálásnál felszabaduló oxigént közvetlenül veszi igénybe, az apró állatka főképen azzal fejezi



ki háláját a májmoh iránt, hogy az általa felemésztett állatokból származó ürüléket, tehát nitrogéntartalmú trágyát juttat a májmohának, amelynek, mint epifita növénynek nitrogéntartalmú anyagok nem állanak bőven rendelkezésére. A kerekeshéreg nélkül nem tudná megemészteni a levél a zugába jutott állatkákat vagy növényeket, tehát kénytelen volna nélkülözni a nitrogéntáplálékot.

**A gubacsok együttlélése.** Hasonlóképen az együttlélés fogalma alá kell foglalnunk az állat és növény életjelenségeinek azt az egybekapcsolódását, amelyben az állatok a növényeken a gubacsok (*Zoocecidiumok*) létesítésével sajátos kinövéseket idéznek elő. Az állatok sorából a férgek (*Helminthoecidiumok*), az atkák (*Phytoptocecidiumok*), a legyek (*Dipteroecidiumok*), a hártás szárnyúak (*Hymenopteroecidiumok*) stb. létesítenek kinövéseket, gubacsokat. A gubacsok alakulása minden esetben a növények sejtjeinek protoplazmájából indul ki és mindig megfelel az egyes állatoknak alakban és színben. E mellett a gubacsok úgy a különböző növényeken, mint a növények különböző részein, a gubacskelető állat tulajdonságainak megfelelően fejlődnek ki; nem azon sérülés folytán fejlődnek ki, amelynek útján az állat petéjét a növény testébe tolja, sem pedig a petével együtt a levél sejtjei közé befecskendett váladék ingere folytán, hanem a gubacs fejlődésének oka egyedül a növény testébe rakott petéből fejlődő fiatal lárva, még pedig ezen lárva által kiválasztott anyag. Ezt az anyagot sokan fermentumnak, vagyis enzyimnek tartják, amely a növény sejtjeinek protoplazmájával érintkezésbe jutva, őt újabb tevékenységre serkenti, újabb szervek fejlesztésére indítja. A protoplazma ily módon megindított munkássága hozza létre a gubacsoknak nagy változatosságát. A megalakult gubacs belsejében megtaláljuk az illető állatot, vagy az állat lárváját, amely kifejlődéséig a gubacs sejteiből táplálkozik és azután elhagya a gubacsot.

Már az első pillanatra észrevehetjük, hogy ebben az esetben az együttlélésből csak az állatnak van haszna, ellenben a növényre nézve a viszony inkább káros, hiszen más célra is felhasználható anyagait kell a gubacs alakítására felhasználni.



nia. Eddig a gubacskeltő állatokról — egyes esetek kivételével — valóban nem sikerült hasznát kideríteni.

A legtöbb kivételes eset is a virágok megporzását segíti elő, mint pl. a *Yucca* és a füge virágainak megporzását.

Ez az eset sem szól a táplálkozás kölcsönössége mellett, tehát csakugyan eddigi ismereteink alapján azt kell állítanunk, hogy a növények és a gubacsfejlesztő állatok közötti együttélés a táplálkozás szempontjából az előbbienekre hátrányos és csak az utóbbiakra előnyös, tehát inkább antagonisztikus együttélés.

A mézharmat. A levéltetvek és a növények együttélése is első pillanatra hátrányosnak tetszik a növényekre és előnyösnek az állatra nézve, mert kétségtelen, hogy a levéltetvek legnagyobb része a legtöbb esetben a növény testéből meríti táplálékát, tehát a növény ártalmára van. A levéltetvek azonban bizonyos időben — különösen meleg nyári napokon — bizonyos anyagot fecskendeznek ki, amely cseppekben vagy egybefüggő bevonatokban marad meg a leveleken, kivált a hárs, juhar, tölgy és más fák levelein és a környezetükbe eső leveleken is. A váladék ragadós, édes és fényes, amiért is a mézharmat nevet nyerte.

A mézharmatot a legtöbb esetben állatok termelik. Melőzve Büsgen-nek a táplálék megszerzésére vonatkozó érdekes vizsgálatait és a levéltetvek által kiválasztott más váladékok ismertetését, csak a mézharmatnak, mint a növényekre nézve előnyös váladéknak hasznát említjük fel, ugyancsak Büsgen gondolatmenetét követve.

A mézharmat, mint cukortartalmú anyag, nagy mértékben veszi magába a vízpárákat (hygroszkopos) és a növények felületét elfedve, nyáron vizet vesz magába a levegőből és azt átadja a növénynek a forró nyári napok harmatos reggelén és estéjén. A levél felülete e harmatot maga is felvehetné, ha ugyan a nap heve gyorsabban el nem párologtatná.

A váladéknak éppen ebben rejlik a fontossága, hogy a harmatot felszíva, azt hosszabb időn át meg is tartja és azután lassankint adja át a növénynek.

Azonban a vízfelvétel folytán a váladék is egyenletesen borítja be a levelek felületét és a bekövetkező melegben mint



fényes réteg veri vissza a nap sugarait és megóvjá a leveleket a felmelegítéstől és a heves párolgástól.

Ez volna az a haszon, amelyet a levéltetvek nyújtanak a növénynek a belőle elvont táplálék fejében. E haszon azonban már a mézharmat ritkább megjelenéseinél fogva sem lehet nagy és nem is általános. Emellett azonban még kevesbedik azáltal, hogy a mézharmat cukros váladékában sok gomba, de legfőképpen a krompenész (*Capnodium*) üt tanyát és fekete színű testével annyira elfedi a leveleket, hogy nem jut nekik kellő mennyiségű világosság az asszimilálásra, aminek folytán az ellepett levelek el is pusztulhatnak.

A növénylakó atkák. A növények táplálkozásának zavartalan folyását, mint már kiemeltük, biztosítja a növény maga is azáltal, hogy a táplálkozás munkáját végző szerveket igyekszik lehetőleg megvédeni az elpusztulástól és a megsérüléstől. Különösen pedig rászorulnak erre a védelemre az asszimilálás szervei, a levelek, amelyek nagy felületükkel különben is leginkább ki vannak téve a támadásoknak. A növény a már említett védőeszközeivel és fegyvereivel a legtöbb esetben kellőképpen meg is védelmezi leveleit, azonban sok növény van, amelynek védőeszközei nem elégségesek, legalább is nem minden ellenséggel szemben. Az ilyen növények ellenségeiknek megfelelő, erős fegyvertársra, zsoldos hadseregére tesznek szert, amelyek híven teljesítik feladataikat.

A leveleknek veszedelmes ellenségei a kis apró gombák spórái, amelyek a levél felületén kicsirázva, behatolnak a levél szövetébe, ott a levél testének anyagából és annak rovására táplálkoznak, ami által a kiéheztetett levél kellőképpen nem teljesítheti feladatát, vagy annyira eltorzul, hogy az asszimilálás szükségelte felülettel nem rendelkezik, sőt időnek előtte elpusztul. Ilyen és hasonló elváltozásokat idézhetnek elő apró, kisebb rovarok is a levélen. Más, például szerves anyagból származó por stb. annyira tisztátalaná teheti a levél felületét, hogy a párolgás nem folyhatik le zavartalanul. Ezen ártalmas ellenségekkel szemben *Lundström N. Axel* szerint sok növénynek levelei olyképpen rendezkednek be, hogy leveleiken apró atkák otthont találjanak és ilyenképpen a levélhez kötve, amaz apró ellenségeiket elpusztítják és lemezüket azoktól



tisztán tartják. Az ilyen atkák számára berendezett sajátságos és az egyes növények leveleinek tulajdonságai szerint megalkult kis lakásokat a karodomáciumok-nak nevezik. Lundström ezekben mindig talált atkákat, amelyekről különben bárki könnyen meggyőződhetik és azt véli, hogy ezek az atkák által fejlődésnek indított gubacsokból (akarocecidiumok-ból) fejlődtek, amelyek azután később öröklés útján állandósultak.

A nálunk élő növényeken Mágocsy-Dietz kimutatásai szerint gyakori alakja az akarodomáciumoknak a levélerek zúgában levő szőrösomó, mint aminő a hársakon, égeren, hegyi juharon, hegyi szilen, dión és mogyorón található. A hársakon az érzúgok szőrei úgy helyezkednek el, hogy alattuk üreg alakul, amelynek födele a levél lemeze, feneke a szőrözet, oldala a két ér, a levél hegye felé pedig van a nyílás. Ezen üregben a levél szövete, de a szőrök is némileg eltérők. Az ükörkén (*Lonicera xylosteum* és a *L. alpigena*), különösen a főér mentén, apró kis gödröcskék alakultak az epidermiszének sajátságos elhelyezkedése folytán.

A tölgyön, különösen a kocsányos és kocsánytalan tölgyön a levél lemeze a nyél mellett sajátságos módon felhajlik és kis üreget takar be.

Egész fiatal leveleken még üresek ezen lakok, de csakhamar elhagyják az atkák téli tartózkodási helyüket, a rügyeket és beköltözködnek új nyári lakásukba és elsősorban is petéket raknak le a lakokba, hogy azokat benépesítsék; különben a tojások által való benépesítés egész nyáron át folyik.

A növények és a hangyák. A növények és az atkák életkölcsonosságénél jóval bámulatosabb a növények és a hangyák élete közötti egybekapcsolódás. Ennek is egyik feladata a növények védelme és pedig egyrészt a szaporodást szolgáló virágok, másrészt a táplálkozás szerveinek, a leveleknek védelme. Első esetben távol kell tartani a virágtól mindazokat a rovarokat, amelyek a virágok mézét el tudják rabolni anélkül, hogy a megporzást elvégeznék.

Ebben a tekintetben úgy a mászkáló, mint sok hívatlan repülő rovar kell a virágoktól távoltartani. A mászkáló rovarokat távoltartja a növény a szárának egy bizonyos övé-



ben kiválasztott váladék által vagy más berendezés által, amely előbbi szakasztott olyan módon működik, mint a hernyók ellen a fatörzsekre alkalmazott kátránygyűrű. Ilyen váladék alkotta ragadós gyűrű híján a növény a hangyákat szerződteti, különösen a repülő rovarok ellen és pedig azáltal, hogy szárain, levelein, vagy pedig a virágok közelében mézfejtőket (nektáriumok) fejleszt, amelyeknek váladékára, cukros anyagára, mézére, illetőleg a nektárjára a hangyák rájárnak, ennek fejében azután a hivatlan látogatót a virágtól távoltartják, mint azt a nálunk tenyésző *Jurinea mollis*-on is megállapíthatjuk, a *Serratulá*-hoz hasonlóan.

A virágok védelménél azonban szorosabban függ össze a táplálkozással a leveleknek a védelme és ezért elsősorban ennek módját ismertetjük.

Általánosan ismeretes jelenség az, hogy a növények leveleit és szárait is a legkülönbözőbb állatok, nemcsak a növényevő emlősök, hanem még inkább a rovarok óriási serege pusztítja. A mi éghajlatunk alatt különösen a hernyók járnak a növények leveleire és bennük sokszor jelentékeny pusztítást visznek véghez. Hiszen csak példaképen hivatkozunk az apácahernyó által hazánkban az utóbbi időben okozott károokra, amidőn a hernyók óriási serege pusztításának egész erdőségek estek áldozatul. A növények leveleit még nagyobb mértékben pusztítják az állatok a melegebb és különösen a térítők övében. A hernyóknál is nagyobb ellenségei azonban itt a növényeknek a levélevő hangyák.

Ezek a hangyák a levél széléből ollószerű erős rágójukkal néhány perc alatt egy darabot leszelvek és azt lökésszerű mozgással a fejükre állítják, hogy azután a növény szárán lefelé haladva útra kelljenek.

A megtámadott növényt majdnem mindig csak akkor hagyják el, mikor már összes lombját, a kemény erek és levélnyelek kivételével, elpusztították. Nevezetes jelenség, hogy a hangyák zsákmányukat sokszor nagy távolságból hordják össze. Belt megfigyelte egyszer, hogy lakásuktól fél mértföldnyire foglaltoskodtak. Möller szerint ennek az oka valószínűleg az, hogy a zsákmányukat megfelelően változtatják és így bizonyos keveréket hordanak össze. Leveleken kívül virágokat, terméseket és



magvakat is gyűjtenek. Zsákmányukat a fészükbe, a hangyabolyba hordják össze, amely rendszeren valamely természetes üregben, a fában vagy a földben épül. Az üregbe hordott levéldarabok felhasználására nézve a legkülönbözőbb feltevésekhez folyamodtak és nem hitték el Belt sejtelmét, amely szerint a hangyák az összehordott és rothadó leveleket gombák tenyésztésére használják fel. Möller kutatásai Belt sejtelmét igazolták, amely szerint ezen hangyák csakúgyan gombát tenésztenek és gombát esznek.

A hazahordott levéldarabok kis részéből a fészket fedik be, legnagyobb részét apró darabokra szeldelik és azután lábukkal és szájukkal puhára gyúrnak, úgyhogy csak nagyon kevés sejt marad épen. Az ilyen módon elkészített rögöket hozzákeverik a fészkek belsejének durva likacsú, szívacsos szerkezetű tömegéhez: ez a gombáskert.

A rögöcskéket — amelyeknek eleinte zöld színe lassanként kékes feketés és végre sárga-barnává változik — vékony gombaszálak tartják össze és járják keresztül-kasul. Pontosabb megtekintés után a gombaszálakon számtalan apró  $\frac{1}{2}$  mm nagyságú testecskéket találni, amelyeket Möller kalarábé-halmazkáknak nevezett el. Ezek rövid csomós ágakból és gömbölyűre dagadt végső részből állanak, dús plazmatartalmúak. Ezen a hangyák tenyésztése folytán létrejött új képződmények, a kalarábé-halmazkák alkotják a hangyáknak legfontosabb, ha ugyan nem az egyedüli táplálékát.

A kalarábé-halmazkák a friss rögöcskéken rövid idő múlva kifejlődnek. Möller kísérletileg igazolta ezeknek fejlődését és bebizonyította, hogy ezek nélkül a hangyák kiéheznek és elpusztulnak. A fészkekben még kis apró hangyák foglalatoskodnak azzal, hogy a tenyésztés tiszta maradjon, a tisztátalanságot, vagy a gombának a levegőbe növő szárait leharapják, a gombáskertet „gyomlálják”.

A gomba nem is fejlődik tovább, megmarad ezen fejlődési fokon és csak kivételesen, még eddig ismeretlen feltételek között, fejlődnek a mycéliumból jelentékeny nagyságú kalapos gombák, a *Rozites gongylophora* Möll. termései. A gombát még eddig nem sikerült a hangyabolyokon kívül feltalálni, tehát ennek az élete teljesen a hangyához alkalmazkodott, más szó-



val a gomba teljesen e hangyák termesztett növénye lett, akár a mi kalarábénk.

A kalarábé-halmazkák fejlődése a gombák mycéliumának azon sajátosságán alapszik, amely szerint e mycéliumok nagy mértékben hajlandók különböző nagyságú dudorodások fejlesztésére.

Nemcsak az Atta-hangyafajok képesek ilyen gomba-tenyésztésre, de mások is, mint például a Brookes asszony által felfedezett Apterostigma némely fajai is. Ezek kertjeikben a rovarok lárvái által készített falisztet és az ürüléket használják fel, hasonlóan készítik kertjeiket a Cyphomyrmex-fajok is. Ezeknek kalarábétestecskéi azonban hosszúkásak és kissé hegyes végűek.

Nagyon természetesen ezen hangyáknak óriási mennyiségű levélanyagra van szükségük, tehát elképzelhetjük, milyen óriási lehet pusztításuk.

Az állatoknak és különösen a hangyáknak ilyenféle támadása ellen természetesen a növények nemcsak saját fegyvereikkel védekeznek, de fegyvertársakat is keresnek.

Érdekes és mindenestre nagyon figyelemreméltó jelenség az, hogy a növényvilág eme védekezésében ugyancsak azoknak seregéből választja fegyvertársait, amelyeknek más csapata egyrészt a legádázabb ellensége, másrészt pedig ismét más növényekkel szemben kíméletet tanúsít, hogy neki hasznot hajtsanak. A növények leveleit pusztító hangyák és a pusztított növények közötti egybekapcsolódás, együttélés a növények hátrányára üt ki; a gombák bizonyos faja és a hangyák közötti egybekapcsolódás ellenben úgy a hangyák, mint a gombák előnyére válik, a táplálkozás és a tenyésztés érdekében.

A növények a saját védelmükre ismét egy másik kölcsönösségbe lépnek a hangyákkal és pedig olyanformán, hogy ezen kölcsönösségből a hangyákra is haszon háromolják. Nagyon természetesen ezen utóbbi esetben más hangyák szegődnek a növények szolgálatába, mint az előbbi esetben.

Amint említettük, a virágok védelmére is a hangyák serege vállalkozik és ennek fejében jutalmul a növény bizonyos részén, leginkább a virágok közelében elhelyezett váladékanyagokban dúskálódhatik. Éppen ilyen módon hálálja meg a növény a leveleit védő hangyák fáradságát is, amennyiben nemcsak a virág közelében, de a növény testének más részein is, különösen a leveleken fejleszt olyan szerveket, amelyek cukortartalmú anyagokat választanak ki. Ezen szervek a már említett mézfejtők (nektáriumok) és a váladékuk a méz, helyesebben a nektár. Ilyen nektáriumok fordulnak elő a legtöbb olyan növény virágaiban, amelyeknek virágporát a rovarok szállítják egyik virágból a másikba.



Ezen rovarok fáradságukért kapják a virágban lévő florális, nupciális vagy szexuális nektáriumok váladékát, vagy, hogy a valóságban jobban megfeleljünk jellemzésünkben, a rovarok a virág méze után járva szállítják a virágport, tehát a méz élvezetének bére a virágpor szállítása. Ezen nektáriumokhoz hasonlóak fordulnak elő a növényeknek a virágokon kívüli részén is, amelyeket extranupciális vagy extrafloralis, a szexuális nektáriumoknak nevezünk.

A hangyák, ezeknek a nektáriumoknak a váladéka után járva, szállják meg a növények testének különböző részét. Megszállva a növényeknek, különösen a nektáriummal ellátott részét, mohón esnek neki a nektáriumok tartalmának és minthogy a nektárfejlésztés folytonosan tart, később is felfelkeresik a nektáriumot. Minthogy ezek a nektáriumok rájuk nézve fontosak, nagyon természetesen megvédik más ellenségektől. Ezekkel együtt azonban megvédik a nektáriumot tartó növényrészét, sőt az egész növényt is. Tehát mindazokat a növényeket, amelyek extrafloralis nektáriumokat fejlesztenek, a hangyák megszállják és egyúttal meg is védik. Sok esetben a nektáriumokat a növény táplálta levéltetvek helyettesítik cukros váladékaikkal.

A mi éghajlatunk növényei között számos ilyen hangyás növény van. Pl. nektáriumokat találunk a harasztok sorában a sasharaszt (*Pteris aquilina*, vagy *Pteridium aquilinum*) fiatal levelein; a nyárfák közül a rezgőnyár (*Populus tremula*) nektáriumai a hajtások első 2—3 levelein vannak, amelyek rövid és hengeres nyelűek, holott a többi levelek majdnem kétszerre nagyobbak és összenyomott nyelűek.

A mandulafélék közül többnek van mézfejtője a lemez alján, nevezetesen a cseresznye, a meggy, a sajmeggy, a szilva, a barack és a mandulának. A bodzán, különösen a feketebodza levelein a pálhák, levélkék és a levelek fogai alakulnak át mézfejtökké.

A pillangós virágúak is bőven fejlesztenek mézfejtőket. A gyepübükköny (*Vicia sepium*) és a takarmánybükköny (*Vicia sativa*) pálháinak fonákán fejlődnek a mézfejtők. A lóbab (*Vicia faba*) levélgerincének pedig a végén fejlődnek mézfejtők. Az ilyen mézfejtőkkel bíró növényeket tehát a hernyók és más levélevő rovarok nem bántják, amit a tapasztalás is igazolt.

Az embereknek erről már a régi időkben is tudomásuk volt, sőt ezt hasznosították is a gyakorlati életben.

Ratzeburg, az erdei életnek egyik legjobb megfigyelője,



az erdei hangyákat az erdők rendőreinek nevezi és tapasztalata szerint, ha egy fának tövében hangyaboly van, azon a fán a hangyák fel és alá járnak, teljesen megóva a fát minden tisztátalanságtól, különösen más rovaroktól. Ha pedig az erdők fáit a hernyójárás el is pusztítja, a hangyaboly közelében levő fa épen marad. Ez is mutatja, hogy a hangyák milyen szorgalommal és kitartással pusztítják fészük közelében, de még attól távolabb is a rovarokat. Forel tanúsága szerint egy hangyaboly lakói egyetlen nap alatt körülbelül 100.000 rovarot pusztítanak el.

Amint azonban éghajlatunk alatt kifejlődtek a növényeknek ezek az extrafloralis mézfejtői, úgy a forró égöv növényein ez még nagyobb mértékben történt meg, mert hiszen itt a növényeket fenyegető veszély jóval nagyobb. A forró égövi növények ebbeli sajátságainak jellemzését mellőzve, még csak meg akarunk emlékezni a hangyáknak és növényeknek a forró földövön előforduló nagyobbmértékű egybekapcsolódásáról. Ezen szorosabb egybekapcsolódás pedig azáltal keletkezett, hogy a hangyák útján védkező növények nemcsak táplálékkal fizetik meg zsoldosaikat, hanem még kaszárnnyakat is építenek számukra, lakást nyújtva nekik testük egyik-másik sajátságosan alakult szervében. A hangyát kedvelő (mirmékofil) növények ugyanis testükben még hangyalakásokat (mirmékodomácium-okat) is fejlesztenek. Ezekről Delpino, Belt, Müller, Schimper és Schumann tudósítanak. Ilyen növények közül már sokat ismerünk és ezek közül óhajtunk egy-két jellemző példát felemlíteni.

Belt a mirmékofília felfedezője az *Acacia cornigerá-n* és a hozzá hasonló *Acacia sphaerocephelá-n* végezte megfigyeléseit, amelyeket utána többen is megismételtek és megerősítettek.

A forró földövön úgy a keleti, mint a nyugati félteken számos növény van, amely a hangyákat táplálékkal és lakással, vagy csak ezek egyikével látja el.

### *A növények diszjunktus szimbiózisa.*

A diszjunktus szimbiózisban az egymással egybekapcsolódott növények térben vagy időben egymással nem kötődnek szorosan egybe, mint az eddig tárgyalt konjunktus szimbiózis esetében. Ilyen diszjunktus szimbiózist tapasztalhatunk a növényeken azokban az esetekben, amidőn azok nem egyenként, hanem sokadmagukkal, vagyis társaságban nőnek, ha nem is pusztán a táplálkozás céljából. Ilyen társaságban tenyésznek a mohok, zuzmók, tengeri moszatok, füvek, fák és sok más növény. A



társas növények egyesülése a szárazság és a hőmérséklet végletei, de az állatok ellen is megvédi az egyes növényeket.

Az egyedül növekedő moha, az egyedül álló fa napos, verőfényes, száraz helyen sokat szenvedne, vagy csakhamar elpusztulna. Az egyedül álló tövises, tüskés cserjét jobban közelítheti meg a növényevő állat, mint a sűrű bozótot alkotó tövises cserjéket. Ilyen módon a növények társas tenyészése védelmére van azoknak a szerveknek, amelyek a táplálkozás szolgálatában vannak és ennél fogva a növények diszjunktus szimbiózisa is fontos a növények kellő táplálkozására nézve.

Mellékesen jegyezzük meg, hogy az ilyen együttélés, tehát társas tenyésztés, különösen fontos azon növényeknél, amelyeknek virágai a szél, vagy a víz közvetítésével porzódnak be és továbbá azoknál a növényeknél, amelyek nyíló virága és termése a rovaroknak kevésbé ötlük szemébe.

Ugyanis ezek kicsinységük hátrányait azáltal csökkentik, hogy nagyobb tömegben egyesülve mégis jobban föltűnnek.

A növények diszjunktus szimbiózisa jellemzően szokott kialakulni a szociálisan, társasan élő növényeken, amelyek különböző társulását azután a növényföldrajz formáció néven ismeri. Az ilyen formáció éppen az együvé, egy társaságba került növények szomszédi viszonyát tünteti fel, amelynél fogva egyik a másikra kedvezően hat.

A szomszédok kedvezőtlen hatása is bekövetkezik, különösen akkor, amidőn idegen növény kerül a társaságba.

Különösen az egy formációba nem tartozó fák gyakorolnak azután egymásra kedvezőtlen hatást, amennyiben akár a táplálékért, akár a térért küzdelem folyik le közöttük. Úgylátszik, szorosabb a kapcsolat azok között a növények között, amelyek sajátságos halmazokat (a gregáció) alkotnak, közös munka elérésére társulva, pl. a baktériumok zooglóa halmaza, amint az pl. a *Bacillus radicolá*-nál is érvényesül, de még inkább a nem régen felfedezett *Myxobacteriaceá*-k-nál, ahol az egyenlő egyének magasabb egyénné egyesültek, egy aggregációs fajjává.

Ugyancsak a diszjunktus szimbiózishoz kell sorolnunk a denitrifikáló és cellulózbontó baktériumok együttélését, amelyet a 152. oldalon ismertettünk részletesen és ugyanide kell sorol-



nunk azt a jelenséget is, amikor a levegő szabad N-jét megkötő baktériumok szintén a cellulózbontó baktériumok munkája által képezett cukrokat használják fel energiaforrássul és így bizonyos mértékben ezekkel élnek együtt. Ennél a jelenségnél viszont utalunk a 142. oldalon mondottakra.

A szimbiózisnak ilyen térben elkülönített, de egyidőben élő szervezetek vonatkozásai mellett lehetséges még ugyanazon térben, de időben egymástól elkülönített egyedek között is vonatkozást találni. Ilyen a már említett nitrobaktériumok időben való elkülönített, de egymás után következő egyedeinek munkája, amely elmaradna, ha az egyedek időbeni egymásután való kapcsolódása nem volna meg. A diszjunktus szimbiózisnak ezt a formáját *metabiozis*-nak (Ward) is nevezik.

Erre szolgál kitűnő például a szaprofiták változása az ürü-  
léken, de még inkább és még határozottabban az erdők fáinak levágása után előállott, úgynevezett „vágás”-ban egymás után következő növényzet jelentkezése.

De ugyanezen metabiozis jelenségét látjuk a mezőgazdaság helyes vetésforgójában, amelyben éppen a különböző növényeknek ugyanazon területen való megfelelő egymásutánja biztosítja a növények jobb tenyészését és a termelés biztosabb eredményét.

Végül még csak rámutatunk arra a tényre, hogy egy növény összes sejtjeit és szerveit is tulajdonképpen részben konjunktus, részben diszjunktus szimbiózis köti össze, mert csak ilyen módon biztosítható kellőképpen a növény testében lefolyó munka felosztása és ezáltal a növényi test egészében az ép, egészséges tenyésztéshez szükséges összhang.

A felsorolt néhány példából is kitűnik az, hogy egyrészt a növények egymással, másrészt az állatok és növények a célnak megfelelő módon egybekapcsolódnak, szimbiózisban együtt élnek, amely elsősorban a táplálkozásban való kölcsönös támogatásra alakul meg, de másodsorban a táplálkozás szerveinek védelmére is szolgál.

Amit most néhány példában mutattunk be, tulajdonképpen a föld szerves életében rég ismert jelenség, hiszen az összes szervezetek bizonyos módon vonatkozásban vannak egymással csak úgy, mint az emberek társadalmának tagjai is. De nem



minden esetben könnyű kimutatni azt, vajjon az egybekapcsolásból kölcsönös haszon háramlik-e a társakra.

A felsoroltakban igyekeztünk olyan példákat ismertetni, amelyekben a két társ együttélése kölcsönös haszonnal jár mindegyikre és olyan példákat, amelyekben a két társ közül csak az egyik húz hasznot az együttélésből. Sokszor a kölcsönösség nem tűnik ki világosan, de még az élő lények közti vonatkozás sem ismerhető fel, ami jórészt még ismereteink hiányosságán múlik.

### **Az anyagcsere jelentősége és eredménye.**

#### **Az energia átalakulása.**

A táplálék megszerzése és feldolgozása. Az előbbi fejezetben tárgyalt együttélésnek a táplálkozás szempontjából való ismertetésével feladatunkat — amennyiben a keretek megengedték — megoldottnak véljük és ha most még egy pillantást vetünk vissza a növények táplálkozásbeli jelenségeinek során felmerült fontosabb pontokra, — meglepéssel mutathatunk rá ezeknek a viszonyoknak felette érdekes és tanulságos voltára.

A növények túlnyomó többségének úgy alakbeli, mint szerkezetbeli viszonyai szoros kapcsolatban vannak a táplálkozás módjával. A növény, mint főképen szénhidrátokból, fehérjenemű vegyületekből és vízből való egy vagy több sejttű test — teste alkotására, az életjelenségeknek fenntartására és a jövő élete biztosítására a szükséges anyagot táplálék alakjában meg tudja szerezni és a táplálékot megfelelő módon fel tudja dolgozni, aminek folyamán bámulatosan egyszerű és mégis rendkívül jelentékeny munkát végez.

A növény a vizet teste egész felületével, vagy csak erre a célra külön alakult tagjaival bőségesen tudja felvenni és testének ebbeli szükségletét kielégíteni; ezzel együtt a talaj vízében csekély mennyiségben oldott szerves vegyületeket is magába veszi és testén belül jelentős mennyiségben gyűjti meg, a testében felvett víz folytonos párolgása által. Bizonyos növények ugyanily úton szerves vegyületeket vesznek magukba. A növény megfelelő szabályozó berendezkedésekkel bír, ame-



lyek a víz, illetőleg a táplálék felvételének és a párolgásnak mértéke közti egyensúly megtartására szolgálnak.

A szerves vegyületekben mindenütt szereplő szén a zöld növények és néhány chlorophylltalan apró növényke a levegő széndioxidjából veszik magukba és feldolgozzák szerves vegyületté a napfényből, illetőleg a megszerzett vegyületekből származó energia segítségével (foto- és chemoszintézis). A többi chlorophylltalan növény kész szerves vegyületekből táplálkozik — tehát ugyancsak a most említett módon szerzett szerves vegyületekből.

A fehérjevegyületek alakítására szükséges nitrogént a zöld növények a talajból veszik fel, nitrátok és ammoniák alakjában, de bizonyos alacsonyabbrendű növények a levegő szabad nitrogénjét is fel tudják használni. Mindkét módon felvett nitrogén bizonyos folyamatok útján a fehérje alakítására használandó fel.

Az ilyen módon megszerzett anyagok leginkább ozmotikus úton vagy bizonyos szerkezetek segítségével jutnak el vagy felhasználási vagy pedig raktározási helyükre, mialatt folytonos változáson, átalakuláson mennek át. Ezekből a változásokból áll a többi vegyi átalakulásokkal egyetemben a növények anyagcseréje.

Ennek az anyagcserének legjellemzőbb vonása az, hogy a legkülönbözőbb anyagok, amelyek egyébként igen állandók és amelyeket szabad levegőn az oxigén nagyon kevésbé támad meg, a növény testén, illetőleg az élő sejten belül gyorsan oxidálódnak vagy megbomlanak.

A vázolt vegyi átalakulások folyamatában az utóbb említettek a kémiai átalakulások hanyatló sorát (katabolizmus, disszimiláció) alkotják, amelynek folyamán bekövetkező anyagvesztéseket, a kémiai átalakulások emelkedő vagy felhágó sora (anabolizmus, asszimiláció) pótolja.

Az előbbi folyamatban összetett vegyületek egyszerűekké bomlanak fel, az utóbbiban összetettebb vegyületek keletkeznek. Röviden és nagyjában úgy is jellemezhetjük a két folyamatot, hogy az előbbi a redukciós, az utóbbi a kondenzációs folyamat. Az anabolizmus folyamata alatt alakulnak meg a legkülönbözőbb vegyületek, amelyek a növény testének építő, tartalék, munkáló és vándorló anyagai.



Az anyagcsere, illetőleg asszimiláció és a disszimiláció folyamán igen sokféle kémiai átalakulásokkal találkozunk. Nagyjában a következő kémiai folyamatok gyakoribbak: a redukciók, pl. a szénhydrátnak szénsav és vízből való keletkezésekor; oxydálások, pl. a cukor oxydálása, midőn szénsav és víz keletkezik; hasadások, pl. a glukóz az élesztő által szénsavra és alkoholra hasad; hidratációk, pl. amidőn a nádcukor invertáláskor vizet vesz fel és dextrózra és levulózra esik szét; anhydrit képződések, amidőn a cukor a víz leadásával keményítővé lesz stb.

Mindezek a folyamatok az élő szervezet sejtjeiben folynak le és pedig a testek egész sorának a közvetítésével: ezek a testek az enzymek, amelyek csak élő sejtben keletkeznek, hatásuk pedig tulajdonképpen katalitikus hatás. A hatásukra nézve jellemző, hogy csekély hígításukkal és csekély mennyiségükkel az illető kémiai folyamatot gyorsítják. Rendesen minden enzyimnek külön, jellemző hatása van. Különben az enzymek összességét teljesen tisztán még nem ismerjük, mert az élő sejtben végbemenő folyamatokat sokkal kevésbé tudjuk figyelemmel kísérni, semhogy már a folyamatok részletei felől is tájékozódhatnánk.

Bizonyára az enzymek hatásának kell tulajdonítanunk a legtöbb szerves vegyület átváltozását, amit emésztési folyamatnak is mondanak, pl. a húsevő növényeken és amely átváltozások főképen hydrolytikus hasadások. Az emésztés által nagyobb összetételű, többnyire oldatlan vegyületek egyszerűbb összetételű, vízben oldható vegyületekké lesznek, amelyeket a sejtek közvetlenül felvehetnek és felhasználhatnak.

A zöld növények anyagcseréjének főjelleme, a kémiai átalakulások emelkedő sorának jelenléte a hanyatló sor mellett, ellenben a nem zöld, tehát heterotrof növényeknél jóformán csak a kémiai átalakulások lemenő sorát találjuk meg. Ezek a folyamatok azután világosságot vetnek az anyagoknak a természetben lefolyó körforgalmára is, amelyben az egyik oldalon a zöld növények, a másik oldalon a heterotrof növények és az állatok munkálkodnak az előbb említett vegyi folyamatok útján. Ezeknek a folyamatoknak a termékei sokszor nagyon, máskor azonban kevésbé szembetűnők. A kémiai átalakulások emel-



kedő és hanyatló során ugyanaz a vegyület is megjelenik, pl. az aszparagin- és más amidovegyületek, amiért is nem mindig könnyű eldönteni, hogy egyes vegyületek mely átalakulás során keletkeztek. Ez a körülmény is hozzájárul ahhoz, hogy a vegyi átalakulások legtöbb neméről még nincsen világos képünk. De a homályt fokozza a sejt protoplazmája is, amely egyrészt műhelye a vegyi folyamatoknak, de egyszersmind a folyamatokat is módosítja, úgy kémiai, mint fizikai tulajdonságaival.

Az anyagcsere szabályozása és alkalmazkodása. A protoplazma, illetőleg az élő sejt az ő sajátos tulajdonságaival hatást gyakorolhat az anyagcsere valamennyi szakaszára és mégis annyit kétségtelenül meg tudunk állapítani, hogy az anyagcsere folyamatai a kémiai és a fizikai törvények szerint folynak le. Ha pedig az anyagcsere valamely folyamatát nem tudjuk még ezen az alapon megmagyarázni, annak az oka sokszor kétségenkívül az élő sejtben rejlő tulajdonságokban keresendő. Ámde az élő sejtet nem ismerjük még teljesen és kutatása nem is valami könnyű feladat, hiszen a plazmára vonatkozó ismereteink is eddig jórészt az elhalt plazmára vonatkoznak, pedig az élő sejt plazmája jön tekintetbe az anyagcserére való hatásnál.

Ha tehát az anyagcserét szabályozó tényezők hatását kutatni óhajtjuk, akkor elsősorban is ezeknek az élő sejtre való hatását kellene ismernünk. Ennek ismerete híján meg kell elégednünk az egész növényt környező körülményeknek és viszonyoknak a növényre gyakorolt hatásával, amelyből megítélhetjük, miképen alkalmazkodik a növény termőhelyének éghajlati és talajbeli tulajdonságaihoz. Az előző fejezetben az ilyen alkalmazkodásnak számos példáját említettük fel és több ízben mutattunk rá a növények életfolyamatait szabályozó külső körülményekre, úgy, hogy most ezek sorából csak a jelenségek megvilágítása végett idézünk egyet és mást.

Mellőzve az oldott táplálék felvételét, továbbá a párolgást szabályozó tényezőket, elsősorban a lélekzés szabályozásának és a külső tényezőkhez való alkalmazkodásnak meglepő példájára mutatunk rá. Ha a csiranövényeket rendkívül csekély oxigéntartalmú levegőben hagyjuk, akkor jóval több szén-savat lehelnek ki, mint amennyi megfelel a levegő oxigéntartalmának,



ami csak úgy lehetséges, hogy a növény a rendes lélekzés hiányának pótlására törekedett az intramolekuláris lélekzéssel; de már 24 óra multán a növény anyagcsereje alkalmazkodik az új viszonyokhoz és a rendes lélekzés folyik tovább, persze a csekély oxygéntartalomnak megfelelő kisebb mértékben.

A sejt tartalmában is akadunk ilyen szabályozásra, amely szerint a sejt működéséhez szükséges anyagok megfelelő mennyiségéről maga a sejt is gondoskodik; eszerint szabályozóan gondoskodik feladatának megfelelően az anyagcsere bizonyos folyamatait fenntartó vegyületekről, az enzymekről, amelyek nélkül a sejt az egyszer adott körülmények közt, a reá váró feladatot nem tudná megoldani.

Sőt a sejtnak a már említett duzzadtsága is szabályozódik és alkalmazkodik az adott körülményekhez. Leginkább bizonyítja ezt az a számos kísérletből megállapított igazság, hogy a sejt legnagyobb duzzadtságát a közepes erősségű ozmotikus hatásoknál éri el és hogy a mind tömöttebb és tömöttebb oldatokhoz való alkalmazkodásnak bizonyos határa van. Ezekkel a tapasztalatokkal összefüggő érdekes jelenség az, hogy a sejtek azokban az oldatokban maradnak legtovább életben, amelyekben duzzadtságuk a legnagyobb. A különböző tömötséggű oldatok alkalmazásával elért eredményekből sikerült megállapítani azt a törvényszerűséget, hogy amíg a tenyészeti folyadék ozmotizáló képessége mértani arányban emelkedik vagy esik, addig a sejt ozmotizáló képessége számtani arányban emelkedik vagy fogy.

A sejtnak ez a viselkedése megfelel az általános élettani jelenségekben tapasztalható törvényszerűségnek, amelyet a Weber-féle törvénynek nevez a tudomány.

Annak pedig, hogy ez a törvény a növények táplálkozása során az anyagcsere körében is érvényesül, azért van nagy jelentősége, mert kiderül, hogy a növények táplálkozásának folyamataiban is uralkodik a különböző életjelenségeket szabályozó alapelv és hogy ilyképen a növények anyagcsereje nem valamely különleges folyamat, hanem ez is beleilleszkedik sajátjaival az élő lények élettani folyamatainak a sorába.

Az energia átalakulása. Az eddigiekben megismerkedtünk a növények táplálkozási folyamataival és láttuk, hogy az anyagcsere folyamán a növény tulajdonképen csak a



felvett anyagokból tud új anyagokat képezni és képtelen arra, hogy nagyobb mennyiségű anyagot képezzen, mint amennyi a felvett anyagnak quantitative megfelel.

A növénynek azonban életfolyamataihoz energiára is van szüksége. A növény energiaforrása úgyszóva kizárólag a nap sugárzó energiájára vezethető vissza és csak kis mértékben a növény testében lejátszódó kémiai folyamatokra, amelyek azonban végső eredményükben szintén a nap hőenergiájából nyerik eredetüket. A növénynek tehát szüksége van fényenergiára és hőenergiára. A fényenergiát a növény elsősorban az asszimilációnál hasznosítja, miután, amint tudjuk az asszimiláció lefolytatásához a növénynek feltétlenül napfényre van szüksége. Ezt az asszimiláció útján felvett fényenergiát azután közvetve alakítja át a növény lélekzésénél hőenergiává. Természetesen az energia megmaradás elvének az energia átalakulásainál is mindig érvényben kell maradni, úgyhogy az energia átalakulása a növényben is mindig az energia mennyiségnek teljes megmaradásával mehet végbe.

A növény általában hőmérsékletével alkalmazkodik a környezetéhez, azonban a növények hőmérsékletét döntően befolyásolja az a körülmény, hogy rendkívül nagy felületen párologtatják el a vizet, amely a hőmérsékletüket nagyon gyakran a normális mérték alá süllyeszti. Ennek következtében gyakran előfordul, hogy a környezetüknél alacsonyabb hőmérséklettel bíró növények nem elégszenek meg a szervezetükben a lélekzési folyamatok kapcsán képződött melegmennyiséggel és még a környezetükből is felvesznek meleget. Épen ezért a növénynek hőenergiával való gazdálkodását nagyon nehéz mérni és közvetlenül meghatározni. Különösen a transpiráció szabályozásával, főleg annak megszüntetésével a növények hőmérsékletét erősen emelhetjük. Természetesen, hogy a melegfejlődést emelni tudjuk, még a növény részeinek megfelelő izolálására is szükség van. Azonban pl. a csirázó magvaknál, azután a virágok kifejlődésénél megfelelő kísérleti berendezéssel mindig ki lehet mutatni a hőfejlődést. Különben kitűnően bebizonyítható, hogy az életfolyamatoknál hő fejlődik akkor, ha az ú. n. Devar\*)-féle edényben leveleket helyezünk el, amelyek kor-

\*) Kettős falú üvegedények, amelyeknek falközéből a levegőt kiszivattyúzzák és ezáltal izolálják.



hadáson mennek keresztül és ha most gondoskodunk arról, hogy ide elegendő oxigén hatoljon be, úgy természetesen ennek eredményeképpen a baktériumok munkájára azonnal nagy hőemelkedés következik be, amelyet hőmérővel közvetlenül is lemérhetünk.

A növények lélekzési folyamatainál képződött melegmennyiség kalorimetrikus értékéről már a lélekzésről és erjedésről szóló fejezetekben részletesen szóltunk és ezért itt csak annyit óhajtunk egészen röviden megemlíteni, hogy a melegfejlődés a növényi szerveknél ezek korától is függ, úgy hogy fiatalabbkorú növényi szervek fejlődésük közben általában élénkebb lélekzést és hőfejlődést is mutatnak.

A baktériumok és a moszatok egyes fajai nagyon magas hőmérséklettel bírnak, illetőleg nagyon magas hőmérsékletnél érik el fejlődési optimumukat (*Schizophyceák*). A korhadó erdei húmuszban is ismerünk egy egész sereg *thermophyl* baktériumot pl. a *Bac. robur*, a *Bac. cylindricus* stb., amelyek 50–60° C hőmérsékleten érik el fejlődésük optimumát. A *Bac. calfactor*, amely a széna rothadását okozza, még 70° C-nál is képes növekedni. Ezek az ún. *thermophyl* mikroorganizmusok természetesen fokozott életműködésükkel, főleg lélekzési folyamatukkal maguk idézik elő azt a magas hőmérsékletet, amelybe működésük optima esik.

Azonban bizonyos, hogy a lélekzés nem kizárólag a hőenergia előállítására irányul, mert a lélekzés által előállított melegmennyiséget a külső meleg hozzávezetésével a növény életében pótolni nem lehet. Valószínű tehát, hogy a lélekzés folyamán képezett melegenergia az energia átváltozások hosszú láncolatának egy végső produktumát jelenti. Azonban az sem lehetetlen, hogy az itt felhalmozott egész szénhidrát mennyiség közvetlenül a lélekzés céljaira lesz felhasználva.

Az eddigiekben tehát láttuk, hogy a növények a felvett fényenergiát közvetve hőenergiává tudják átalakítani, amely a növény testének hőmérsékletében jut kifejezésre. A következőkben most röviden foglalkozunk a növények fénylésével, vagyis azzal a jelenséggel, mikor a növények energia átalakulásuk kapcsán fényenergiát hoznak létre.

A növények fénylése. A hőfejlődésnél jóval rit-



kább jelenség a növények fénylése, amely csak az alsóbbrendű növények sorában ismeretes, de ezek között nincsen nagyon elterjedve. Ez a meglehetősen idegenszerű jelenség — úgy látszik — ugyanazon feltételekhez fűződik, mint a lélekzés. A fénylés maga nem folytonos és nem nagyon élénk, többé-kevésbé a phosphor fényléséhez hasonlít. Erőssége azonban — mint azt Molisch közléséből ismerjük — mégis olyan jelentős, hogy a magasabbrendű növényeken képes pozitív heliotropikus görbüléseket okozni, de már a csiranövények megzöldülésének létesítésére vagy nem eléggé erős, vagy nem megfelelő. De arra is van példa, hogy elegendő nagy tömeg erős fénylésekor a megzöldülés mégis bekövetkezik. Beijerinck és Molisch kísérletei szerint — amint már említettük — a baktériumfény elég arra, hogy az asszimilálást fenntartsa. E fény mellett a fényképezés is sikerül, sőt Dubois szobavilágításra is alkalmazta ezt a sajátságos fényt.

A legismertebb fehér, kékes vagy zöldes fénnel foszforeszkáló növények egyrészt bizonyos baktériumok, másrészt bizonyos gombák testei, mycéliumai.

Molisch szerint a baktériumok fénylésének bemutatására legcélszerűbb a házi használatra alkalmas húst 3 százalékos konyhasóoldatba mártani és azután közönséges szobahőmérsékleten üvegcsőszében tartani, úgyhogy a húsdarab alsó része a konyhasóoldatban feküdjön, a felső része pedig nedves levegőben legyen. A hús fénylése ilyen körülmények között már néhány nap múlva bekövetkezik. Helyesen mondva, nem a hús fog fényleni, hanem a hús felületén tenyésző baktériumok fogják a fényt előidézni. Ez a baktérium pedig a *Bacterium phosphoreum*, amely Molisch szerint sokkal gyakoribb és sokkal elterjedtebb baktérium, mintsem gondolták.

Az irodalom sok fénylő baktérium (*Photobacterium*) fajt sorol fel. Migula munkájában 25 fajt említ. Beijerinck csak hatot sorol fel. Ezeknek a fajoknak a legnagyobb része a tengerben él és hozzájárul a tenger fénylésének az előidézéséhez, de többen élnek a fénylő halakon is (pl. *Bacillus lucifer*). A tenger fénylését a baktériumokon kívül apró állatok is okozzák, de részesek ebben a növények is, pl. a *Pyrocystis pseudonociluca* és néhány *Peri-*



dínea. A rothadó fák fénylése gombáktól ered, amelyek telepe, mycéliuma a rothadó fa testét keresztül-kasul járja, tehát a fény nem a fától, hanem a fa sejtközzötti járataiban elhelyezkedett gombamycéliumtól ered. Különösen a régebben *Rhizomorpha* néven leírt sajátságos mycéliumalak lett a fényléséről legelőbb ismeretes, amely a fákat pusztító mézszínű galóca (*Agaricus melleus*) mycéliuma. Hasonló fénylést mutat az olajfák alatt élő *Agaricus olearius*, a mi fáink törzsén megjelenő *Polyporus sulfureus* és néhány más, különösen forróövi gomba (*Agaricus igneus*, *A. noctilucens*, *A. Gardneri*, *Mycena illuminans*) mycéliuma. Sőt Molisch szerint a tölgy- és bükk-erdőkben a lehullott és korhadó levelek is fénylenek, ami a leveleket körülfogó gombamycéliumoktól ered,

A korhadó fák fénylését, helyesebben mondva: villanását a *Neanura muscorum* állat okozza; a villanás a fényléstől abban különbözik, hogy csak néhány másodpercig tart. A növények fénylését kapcsolatba hozhatjuk a lélekzéssel, mert kétségen kívül az oxydálás folyamatával függ össze. Nevezetes azonban, hogy bizonyos körülmények közt, pl. nagyobb hőmérsékleten a fénylés megszűnik, ellenben a lélekzés élénkebb lesz. Annyi bizonyos, hogy a fény nem valamely, a növény sejteiben levő szerves anyagból ered.

Magáról a fény okáról és eredetéről tehát nem sokat tudunk, de épen oly kevéssé ismerjük a hasznát is. Nem szabad azonban a növényeknek ezzel a fénylésével kapcsolatba hozni némely növény sejteinek szerkezetével összefüggő visszaverődési fényjelenségeket. Ilyeneket találni némely harasztban, *Selaginella*-n, de különösen a hazánkban is élő *Chromophyton Rosanoffii* nevű *Flagellata* sejtjein és egy mohának, *Schistostega osmundacea*-nak protonémáján. Az előbbi a budapesti egyetemi növénykert üvegházi akváriumának vízfelületén minden év kora tavaszán megjelenik és jóformán sárgás színben ragyogóvá teszi a víz felületét, amennyiben az egyedeket alkotó egyes sejtek chromatórái helyzetüknél fogva a fényt bizonyos irányban visszaverik. Ugyanígy módon jön létre a *Schistostega* protonémájának a fénylése is. Csak megemlítjük, hogy az egyes



tengeri moszatok sajátságos fénylése fehérjenemű testek fluoreszkálása és opalizálása vagy pedig a kutikuláris lécek színjátéka. Épen így nem sorolható a növények fényléséhez az a jelenség, midőn forró, tikkasztó nyári éjszakákon virágok, virágzatok, hegyes ágvégződések felvillannak, ami bizonyára az elektromossággal van kapcsolatban (Szent Elmo tüze).

A világító baktériumoknak munkáját bizonyos anyagoknak jelenlétével, azután a ph-értékek változtatásával mesterségesen is befolyásolhatjuk. Újabban sikerült bebizonyítani, hogyha ezeket a világító baktériumokat ultraibolya sugarakkal való besugárzással megölik, a világítás tovább tart, tehát, valószínű, hogy enzimatisus folyamattal állunk szemben és hogy ezek a baktériumok egy világítóanyagot az ún. fotogént termelik, amely egy fotogenáznak nevezett anyagból keletkezik enzimhatásra. Ezt a fotogént azután más enzimek oxydálják, amely folyamat természetesen bizonyos ideig még a baktériumok elhalása után is tart.

Egyike a legérdekesebb energiának, amelyet az élő növények termelnek a villamos energia. Természetesen ennek kimutatása csak az újabb időben a vizsgálati módszereknek tökéletesedésével sikerült. Egyike a legegyszerűbb kísérleteknek abban áll, hogy egy elektródát valamilyen lomblevélnek mesophyll szövetébe, a másik elektródát pedig a levélnek főerébe fektetjük. Ebben az esetben, ha érzékeny galvanometert kapcsolunk be, pozitív áramokat konstatálhatunk, amelyek a főértől a levél felülete felé haladnak.

A növények elektromos jelenségeit majd a növények ingermozgásaival kapcsolatban a következő kötetben fogjuk tárgyalni, úgyhogy itt röviden csak azokkal az elektromos jelenségekkel fogunk foglalkozni, amelyek a növények által termelt elektromos energiára vezethetők vissza.

Rendkívül érdekes, hogyha egy növényi részt megsértünk, pl. egy levélnek a főerét és egy elektródát a sérülés közelébe helyezünk, a másik elektródát pedig a sértetlen epidermiszbe helyezzük, akkor szintén a galvanometer kilengésével mérhető gyenge áram keletkezik, mégpedig olyan módon, hogy az áram a megsérült rész felől halad a sértetlen rész felé. Hasonlóképpen sikerült kimutatni, hogy ezeket az elektromos jelensé-



geket pl. a lélekzés lefolyása, azután az asszimilálás szintén befolyásolják. Pl. ha zöld növényeket sötétbe helyezünk, abban az esetben az elektromos áram ezekben megszűnik.

Általában — amint a kolloidkémiai fejezetben láttuk — a növényekben lefolyó különböző átváltozások és folyamatok, azután az elektrolytikus jelenségek mindig bizonyos elektromos energia keletkezésével is járnak és ilyenkor legtöbbször kémiai energia alakul át elektromos energiává. Kétségtől eltekintve a villamos energiának egyik legérdekesebb keletkezése, amikor ozmotikus koncentráció különbségek kiegyenlítéséből keletkezik az elektromos energia. Ilyen elektromos áram keletkezését az ozmotikus jelenségek-nél is ki lehet mutatni. Azonban természetesen még a növények ozmotikus folyamatainál idevonatkozólag nem sikerült ezt kísérletileg beigazolni.

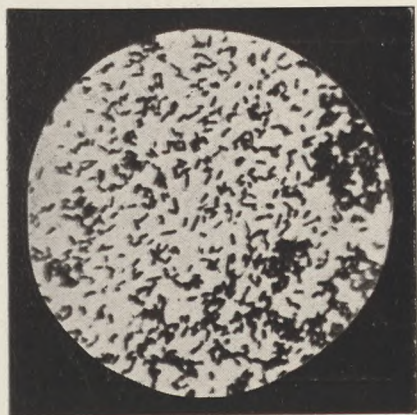
Hasonlóképpen a növényekben a mechanikai energia is átalakul és átalakulhat elektromos energiává. Így K u n k e l az előbb említett egyszerű kísérleteknél keletkező áramot a növény vízpályáiban lefolyó víz-áramra vezeti vissza, miután a vízáramlással az elektromos jelenségeket bizonyos mértékben csakugyan befolyásolni lehet. Ő tehát azt hitte, hogy az a jelenség, amikor az egyik elektrodát, amelyet természetesen a kísérlet-nél meg kell nedvesíteni, a mesophyllra, a másik elektrodát pedig a főerre helyezzük, ezeknek a nedves elektrodáknak érintkezésekor a főér és az epidermisz különbözőképpen itatódnak át vízzel és ez okozza az elektromos áramot. Ez a felfogás azonban nem volt tartható. Több idevonatkozó kísérlet megcáfolta K u n k e l felfogását. Különösen H a a c k e volt az, aki beigazolta, hogy olyan vízinövények levelein, amelyek egyenlő vastagságú vízréteggel vannak befedve, tehát a nedvesedés különböző foka nem léphet fel, szintén meg lehet figyelni az elektromos áram keletkezését.

Az elektromos energiának másik keletkezése volna az, amikor ez fényből keletkezik. Valószínű azonban, hogy ez a jelenség a növényekben közvetlenül nem lép fel, miután a növények a fényt először kémiai energiává alakítják át és ezután szükség szerint ebből a kémiai energiából képeznek elektromos energiát.

Hátra volna még annak a lehetősége, hogy a növény a hő-energiából is képez elektromos energiát, azonban idevonatkozó ismereteink még nagyon hiányosak.

Hogy azután a növény milyen célból használja fel a képezett elektromos energiát, illetőleg hogy ez az elektromos energia ismét milyen energiává változik át, arravatkozólag megint többféle lehetőség van, amelyek között első helyen áll ennek az elektromos energiának ismét mechanikai energiává való átalakulása, amikor ez a jelenség az elektroozmotikus,

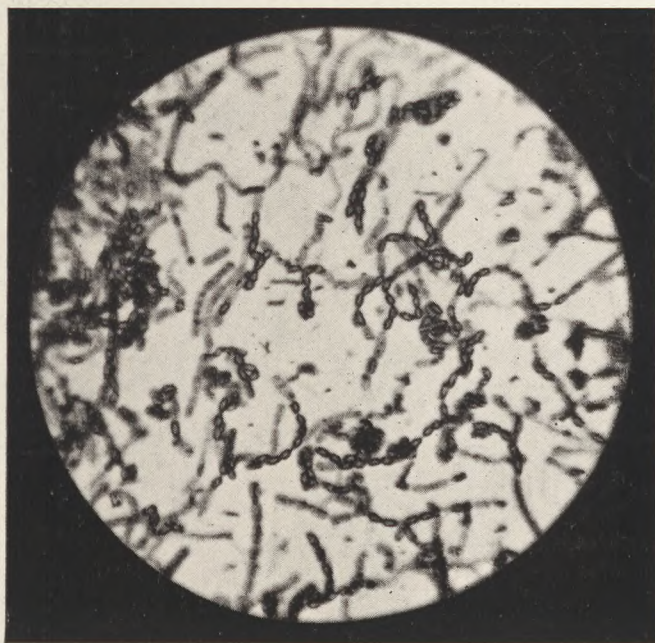




1. kép.



2. kép.



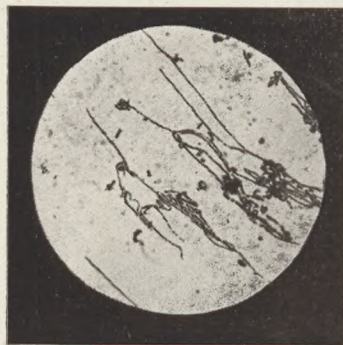
3. kép.

1. *Pseudomonas fluorescens*, kb. 1000-szeres nagyítás. F.
2. *Bac. mycoides*, kb. 1500-szoros nagyítás. F.
3. *Bac. pseudoanthracis*, spóráképződés alatt, kb. 2000-szeres nagyítás. F.





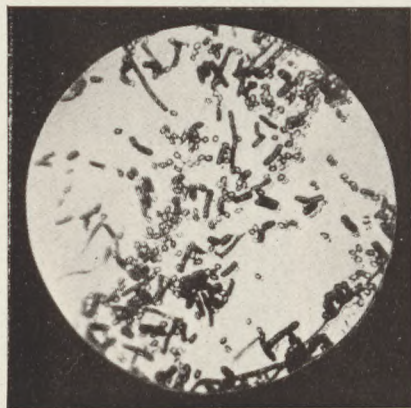
4. kép.



5. kép.



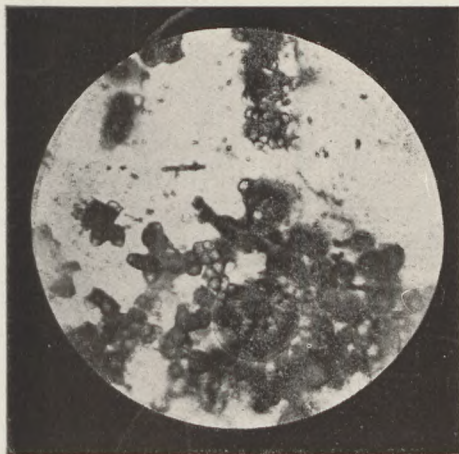
6. kép.



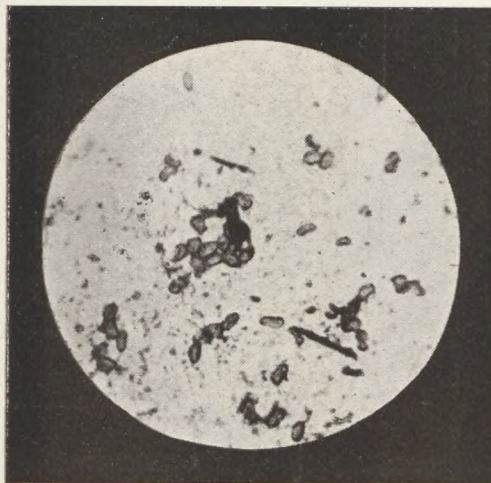
7. kép.

4. *Bac. subtilis*, kb. 750-szeres nagyítás. F.
5. *Bac. adhaerens*, kb. 500-szoros nagyítás. F.
6. *Clostridium multifementans*, spóráképző alakok. A baktérium testében kitűnően láthatók az erősen fénytörő, képződés alatt lévő spórák; a spóráképzés alatt a baktériumtest megdagad és sajátzerű az ú. n. *Clostridium*-alakot veszi fel. Kb. 1500-szoros nagyítás. F.
7. *Bac. robustus* spórákkal, kb. 1000-szeres nagyítás. F.

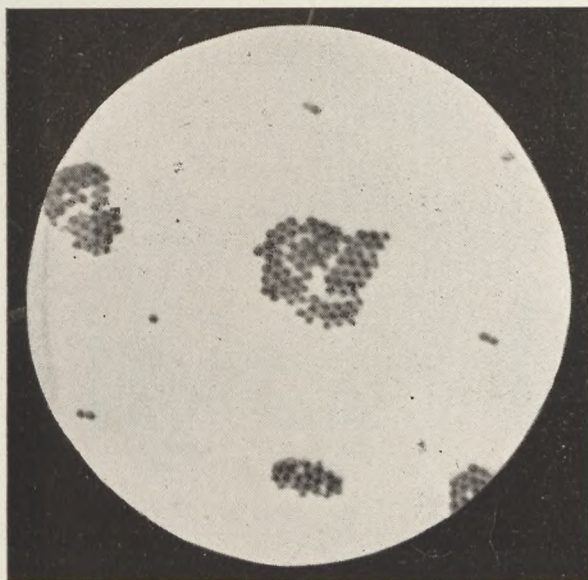




8. kép.



9. kép.

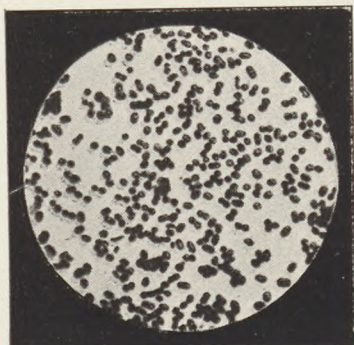


10. kép.

8 és 9. *Azotobacter chroococcum*, kb. 1000-szeres nagyítás.  
A 8. képen kitűnően látszanak az osztódásban lévő alakok,  
nyálkás anyagba beágyazva. F

10. *Micrococcus candidus*, kb. 1200-szoros nagyítás. F.

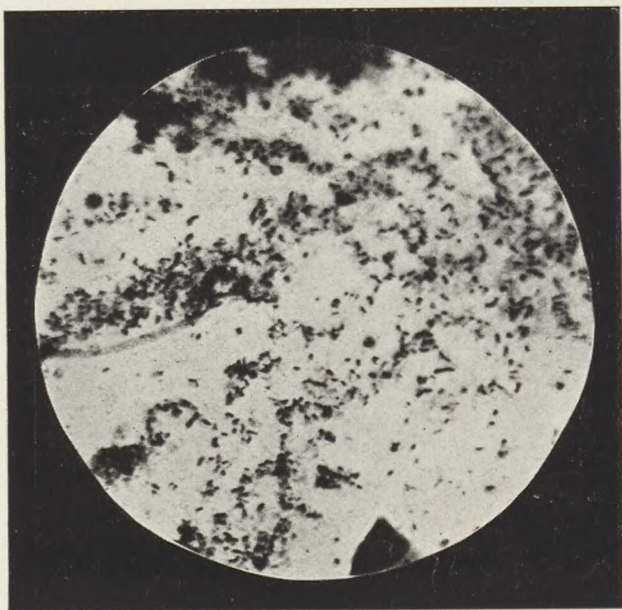




11. kép.



12. kép.



13. kép.

11. Nitrifikáló baktériumok, kb. 1500-szoros nagyítás. F.
12. *Clostridium pastorianum*, spóráképző alakok, kb. 1500-szoros nagyítás. F.
13. Denitrifikáló baktériumok kevert tenyésztete, kb. 1500-szoros nagyítás. F.

F. = A felvétel készült az erdőmérnöki főiskola növényteni intézetének mikrobiológiai laboratóriumában. Meghatározta: Dr. Fehér, fényképezte Phoku készülékkel és Zeiss-féle 2 mm-es apochromáttal: Döme.



illetőleg kolloidkémiai részben részletesen tárgyalt kataforetikus jelenségeket hozza létre.

Elektroozmózis alatt értjük azt a jelenséget, amikor egy edényben, amelyet egy porózus diafragmával elválasztunk és a diafragma jobb és bal oldalán az edényt valamilyen oldattal töltjük meg és ezen áramot vezetünk keresztül, akkor a folyadék a diafragmán keresztül az egyik oldalról a másikra halad mindaddig, amíg az egyik oldalon kialakult víz-csúszlop magassága, illetőleg ennek hydrolytikus nyomása megakadályozza azt, hogy a másik oldalról az elektromos áram hatására még több víz vándoroljon át. Ennek a jelenségnek az ozmózissal való nagy hasonlatossága következtében az elektroozmózis nevet adták.

Valószínű, hogy a növények életfolyamatainál az elektromos áram szintén idéz elő hasonló jelenségeket

Az elektroozmózisnál azonban nemcsak a víz áramlik az egyik oldalról a másikra a diafragmán keresztül, hanem ezenkívül még az oldatban lévő anyagrészcskék is, úgyhogy koncentráció-változások következnek be, amellyel kapcsolatban természetesen ozmotikus nyomáskülönbségek is fellépnek. Ebben az esetben tehát a növény testében, lehetőleg annak sejtjeiben az elektromos energia ozmotikus energiává változott át.

Hogy ez az elektromos energia azután kémiai energiává is átalakulhat és a növényekben különböző kémiai reakciókat hozhat létre, az szintén világos és elképzelhető.

Az itt vázolt rövid összefoglalással kapcsolatban hangsúlyozzuk azonban, hogy az itt mondottak — eltekintve az előbb említett kísérleti eredményektől — csak elméleti jelentőségűek és ezen a téren újabb eredményeket csak a mindinkább tökéletesedő elektrofiziológiai vizsgálati módszerek hozhatnak.\*)

Végül egy nagyon fontos átalakulása az energiának az, amikor a növényekben mechanikai energia keletkezik. Ez a mechanikai energia elsősorban kétségtől a kémiai elváltozásokkal kapcsolatos és az esetek túlnyomó részében a kémiai energiának mechanikai energiává való átalakulásával van dolgunk. Egyelőre még vita tárgyát képezi, hogy vajjon a mechanikai energia kizárólag kémiai energiából a lélekzéssel kapcsolatban lesz-e termelve és bizonyosnak csak annyit vehetünk, hogy a lélekzés valószínűleg elmaradhatatlan feltétele a mechanikai energia átalakulásának, de bizonyosan vannak esetek, amikor nem közvetlenül a lélekzés adja meg a mechanikai

\*) Egyébként a villamos áramnak a növényekre gyakorolt hatásáról majd részletesen a növények ingerjelenségeinek a tárgyalásánál lesz szó.



energiát. Ennél a kérdésnél figyelembe kell vennünk, hogy a lélekzésnél keletkezett energia átalakulásoknál a hőenergia nem játssza ugyanazt a döntő szerepet, amelyet más energetikai folyamatoknál, amelyek az eléggessel vannak kapcsolatban, betölteni szokott.

Amint már említettük, ennek a feltevésnek legfontosabb bizonyítéka az, hogy a lélekzésnél keletkezett meleget nem lehet más hőenergiával pótolni, ami azt mutatja, hogy a meleg keletkezése csak másodlagos jelenség.

Általában a mechanikai energia a növényekben elsősorban az anyagvándorlásnál mutatkozik a legfeltűnőbbben, azonkívül a mozgási jelenségeknél szintén jelentékeny energiát kell a növényeknek fejleszteniök. Vannak azután mechanikai energiaforrások, amelyeknél a lélekzéssel való közvetlen összefüggést kimutatni nem sikerült, vagyis ezeknél az energiaformáknál a mechanikai energia és a kémiai energia között közvetlen kapcsolatot létesíteni nem lehet.

A mechanikai energia megnyilvánulásai közé tartozik mindenekelőtt az ozmotikus energia, amelynél aránylag kis kémiai energiával rendelkező anyagok nagy ozmotikus, tehát mechanikai energiát képesek kifejteni. Ugyancsak ide tartoznak a felületi energiának a megnyilvánulásai is, amelyekről a felületi feszültségnél részletesen szövegtünk. Hasonlóképpen ide lehet sorozni a kiválasztó és kristályosító energiát is, amely különösen a sejtmembránnak a növekedésénél játszik fontos szerepet. Végül távolabbi értelemben ide kell sorolnunk a kohézió jelenségeit is, amelyek szintén a mechanikai energia megnyilvánulásai közé tartoznak.

Ezekben óhajtottuk röviden vázolni a növényekben lefolyó energiaváltozásokat, amelyekre vonatkozólag itt újólag meg kell jegyeznünk, hogy ez a jelenségkomplexum a növény anyagcseréjének még legkevésbé ismert része, amelynek terén a jövőben még jelentős kutatások és eredmények várhatók.



**A könyv megírásánál felhasznált fontosabb forrásmunkák  
jegyzéke:**

**I. A növénytan biokémiai és biofizikai alaptudományai:**

- Abderhalden*: Biochemisches Handlexikon.
- Abderhalden*: Lehrbuch der physiologischen Chemie. 1923.
- Bechhold*: Die Kolloide in Biologie und Medizin. 1929.
- Beilstein*: Handbuch der organischen Chemie.
- Berliner*: Lehrbuch der Physik. 1928.
- Buchböck*: Fizikai-chemiai mérőmodszerek. 1922.
- Clark*: The Determination of Hydrogen Ions. 1928.
- Cohnheim*: Chemie der Eiweisskörper. 1911.
- Czapek*: Biochemie der Pflanzen. 1921.
- Czapek*: Über eine Methode der direkten Bestimmung der Oberflächenspannung der Plasmahaut von Pflanzenzellen. 1911.
- Dietrich*: Einführung in die physikalische Chemie. 1923.
- Edlbacher*: Die Strukturchemie der Aminosäuren und Eiweisskörper. 1929.
- Eichwald-Fodor*: Die physikalisch-chemischen Grundlagen der Biologie. 1919.
- Euler*: Chemie der Enzyme. 1927.
- Gellhorn*: Das Permeabilitätsproblem. 1929.
- Graham*: Abhandlungen über Dialyse. Átdolgozta: E. Yordis. 1911.
- Guggenheim*: Die biogene Amine. 1920.
- Handovsky*: Grundbegriffe der Kolloidchemie. 1927.
- Hirsch*: Fermentstudien. 1917.
- Höber*: Physikalische Chemie der Zelle. 1924.
- Jellinek*: Lehrbuch der physikalischen Chemie. 1930.
- Karrer*: Organische Chemie. 1928.
- Karrer*: Polymere Kohlehydrate. 1925.
- König*: Chemie der menschlichen Genuss- und Nahrungsmittel. 1919.
- Liesegang*: Kolloidchemie des Lebens. 1909.
- Michaelis*: Dynamik der Oberflächen. 1909.
- Michaelis*: Wasserstoffionenkonzentration. 1922.
- Misslowitzer*: Die Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration von Flüssigkeiten. 1928.
- Oppenheimer*: Handbuch der Biochemie. 1930.
- Oppenheimer*: Organische Chemie. 1929.
- Oppenheimer*: Die Fermente. 1925.



- Pauly-Valkó*: Elektrochemie der Kolloide. 1929.  
*Pfeiffer*: Elektrizität und Eiweiss. 1929.  
*Rohrer*: Fizika. 1914.  
*Sappel*: Biologie und organische Chemie. 1930.  
*Scharrer*: Chemie und Biochemie des Jods. 1928.  
*Sondeck*: Die Elektrolyte. Ihre Bedeutung für die Physiologie. 1927.  
*Steel*: Physical Chemistry and Biophysics. 1928.  
*Trier*: Chemie der Pflanzenstoffe. 1924.  
*Vági-Fehér*: A szerves végytan elemei, különös tekintettel azoknak biológiai vonatkozásaira. 1930.  
*Wehmer*: Die Pflanzenstoffe. 1929.  
*Zemplén*: Az enzymeek és gyakorlati alkalmazásuk. 1915.

## II. Talajtan és talajbiológia:

- Arrhenius*: Bodenreaktion und Pflanzenwachstum. 1926.  
*Aujeszký*: Általános Bakteriológia. 1924.  
*Baumgärtel*: Grundriss der theoretischen Bakteriologie. 1924.  
*Beke*: Mezőgazdasági bakteriológia. 1908.  
*Bergey*: Manual of Determinative Bacteriology. 1925.  
*Benecke*: Bau und Leben der Bakterien. 1912.  
*Biederman*: Die Aufnahme, Verarbeitung und Assimilation der Nahrung in der Pflanze. 1910.  
*Blanck*: Handbuch der Bodenkunde. 1929—1931.  
*Bornebusch*: The Fauna of Forest Soil. 1930.  
*Buchanan and Fulmer*: Physiology and Biochemistry of Bacteria. 1928.  
*Buchanan*: General Systematic Bacteriology. 1925.  
*Doflein-Reichenow*: Lehrbuch der Protozoenkunde. 1929.  
*Düggeli*: Bodenbakteriologie. 1921.  
*Ehrenberg*: Die Bodenkolloide. 1918.  
*Fehér*: Die Biologie des Waldbodens und ihre Bedeutung im Leben des Waldes. 1929.  
*Francé*: Das Edaphon. 1921.  
*Fuhrmann*: Einführung in die Grundlagen der technischen Mykologie. 1926.  
*Greaves*: Agricultural Bacteriology. 1922.  
*Haselhof-Blanck*: Lehrbuch der Agrikulturchemie. 1929.  
*Henneberg*: Handbuch der Gärungsbakteriologie. 1926.  
*Kappen*: Die Bodenreaktion. 1929.  
*Kolle*: Handbuch der pathogenen Mikroorganismen. 1931.  
*Kossowicz*: Bodenbakteriologie. 1912.  
*Kreybig*: A trágyaszerek jóvedelmező érvényesítésének feltételei. 1931.  
*Kreybig*: A talaj élete és trágyázása. 1929.  
*Lafar*: Handbuch der technischen Mykologie. 1905—1914.  
*Lehmann és Neumann*: Bakteriologische Diagnostik. 1927.  
*Lieske*: Allgemeine Bakterienkunde. 1926.



- Lieske*: Die Strahlenpilze. 1926.  
*Löhnis*: Handbuch der landwirtschaftlichen Bakteriologie. 1910.  
*Löhnis*: Vorlesung über landwirtschaftliche Bakteriologie. 1928.  
*Mevius*: Reaktion des Bodens und Pflanzenwachstum. 1927.  
*Meyer*: Die Zelle der Bakterien. 1912.  
*Migula*: Das System der Bakterien. 1900.  
*Mitscherlich*: Bodenkunde. 1922.  
*Nowak*: Documenta Microbiologica. 1929.  
*Puchner*: Bodenkunde. 1923.  
*Rippel*: Vorlesungen über theoretische Mikrobiologie. 1927.  
*Russel*: The Microorganisms of the Soil. 1923.  
*Schucht*: Bodenkunde. 1930.  
*Stoklasa-Doerell*: Handbuch der biophysikalischen und biochemischen Durchforschung des Bodens. 1926.  
*Stremme*: Bodenkunde. 1926.  
*Raman*: Bodenkunde. 1905.  
*Thaysen and Bunker*: The Microbiology of Cellulose. 1927.  
*Vági*: Az agrikulturchemia és trágyázástan elemei. 1927.  
*Vági*: A talajtan elemei. 1927.  
*Vági*: A meteorológia és éghajlattan elemei. 1928.  
*Waksman*: Der gegenwärtige Stand der Bodenbakteriologie. 1930.  
*Waksman*: Principles of Soil Microbiology. 1927.  
*Wenyon*: Protozoology. 1926.

### III. A növények táplálkozása:

- Abderhalden*: Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden. 1919—1931.  
*Abderhalden*: Lehrbuch der Physiologie. 1927.  
*Abderhalden*: Synthese der Zellbausteine in Pflanze und Tier. 1907.  
*Ballenegger*: Bevezetés a növények életvegytanába. 1922.  
*Bayliss*: Grundriss der allgemeinen Physiologie. 1926.  
*Benecke-Jost*: Pflanzenphysiologie. 1924.  
*Bethe-Bergmann*: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. 1926—1931.  
*Boas*: Das phyletische Anionenphänomen. 1927.  
*Boas*: Die Pflanze als kolloides System. 1928.  
*Bose*: Comparative Electro Physiology. 1907.  
*Bose*: Die Physiologie des Saftsteigens. 1925.  
*Bose*: The Motor Mechanism of Plants. 1928.  
*Braun-Blanchett*: Pflanzensoziologie. 1928.  
*Buchner*: Tier und Pflanze in intracellulärer Symbiose. 1931.  
*Bruttini*: L'influenza del Elettricità sulla Vegetazione. 1912.  
*Burgerstern*: Die Transpiration der Pflanze. 1925.  
*Candolle*: Physiologie Végétale. 1832.  
*Chodat*: Principles de Botanique. 1907.



- Clement*: Die Zellulose. 1923.  
*Cohn*: Die Pflanze. 1897.  
*Darwin*: Insektenfressende Pflanzen.  
*Dengler*: Waldbau. 1930.  
*Detmer*: Beiträge zur Theorie des Wurzeldruckes. 1877.  
*Detmer*: Vergleichende Physiologie des Keimungsprozesses. 1880.  
*Detmer*: Pflanzenphysiologisches Praktikum. 1910.  
*Drude*: Die Ökologie der Pflanzen. 1913.  
*Duncan-Harlan*: The Relation of Plants to Tide-Levels. 1915.  
*Ehrenberg*: Die Bewegung des Ammoniakstickstoffs in der Natur. 1907.  
*Ehrenberg*: Theoretische Biologie. 1923.  
*Engler*: Pflanzenfamilien. 1929—1931.  
*Fitting*: Die Pflanze als lebender Organismus. 1917.  
*Francé*: Das Leben der Pflanze.  
*Frank*: Botanik. 1892.  
*Frank*: Pilzsymbiose der Leguminosen. 1890.  
*Funk*: Die Vitamine. 1924.  
*Gellhorn*: Das Permeabilitätsproblem. 1930.  
*Giesenhagen*: Botanik. 1920.  
*Glück*: Untersuchungen über Wasser- und Sumpfgewächse. 1924.  
*Grafe*: Chemie der Pflanzenzelle. 1922.  
*Grafe*: Ernährungsphysiologisches Praktikum. 1914.  
*Greil*: Naturwissenschaftliche Methodik der Gewächsforschung. 1924.  
*Handwörterbuch* der Naturwissenschaften.  
*Hartig*: Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen. 1892.  
*Hartig*: Untersuchungen aus dem Forstbotanischen Institut zu München. 1883.  
*Harz*: Samenkunde. 1885.  
*Heber*: Elektrizität und Pflanzenwachstum. 1902.  
*Heilbrunn*: The Colloid Chemistry of Protoplasma. 1928.  
*Hertwig*: Allgemeine Biologie. 1920.  
*Holluta*: Die neueren Anschauungen über die Dynamik und Energetik der Kohlensäureassimilation. 1926.  
*Hofmeister*: Handbuch der physiologischen Botanik. 1877.  
*Janisch*: Das Exponentialgesetz als Grundlage einer vergleichenden Biologie. 1927.  
*Junk*: Tabulae Biologicae. 1930.  
*Kanitz*: Általános Növénytan.  
*Kanitz*: Temperatur und Lebensvorgänge. 1915.  
*Keller*: Die Elektrizität in der Zelle. 1918.  
*Kerner*: Pflanzenleben. 1888.  
*Kiesel*: Chemie des Protoplasma. 1930.  
*Kinzel*: Frost und Licht als beeinflussende Kräfte bei der Samen-  
 keimung. 1920.  
*Kleberger*: Grundzüge der Pflanzenernährungslehre. 1927.  
*Kolkwitz*: Pflanzenphysiologie. 1922.



- Kolkwitz*: Pflanzenforschung. 1929.  
*Komm*: Eiweissbildung bei Tier und Pflanze. 1925.  
*Kostytschew*: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. 1926.  
*Kostytschew*: Pflanzenatmung. 1924.  
*Kraepelin*: Einführung in die Biologie. 1909.  
*Küster*: Botanik. 1920.  
*Küster*: Pathologie der Pflanzenzelle. 1929.  
*Lepeschkin*: Kolloidchemie des Protoplasma. 1924.  
*Lepeschkin*: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. 1925.  
*Linsbauer*: Vorschule der Pflanzenphysiologie. 1906.  
*Linstrov*: Bodenanzeigende Pflanzen. 1929.  
*Lloyd*: The Physiology of Stomata. 1908.  
*Loeb*: Die Eiweisskörper. 1924.  
*Luerssen*: Botanik. 1893.  
*Lundegardh*: Klima und Boden. 1930.  
*Lundegardh*: Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur. 1924.  
*Lundegardh*: Grundzüge einer chemisch-physikalischen Theorie des Lebens. 1914.  
*Macleod*: Kohlenhydratstoffwechsel und Insulin. 1927.  
*Mágocsy-Dietz*: A növények életfolyamatai. (Az élők világa). 1914.  
*Mágocsy-Dietz*: A növények táplálkozása. 1909.  
*Masui*: A Study of the Ectotrophic Mycorrhizas of Woody Plants. 1927.  
*Mayr*: Waldbau. 1909.  
*Meinecke*: Die Kohlenstoffernährung des Waldes. 1927.  
*Melin*: Experimentelle Untersuchungen über die Konstitution und Ökologie der Mykorrhizen von *Pinus silvestris* und *Picea excelsa*. 1923.  
*Melin*: Untersuchungen über die Bedeutung der Baummykorrhiza. 1925.  
*Merckenschläger*: Keimungsphysiologische Probleme. 1924.  
*Migula*: Pflanzenbiologie. 1909.  
*Molisch*: Pflanzenphysiologie. 1918.  
*Molisch*: Leuchtende Pflanzen. 1912.  
*Müller*: Botanik. 1880.  
*Müller*: Die innere Therapie der Pflanzen. 1926.  
*Münch*: Bau und Leben unserer Waldbäume. 1927.  
*Münch*: Die Stoffbewegung in der Pflanze. 1930.  
*Neger*: Biologie der Pflanzen. 1913.  
*Neger*: Die Krankheiten unserer Waldbäume. 1919.  
*Nobbe*: Samenkunde. 1876.  
*Nördlinger*: Forstbotanik. 1874.  
*Nussbaum*: Lehrbuch der Biologie. 1911.  
*Oelkers*: Waldbau. 1931.  
*Péterfy*: Methodik der wissenschaftlichen Biologie. 1928.  
*Pfeffer*: Energetik der Pflanze. 1892.  
*Pfeffer*: Pflanzenphysiologie. 1904.  
*Pfeffer*: Osmotische Untersuchungen. 1876.



- Prantl-Pax*: Botanik. 1909.  
*Raab*: Hormone und Stoffwechsel. 1926.  
*Radel*: Geschichte der biologischen Theorien. 1913.  
*Rayner*: Mycorrhiza. 1927.  
*Reinau*: Kohlensäure und Pflanzen. 1920.  
*Reinke*: Physiologie und Botanik. 1905.  
*Reinke*: Grundlagen einer Biodynamik. 1922.  
*Rees*: Botanik. 1896.  
*Rippel*: Wachstumsgesetze bei niederen und höheren Pflanzen. 1925.  
*Ross*: Die Pflanzengallen. 1911.  
*Russel*: Plant Nutrition and Crop Production. 1926.  
*Russel-Brehm*: Boden und Pflanze. 1914.  
*Sachs*: Abhandlungen über Pflanzenphysiologie. 1892.  
*Sachs*: Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 1882.  
*Samec*: Kolloidchemie der Stärke. 1927.  
*Schaxel*: Grundzüge der Theoriebildung in der Biologie. 1922.  
*Schleiden*: Botanik. 1845.  
*Schneidewind*: Die Ernährung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. 1922.  
*Schmiedt*: Bau und Funktion der Siebröhre der Angiospermen. 1917.  
*Schroeder*: Die Hypothesen und die chemischen Vorgänge bei der Kohlensäureassimilation. 1917.  
*Schroeder*: Die Stellung der grünen Pflanze in der irdischen Kosmos. 1920.  
*Schwarz*: Forstliche Botanik. 1892.  
*Seubert-Ahles*: Pflanzenkunde. 1887.  
*Small*: Hydrogenionconcentration in Plant Cells and Tissues. 1929.  
*Sorauer*: Handbuch der Pflanzenkrankheiten. 1921—1930.  
*Spoehr*: The Carbohydrate Economy of Kakti. 1919.  
*Stern*: Elektrophysiologie der Pflanzen. 1924.  
*Stocker*: Der Stoffwechsel der Pflanzen. 1913.  
*Stoklasa*: Über die Bedeutung des Aluminiums in der Natur und seine Bedeutung beim Bau und Betriebsstoffwechsel der Pflanze. 1922.  
*Strasburger*: Botanik. 1928.  
*Strasburger*: Bau und Verrichtungen der Leitungsbahnen.  
*Szabó*: A növények szerveszete. 1922.  
*Thoday*: Botany. 1925.  
*Tieghem*: Éléments de Botanique. 1906.  
*Tillmann*: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 1927.  
*Trier*: Über einfache Pflanzenbasen und ihre Beziehungen zum Aufbau der Eiweißstoffe und Lecithin. 1912.  
*Tschermak*: Allgemeine Physiologie. 1924.  
*Tschulok*: Das System der Biologie in Forschung und Lehre. 1916.  
*Tuzson*: Növényföldrajz. 1911.  
*Tuzson*: Rendszeres Növénytan. 1926.  
*Ungerer*: Die Regulationen der Pflanzen. 1920.  
*Verworn*: Allgemeine Physiologie. 1918.



- Wagner: Die Ernährung gärtnerischer Kulturpflanzen. 1928.  
 Walter: Pflanzengeographie. 1927.  
 Walter: Der Wasserhaushalt der Pflanze in quantitativer Betrachtung. 1925.  
 Warburg: Pflanzenwelt. 1916.  
 Warburg: Über die katalytische Wirkung der lebenden Substanz. 1928.  
 Warming-Johanssen: Lehrbuch der allgemeinen Botanik. 1909.  
 Wesque: Botanique. 1885.  
 Wieler: Pflanzenwachstum und Kalkmangel im Boden. 1912.  
 Wiesner-Linsbauer: Anatomie und Physiologie der Pflanzen. 1922.  
 Willstätter: Assimilation der Kohlensäure. 1918.  
 Winterstein: Die Narkose. 1926.  
 Willstätter: Untersuchungen über Chlorophyll. 1913.  
 Winterstein: Handbuch der vergleichenden Physiologie. 1913.

**A könyv megírásánál felhasznált fontosabb folyóiratok  
jegyzéke:**

- |   |  |
|---|--|
| Acta Forestalia Fennica.                | Journal of Agricultural Research.        |
| Angewandte Botanik.                     | Journal of Agricultural Science          |
| Annales de la Sciences Agronomiques.    | Landwirtschaftliche Jahrbücher.          |
| Archiv für Mikrobiologie.               | Magyar Botanikai Lapok.                  |
| Archiv für Pflanzenbau.                 | Meddelanden fran Statens Skogför-        |
| Beihefte z. Botanischen Zentralblatt.   | söksanstalt.                             |
| Berichte der Deutschen Botanischen      | Meddelelser fran Norges Skogfor-         |
| Gesellschaft.                           | soksvesenet.                             |
| Berichte über die gesamte Physiologie.  | Mezőgazdasági Kutatásak.                 |
| Berichte über die wissensch. Biologie.  | Mitteilungen aus Forstwirtschaft und     |
| Biochemische Zeitschrift.               | Forstwissenschaft.                       |
| Biological Abstracts.                   | Mitteilungen der Internationalen Bo-     |
| Biologisches Zentralblatt.              | denkundlichen Gesellschaft.              |
| Botanikai Közlemények                   | Österreichische Botanische Zeitschrift.  |
| Botanischer Jahresbericht, Just.        | Planta Archiv für wissensch. Botanik.    |
| The Botanical Gazette.                  | Plant Physiologie.                       |
| Botanisches Archiv.                     | Protoplasma.                             |
| Botanisches Zentralblatt.               | Revue Generale de Botanique.             |
| Le Botaniste.                           | Rothamsted Experiment Station            |
| Centralblatt für das ges. Forstwesen.   | Report.                                  |
| Erdészeti Kísérletek.                   | Soil Science.                            |
| Ergebnisse der Biologie.                | Zeitschrift für Botanik.                 |
| Ergebnisse der Physiologie. Ascher.     | Zeitschrift für Pflanzenernährung,       |
| Die Ernährung der Pflanze.              | Düngung und Bodenkunde.                  |
| Flora, Allg. Bot. Zeitschrift.          | Zeitschrift für vergleichende Phy-       |
| Jahrbücher für wissensch. Botanik.      | siologie.                                |
| Jahresbericht über wissensch. Biologie. | Zentralblatt für Bakteriologie. II. Abt. |
| Japanese Journal of Botany.             |  |



## Betűsoros tárgy- és névmutató.

### Rövidítések.

Bac. = Bacillus, Bact. = Bacterium, Micr. = Micrococcus, Spir. = Spirillum, Vibr. = Vibrío.

Vastagon nyomtatott szám képet jelent.

A képeken a klisék eredetét mindenütt feltüntettük. Az *E*-vel jelzett képek a m. kir. Bányamérnöki és Erdőmérnöki Főiskola Növényteni Intézetének fotolaboratóriumában készültek és ezeket *Döme Károly* intézeti laboráns fényképezte.

### a) Tárgymutató.

- |                                |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Abszorbcio 104.                | Aluminiumhydroxyd 95, 97.       |
| Adszorbcio 101.                | Amoebák 157, 176, 528.          |
| Ackerkrume 81.                 | Amoeba guttula 157.             |
| Adenin 148.                    | — limax 157.                    |
| Adhézió 88.                    | — proteus 157.                  |
| Adineta vaga 158.              | — terricola 157.                |
| Aerob szervezetek 471.         | Amandin 10.                     |
| — — , fakultatív 471.          | Amidázok 15.                    |
| Aerenchyma 461.                | Amidok 11.                      |
| Aerotropizmus 461.             | Amidoszervezetek 296.           |
| Aesculáz 14.                   | Amiláz 14.                      |
| Aesculin 8, 14.                | Aminok 145, 146.                |
| Aetherikus olajok és gyanták 8 | Aminosavak 11, 145, 146.        |
| Aethylalkohol 8.               | Ammonia 145 és köv.             |
| Agglutináció 363.              | Ammoniákszervezetek 296.        |
| Agglutinációs titer 363.       | Amphileptus 157.                |
| Aggregáció 540.                | Ampholytek 56.                  |
| Agyag 78.                      | Amygdalin 14.                   |
| Agyagtalajok 106, 107.         | Anabolizmus 543.                |
| Akceptorok 454.                | Analcim 98.                     |
| Akrocecidium 534.              | Anionok 57, 67.                 |
| Akrodomácium 534.              | Anachaeta-félék 159.            |
| Aktivátor 13.                  | Annelidák 159.                  |
| — , specifikus 397.            | Anorthit 98.                    |
| Alanin 146, 147.               | Antagonisztikus együttélés 518. |
| Albit 98.                      | Antagonizmus 300.               |
| Albuminok 10.                  | Antifermentumok 13, 397.        |
| Albumózok 5, 146.              | Antimon 20.                     |
| Aldehydázok 16.                | Anyagcsere 387.                 |
| Aldehyde 9.                    | — alkalmazkodása 545.           |
| Aleuronszemcsék 393.           | — eredménye 542.                |
| Aliphatikus aminok 9.          | — időszakossága 424.            |
| Alizarin 9.                    | — jelentősége 542.              |
| Alkoholoxydázok 16.            | — melléktermékei 420 és köv.    |
| Allooszitizmus 522.            | — szabályozása 545.             |
| Allotrof 476.                  | Anyavándorlás 397 és köv.       |
| Allylmustárolaj 9.             | Aphidák 529.                    |
| Almasav 8.                     | Aplasztikus anyagok 389.        |
| Altalaj 80.                    | Appresszóriumok 496.            |
| Aluminium 20, 32.              | Apterostigma 537.               |



- Arabinóz 7, 143.  
 Arachnoidea 131.  
 Arbutáz 14.  
 Aerenchyma 461.  
 Arginin 11, 146, 147.  
 Arid talajok 113, 127.  
 Aromatikus aldehidek 9.  
 — alkoholok 9.  
 — carbonsavak 9.  
 — szénhidrogének 9.  
 Arthropoda 131.  
 Arzén 20.  
 Atkák 533, 534.  
 Atkalakás 534.  
 Atrofia 500.  
 Atrofikus anyagok 389.  
 Atta-fajok 537.  
 Asparagín 11.  
 — bomlása 147.  
 Asszimiláció 305 és köv., 543.  
 — és a fény 328 és köv.  
 — és a hőmérséklet 335 és köv.  
 — látható terménye 325 és köv.  
 — lefolyása 312 és köv.  
 — és a levegőnyílások 338.  
 — és a levegő  $O_2$ -tartalma 338.  
 — és a lélekzés 326.  
 — mennyiségi meghatározása 327.  
 Asszimilációs hányados 444.  
 Asszimilált anyagok szállítása és felhasználása 386 és köv.  
 Asszimiláták 228, 387.  
 — szállításának célja 413.  
 — — okai és útjai 415.  
 — szállításra alkalmas alakban 413.  
 — szerepe 386.  
 Autofita 474.  
 Autolízis 12, 135.  
 Autooxydátorok 454.  
 Autotrof növények 311, 474 és köv.  
 Avogadro törvénye 222.  
 Átalakulások emelkedő sora 387.  
 — hanyatló sora 387.  
 Áthasonított anyagok 228, 389.  
 Átszivárgás I. ozmózis  
  
**Baktériumok adszorpciós felülete 131.**  
 —, aerob 471.  
 —, anaerob 471.  
 —, carbamidbontó 147.  
 —, cellulózbontó aerobak 136.  
 —, anaerobak 137.  
 — csoportosítása táplálótalajok szerint 295, 296.  
 —, denitrifikáló 132, 151, 153,  
 —, fakultatív anaerob 471.  
 —, fehérjebontó 145.  
 —, nitrifikáló 132, 150, 153.  
 —, N-kötő 153, 356.  
 —, pektinbontó 143.  
 — száma a talajban 162, 170 és a köv.  
 —, zsírokat és zsírsavakat bontók 143.  
 Bakteriorrhiza 518.  
 Barnatalajok 113, 115.  
 Bárium 20.  
 Bázis kicserélődés 98, 104.  
 Bennélösködők 496.  
 Benzaldehid 9.  
 Benzoésav 146, 149.  
 Berberin 11.  
 Betain 9, 11.  
 Bleicherde 82, 113.  
 Bodengare 86.  
 Borkészítés 436.  
 Borkósav 8, 146.  
 Borostyánkősav 8.  
 Boyle-Mariotte-féle törvény 221.  
 Bór 20.  
 Brenzborkósav 16.  
 Bróm 20.  
 Bryozoák 528.  
 Bursaria 528.  
  
 Cadaverin 145, 146, 147.  
 Caesium 33.  
 Calcium 20, 31, 96, 99.  
 — asszimilálása 385.  
 Callidina symbiotica 530.  
 — Leitgebii 530.  
 Canthocamptus 159.  
 Carbamid bomlása 146.  
 — bontó baktériumok 147, 172, 174, 185, 192.  
 Carbolhydrázok 14.  
 Carboxyláz 16.  
 Carnivora növények 140, 380, 477, 484 és köv., 491.  
 Carychium-fajok 159.  
 Cellobiáz 135.  
 Cellobióz 135.  
 Celluláz 15, 134.  
 Cellulóz 7.  
 — korhadása és rothadása 134 és köv.  
 — bontása fermentek által 141.  
 — átalakítása és vándorlása 400.  
 Cellulózbontó baktériumok 136, 137, 172, 174, 175, 187, 192, 372.  
 Cephalobus 159.  
 Cercomonas 157.  
 Chemoszintézis 355, 543.  
 Chermida 529.



- Chilomonas paramoecium 157.  
 Chinin 11.  
 Chinon 9.  
 Chitin 513.  
 Chlór 20, 32, 96, 100.  
 Chlorophyll 9.  
 — szerepe az asszimilációnál 316.  
 — színe 332  
 Chlorózis 30, 294.  
 Cholesterin 9.  
 Cholin 9.  
 Chróm 20.  
 Ciliata 157, 528.  
 Cink 20, 33.  
 Citrál 8.  
 Cobalt 20.  
 Colpoda 157.  
 Coniferylalkohol 9.  
 Coelenteráták 528.  
 Coleoptera 530.  
 Convoluta 528.  
 — Roscoffiensis 528.  
 Corophium 159.  
 Culicida 529.  
 Cumarin 9.  
 Cyclostoma 529.  
 Cyphomyrmex 536.  
 Cystin 147.  
 Cytáz 400, 406.  
 Csepegés 259.  
 Cserzőanyagok 8, 423.  
 Csírázás 402 stb.  
 — és a hőmérséklet 403.  
 Daphnetin 9.  
 Denaturálás 52.  
 Denitrifikáció 137, 150.  
 Denitrifikáló baktériumok 132, 151,  
 153, 172, 174, 175, 185, 192, 195,  
 196, 197, 393.  
 Destrukció 138.  
 Desztillált vízben tenyésztett növények 287.  
 Deszulfuráció 154.  
 Dextrin 14.  
 Dextrináz 14.  
 Dextróz 7.  
 Dezamináció 147.  
 Diaminok 146.  
 Diastofia 500.  
 Diasztáz 13, 14, 400, 404.  
 Dielektromos állandó 54.  
 Diffugia 157.  
 Diffúzió 212.  
 Diffúzió esés 399.  
 Digózás 124.  
 Diluviális márgatalaj 116.  
 Dimethylamin 146.  
 Diopszid 98.  
 Dipterocecidiumok 531.  
 Disaccharázok 14.  
 Disaccharidok 7.  
 Diszjunktus együttélés 526, 539 és köv.  
 Disszimiláció 427, 444, 543.  
 Disszociáció 48.  
 —, hydrolytikus 49.  
 —, elektrolytikus 50.  
 Diszperz, durva 39, 44, 47.  
 —, kolloidális 39, 44, 47.  
 —, molekuláris 39, 44, 47.  
 Diszperzió 44.  
 Diszperziós anyag 44.  
 — lázis 44.  
 — szisztéma 44, 45.  
 Diureid 401, 411.  
 Dizmutáció 431.  
 Donnan-egyensúly 67.  
 Dorylaimus 159.  
 Drepanosiphum 529.  
 Dulcít 9.  
 Ecetsav 8, 146.  
 Echinoderma 528.  
 Edaphon 131.  
 Edestin 10.  
 Effúzió 426.  
 Együttélés 514 és köv.  
 —, antagonisztikus 528.  
 —, állat és növényi 526.  
 —, diszjunktus 526, 539 és köv.  
 — értelmezése 516.  
 —, konjunktus 526.  
 —, mutualisztikus 518.  
 —, oltott növényeké 523.  
 —, tápláló 518.  
 Eisenia rosea 158.  
 Ektoparazita 496.  
 Ekvimolos oldatok 218.  
 Elektrolytek 54.  
 Elektromos energia 551 és köv.  
 Elektroozmózis 553.  
 Elmállás 75 és köv.  
 Emulzin 14.  
 Emulzoidok 46.  
 Endofita paraziták 496 és köv.  
 Endozmózis 217.  
 Endozmometer 213.  
 Endoparaziták 496.  
 Endopeptáz 401.  
 Endotryptáz 16.  
 Energia átalakulása 542, 546.



- , fény 547.
- , hő 547.
- , mechanikai 553.
- , villamos 551.
- Enzymek 11, 395 és köv.
- előállítása 12.
- , hydrolázok 14, 16.
- , oxydázok 14, 16.
- Ephedrin 9.
- Epifita paraziták 496 és köv.
- Epithéma sejtek 273.
- Erdei humusztalaj 109.
- Erdő ásványi tápanyagszükséglete 301 és köv.
- CO<sub>2</sub> táplálkozása 339.
- víz elpárologtatása 247 és köv.
- Erdőtalaj biológiája 168 és köv.
- mikroflórája 170 és köv.
- mikrofaunája 175 és köv.
- CO<sub>2</sub>-tartalma 180.
- N-anyagcseréje 195.
- Erepsin 15, 145.
- Ereptáz 401.
- Erjedés 427 és köv.
- , alkoholos 428 és köv.
- , Mucoraceák által előidézett 431 és köv.
- , ecetsavas 439, 442.
- , gyakorlati jelentősége 436.
- és a hőmérséklet 435.
- , nem valódi 442.
- , oxálsavas 440.
- , propionsavas 440.
- , tejsavas 433, 442.
- , vajsavas 433 és köv., 442.
- , valódi 442.
- , zsírsavaké 143, 144.
- Erjedést befolyásoló külső tényezők 435, 436.
- Erjesztő enzim 13.
- Ertragsgesetz 161.
- Eryzenin 10.
- Eszterázok 14.
- Euglena 157.
- Euglypha 157.
- Evaporáció 253.
- nagysága 256.
- Exozmózis 217.
- Fzüst 20.
- Égerfa gyökérgumócskái 371.
- Élesztő gombák 481, 495, 496.
- Életkölcsonosság 518.
- Élősködéssel járó sajátságok 510.
- Élősködés, térbeli 524.
- Élősködő gombák 494 és köv.
- növények 477.
- — tápláléka 512.
- — sajátságai 499.
- virágos növények 501 és köv.
- Építő anyagok 388, 389, 418.
- Fajlagos hő 93.
- Fatest hamutartalma 24.
- kémiai összetétele 18.
- Fák, keményítők (keményfák) 394.
- zsirtartalmúak (lágýfák) 394.
- Fehérjék 9 és köv., 148.
- átalakulása és vándorlása 407 és köv.
- bomlása 144 és köv., 172, 174, 185.
- , összetett 10.
- szintézise 373 és köv.
- , valódi 10.
- Fehérjebontó baktériumok 172, 174, 185.
- Fehérje szervezetek 296.
- Feltalaj 80.
- Felületi energia 554.
- Fermentumok 1. enzymek.
- Fertőzés 496.
- Festőanyagok 17.
- Félparaziták 493.
- Fényenergia 551.
- Fénymérő berendezés 331.
- Fitozoák 527.
- Flagelláták 528.
- Fluór 20.
- Formaldehyd 9, 13.
- Formativ anyagok 389.
- Formáció 540.
- Forró égővi talajok 127.
- Fotogén 551.
- Fotogénáz 551.
- Fotometer 330, 331.
- Fotoszintézis 312, 543.
- Földi giliszták 131, 158.
- Frederica 159.
- Fruktóz 7.
- Fukoz 7.
- Funoidok 509.
- Galaktóz 7, 143.
- Gallertek 45.
- Gazdanövény 494.
- elváltozásai 499.
- Gázok vándorlása 425 és köv.
- Gáztörvény 221, 222.
- Gel 44.
- Generatio spontanea elmélet 130.
- Geotropizmus, negatív 461.
- Gesztenyebarna talajok 114.
- Giliszták 131, 158 és köv.



- Gipszta lajok 108.  
 Gliadin 10.  
 Globulinok 10.  
 Glomeris 159.  
 Glukodepsid 8.  
 Glukoz 7.  
 Glukozidázok l. glykozidázok.  
 Glutenin 10.  
 Glykogén 7.  
 Glykokoll 146, 149.  
 Glykolsav 147.  
 Glykoproteidek 10, 11.  
 Glykozidák 88.  
 Glykozidázok 14.  
 Gombák a talajban 131, 138, 164, 165, 177, 178, 179, 180, 187, 190, 191, 195, 200, 209.  
 —, élősködők 494 és köv.  
 — vízceppkiválasztása 274.  
 Gombáskert, hangyáké 536.  
 Gonidiumok 519.  
 Gonostomum 157.  
 Grauerde 82.  
 Gránát 98.  
 Guanáz 147.  
 Guanin 147, 148.  
 Gubacsok együttélése 531.  
 Guttáció 259.  
 Gyanta 8.  
 Gyökerek a vízfelvétel szempontjából 230 és köv.  
 — szívóereje 233, 235.  
 Gyökérelősködők 506.  
 Gyökérgumók 361 és köv. 371.  
 Gyökérnyomás 266, 270.  
 — bizonyítása 267.  
 — nedvének mérése 268.  
 Gyümölcscukor 7.  
 Haemoglobin 10, 11.  
 Halophyták 259.  
 Halteria 157.  
 Hamualkotórészek 17.  
 — asszimilálása 384 és köv.  
 Hamutartalom eloszlása a növényekben 20 és köv.  
 Hangyák 159.  
 — és növények 534.  
 Hangyasav 8.  
 Határ plazmolyzisz ozmotikus értéke 219, 223.  
 Hausztóriumok 382, 497, 502.  
 Helix 159.  
 Helminthoecidiumok 531.  
 Helmholtz—Abbé-féle egyenlet 41.  
 Helodrilus octaedrus 158.  
 Helotizmus 522.  
 Hemicelluláz 15.  
 Hemicellulóz 7.  
 Hemiparaziták 493, 502, 512.  
 Hemipermeabilis hártya 215.  
 Hemiszaprofiták 478, 492.  
 Heterofiták 476.  
 Heterotrof növények 475 és köv.  
 — — táplálkozása 473 és köv.  
 Hexózok 7.  
 Hidatodák 274.  
 Hideg zónák talajai 111.  
 Hidratáció l. hidratáció.  
 Higany 20.  
 Hippursav 149.  
 Histidin 146.  
 Histonok 10.  
 Hofmeister-féle sorok 64.  
 Holoparaziták 502.  
 Holoszaprofiták 478, 492, 494.  
 Homok 78.  
 Homoktalajok 105, 106.  
 Hordenin 10.  
 Hőenergia 551.  
 Hőmérséklet befolyása a növények életfolyamataiban 70.  
 Hőmérsékleti koefficiens 71.  
 Humid talajok 111, 113, 115, 127.  
 Humid és arid talajok eloszlása Európában 112.  
 Humin 201.  
 Huminsav 201.  
 Humusz 200 és köv.  
 —, alpesi 203.  
 —, nyers 201.  
 —, szelid 200.  
 — szenek 202.  
 —, telítetlen 79, 201.  
 —, telített 79, 200.  
 Humuszelmélet 5.  
 Humusztalajok 108 és köv.  
 Húsevő növények 477, 484 és köv.  
 Hüvelyes növények gyökérgumócskái 362 és köv.  
 Hydra 528.  
 — viridis 527.  
 Hidratáció 47, 53.  
 Hidrogén 17, 146.  
 Hidrogénfejlesztő baktériumok 140.  
 Hydrolázok 13, 14.  
 Hydromyces 146.  
 Hygrophyták 258.  
 Hymenopteroecidium 531.  
 Hypertonikus ozmotikus érték 219.  
 Hypertrofia 500.  
 Hypothonikus ozmotikus érték 219.



Hypoxanthin 148.  
Hysztérézis 69.

Inulin 7.  
Inulináz 14.  
Invertáz 14, 400.  
Iota 159.  
Irreverzibilis 45.  
Irrezobubilis 45.  
Isoamylalkohol 147.  
Isoleucin 146.  
Isonchus 159.  
Iszap 78.  
Izgató anyag 301.  
Izoelektrikus pont 57.  
Izomproteinek 10.  
Izozmotikus koeficiens 219.  
— oldatok 218.

Jamin lánc 282.  
Jód 20.  
Julus 159.

Kalarábé halmazkák 536.  
Kantz-féle trágyaerjedés 165.  
Kaolin 98.  
Kapilláris erő 89.  
Kardiodikondenzor 43, 44.  
Kardiodikondenzorba jutó fénysugarak útja 43.  
Karotin 9.  
Katabolizmus 543.  
Kataforezis 53.  
Katalázok 17, 87.  
Katalyzátorok 12, 395.  
Kationok 57, 67.  
Kaucsuk 8.  
Kálium 20, 32, 96, 98.  
— asszimilálása 385.  
Kálicföldpát 98.  
Kámfor 8.  
Kefir 438.  
Keményítő 7.  
— átalakulása és vándorlása 400, 401.  
Keton 9.  
Ketonaldehydmutáz 16.  
Kén 17, 20, 30, 96, 100.  
— asszimilálása 384.  
Kénbaktériumok 153, 472.  
Kénes erjedés 153, 472.  
Kénhidrogén 146, 147.  
Kéntartalmú vegyületek 9.  
Kinázok 397.  
Kiválasztó energia 554.  
Kívül élősködők 496.  
Klein-féle steril tenyésztőedény 292.

Koaguláció 47.  
Koenzymek (kofermentumok) 13, 397.  
Koffein 11.  
Kolloidális anyagok 79.  
Kohéziós elmélet 280, 281.  
Kolloidális anyagok 79.  
— agyag 79.  
— aluminiumhydroxyd 80.  
— humusz 79.  
— kavasav 80.  
— vashydroxyd 79.  
Kolloidális részecskék 42.  
—, elsődleges (primaer) 42.  
—, másodlagos (secundaer) 43.  
Kolloid oldatok 39 és köv.  
Kolloidok 39 és köv.  
— adszorbcója 54.  
— diffúziója 49.  
— elektromos sajátságai 53.  
—, emulziós 46.  
— felületi feszültsége 50.  
—, humusz 78.  
—, hydrophil 46.  
—, hydrophob 46.  
— jellemző sajátságai 49 és köv.  
—, kevert 46.  
— kimutatása 41, 48.  
—, liophob 46.  
—, liophyl 46.  
—, oldat 46.  
—, ozmózis 49.  
—, szemcse 46.  
—, szuszpenziós 46.  
—, védő 78.  
— vizkozitása 50.  
Kompenzációs pont 328.  
Kondenzor 43.  
—, kardiod 42, 43.  
—, paraboloid 43, 44.  
Konidium 495.  
Konjunktus együttélés 526.  
Konzorcium 522.  
Korhadás 132, 133.  
— a talajban 381.  
Korrózió 138.  
Könnyezés 266 és köv.  
— nyomása 271.  
Köves talajok 105.  
Közetek elmállásakor keletkező ké-  
miai anyagok 76.  
Kreatin 148.  
Kresol 145, 146.  
Kristalloidok 39.  
Kristályosító energia 554.  
Kumis 438.  
Kutikuláris párolgás 241.



- Kutin 8.  
 Kvarchomokban való tenyésztés 292.  
 Lakkáz 16.  
 Laktáz 14.  
 Laurinaldehyd 9.  
 Lápos talajok 81.  
 —, réti 203.  
 —, magassági 203.  
 Lecithin 8.  
 Legumelin 10.  
 Legumin 10.  
 Lenticella 463.  
 Lélekzés 427, 443 és köv.  
 —, anaerob 451, 452.  
 — anyaga 444.  
 —, állati 450.  
 — bizonyítása 456.  
 —, fehérje 407 és köv., 453.  
 — és a fény 466.  
 — és a gázok 466.  
 — és a hőfejlődés 467.  
 — és a hőmérséklet 464, 465.  
 —, intramolekuláris 427, 470, 471.  
 — és a különböző növényi részek 463, 464.  
 — lefolyása 453.  
 — mennyiségi vizsgálata 445, 457.  
 — és a mérgek 467.  
 —, rendes 443.  
 — és a víz 466.  
 Lélekzésioefficiens 444 és köv.  
 Lélekzőgyökerek 461.  
 Lepidoptera 529.  
 Leucin 11, 146, 147.  
 Leukosin 10.  
 Levelek hamutartalma 22.  
 — vízszívása 276, 277.  
 Levegő mint a növények tápanyagforrása 73.  
 Levegőnyílások 236.  
 — párolgásának bizonyítása 241 és köv.  
 — — mérése 255 és köv.  
 Levéltetvek és növények együttélése 532.  
 Lichenizmus 519.  
 Liebig-féle minimum törvény 338, 340.  
 Lipáz 400, 407.  
 Lipoid elmélet 64, 65.  
 Lithium 20.  
 Lumbricus terrestris 158.  
 — rubellus 158.  
 Lundegardh-féle készülék 182.  
 Lypáz 14.  
 Lysin 146, 147.  
 Maceráció 143.  
 Magnézium 20, 31, 96.  
 — asszimilálása 385.  
 Maltáz 14.  
 Maltóz 7.  
 Mangán 20, 33, 95, 97.  
 Mannit 9.  
 Mannóz 7.  
 Májmohok és kerekese férgek együttélése 530.  
 Márgás talajok 107.  
 Mechanikai energia 553.  
 Menthol 8.  
 Merkaptánok 145, 147.  
 Metabíózis 373, 541.  
 Methanfejllesztő baktériumok 139, 140, 141, 472.  
 Methanos erjedés 140.  
 Methylalkohol 8.  
 Methylamin 9, 146.  
 Methylpentóz 7.  
 Methylglyoxál 16.  
 Mesophyták 258.  
 Mezőségi talajok 116.  
 Mérsékelt égőv talajai 113 és köv.  
 Mészöldpát 98.  
 Mészkedvelő növények 31.  
 Mészkerülő növények 32.  
 Mésztalajok 107.  
 Mésztenyező 300.  
 Mézfejtők 275.  
 Mézharmat 260, 532.  
 Mikroszkop 41, 42.  
 Mikroszkopi látás határa 41.  
 Mirmékodomácium 539.  
 Mirmékoil növények 539.  
 Mixotrof 477, 492, 512.  
 Moder 203.  
 Monaminok 146.  
 Monas guttula 157.  
 Monosaccharidák 7.  
 Molgulida 529.  
 Mollusca 131, 159, 528.  
 Moraria 159.  
 Morphin 11.  
 Morzsás szántóföld 81.  
 Mull 203.  
 Muszkovit 98.  
 Mutáz 431.  
 Mutuálizmus 518, 519.  
 Mykodomácium 518, 519.  
 Mykorrhiza 156, 381 és köv.  
 —, endotroph 382.  
 —, ektotroph 382.  
 Myriapoda 131, 159.  
 Myrozináz 383.



- Nátrium 20, 32, 96, 98.  
 Nátrolit 98.  
 Nátronföldpát 98.  
 Negatív nyomás a növényekben 278.  
 Nematódák 131, 158.  
 Nektárium 275, 535, 537.  
 —, aszexuális 538.  
 —, extrafloralis 275, 538.  
 —, extranupcialis 275, 538.  
 —, floralis 275, 538.  
 —, nupcialis 538.  
 —, szexuális 538.  
 Neurin 146.  
 Neuridin 146.  
 Nikkel 20.  
 Nikotin 11.  
 Nitragin 369.  
 Nitrátredukció 137, 151, 152.  
 Nitrátszervezetek 295.  
 Nitrifikáció 149, 355.  
 Nitrifikáló baktériumok 132, 149 és  
 köv. 355, 373, 472.  
 Nitritszervezetek 296.  
 Nitrobakterin 371.  
 Nitrogén 17, 96, 101.  
 — anyagcsere körfolyamata 356.  
 — asszimilálása 349 és köv.  
 — erjedés 150.  
 — felvételének módja 351 és köv.  
 — forrása 351 és köv.  
 — kötő baktériumok 153, 356 és köv.  
 360 és köv.  
 — nélküli vegyületek 7.  
 — tartalmú vegyületek 7, 9.  
 — tartalom, összes 101.  
 —, nitrát 101.  
 Nitrogénszervezetek 295.  
 Növények által elpárologtatott víz  
 mennyisége 246 és köv.  
 —, elősködők 477 és köv.  
 — fénylése 548.  
 — és a hangyák 534.  
 — kémiai összetétele 18.  
 — lélekezése 427, 443 és köv.  
 — párolgása 236 és köv.  
 — széntartalma 306 és köv.  
 — táplálékkiválasztó képessége 297,  
 298.  
 — vízfelvevő képessége 234, 235.  
 — vízgazdálkodása 258.  
 — víztartalma 33.  
 Növényeknek CO<sub>2</sub> kizárásával való  
 tenyésztése 312.  
 Növényi alkoholok 8.  
 Növénylakó atkák 533.  
 Nuklein 148.  
 Nukleinsav 10, 148.  
 Nukleoalbuminok 10.  
 Nukleoproteidek 10, 148.  
 Nutációs mozgás 507.  
 Nutricizmus 518.  
 Nyírok 116.  
 Olajbogyó 10.  
 Olajsav 8.  
 Oldatok, ekvimolósak 218.  
 —, izozmotikusak 218.  
 Oldott táplálék felvétele 225.  
 Olivin 98.  
 Orcin 9.  
 Organikus savak 7.  
 — anyag vándorlása 397 és köv.  
 — anyagok átalakulása 400, 401.  
 Ornithin 146.  
 Orthoklas 98.  
 Oxálsav 7.  
 Oxydáz 13, 396.  
 Oxydoredukázok 13, 16.  
 Oxygenáz 454.  
 Oxygén 17.  
 — kiválása a növényekből 319.  
 — a növény testébe jut 458 és köv.  
 Ozmometer 214.  
 Ozmózis 213 és köv.  
 Ozmotikus energia 554.  
 Ozmotikus jelenség egyszerű semati-  
 kus ábrázolása 395.  
 Ozmotikus nyomás mérése 219 és köv.  
 Ólom 20.  
 Ón 20.  
 Ökonomikus hányados 331.  
 Összetett cukrok 7.  
 Palmitinsav 8.  
 Papayotin 15.  
 Paraszemölcs 463.  
 Paramecium 528.  
 Paraboloid kondenzor 42, 43.  
 Paralyzátorok 397.  
 Paraszimbiózis 522.  
 Parazita növények 380, 472, 477, 491  
 és köv., 511 és köv.  
 —, endofita (endo-) 496.  
 —, epifita (ekto-) 496.  
 —, fakultatív 477.  
 —, fél 493.  
 —, hemi 493.  
 —, holo 502.  
 —, obligát 478, 492.  
 —, tiszta 493.  
 —, valódi 502.  
 — virágos növények 506.



- Párolgás 227, 236 és köv.  
 — bizonyítása 259.  
 — és a fény 244.  
 — haszna 260.  
 — és a hőmérséklet 244.  
 —, kutikuláris 241.  
 — és a levegő páratartalma 244.  
 — mennyisége 246 és köv.  
 — mérése 235, 237, 257, 258.  
 — szabályozza a növényi test hőmérsékletét 261.  
 — és a szél 253 és köv.  
 — szívó hatása 279.  
 — szívó hatását bizonyító készülék 276, 277.  
 — törvényszerűségei 253.  
 Párolgásmérő készülék  
 —, Copeland-féle 240.  
 —, Detmer-féle 237, 238.  
 —, Garreau-féle 242, 243.  
 —, Kohl-féle 239.  
 Párolgást befolyásoló tényezők 243 és köv.  
 Párolgástól független vízáramlás bizonyítása 284.  
 Pediculida 529.  
 Pektin 7.  
 Pektináz 143.  
 Pektinerjedés 143.  
 Pektinbontó baktériumok 143, 172, 174, 185.  
 Pelomyxa palustris 528.  
 Pentózok 7.  
 Pepsin 15, 145.  
 Pepsináz 15.  
 Peptidáz 15.  
 Peptizáció 61.  
 Peptonok 15, 145, 146.  
 Peptonszervezetek 296.  
 Periderma 463.  
 Permeabilitás 64, 217, 224.  
 Peronospora 493.  
 Phenilecetsav 146.  
 Phenilpropionsav 146.  
 Phenol 8, 9, 145, 146.  
 Phenolázok 16.  
 Phloroglucin 9.  
 Phosphor 17, 30.  
 — asszimilálása 385.  
 Phosphorhydrogén 146, 148.  
 Phosphorproteidek 10.  
 Phosphorsav 96, 99, 148.  
 Photobaktérium 549.  
 Phytotocecidiumok 531.  
 Phytosterin 8.  
 Pinen 8.  
 Plasztikus anyagok 389.  
 Plazmodezma 417.  
 Plazmolyzis 217.  
 Plectus 159.  
 Pneumatód 463.  
 Pneumatofórák 461.  
 Podsolatalajok 113.  
 Podura villosa 159.  
 Polip 527.  
 Polypeptidek 15, 145, 146.  
 Polysaccharázok 14.  
 Polysaccharidák 7.  
 Populáz 14.  
 Populin 14.  
 Por 78.  
 Potetometer 234, 235, 237.  
 Prolaminok 10.  
 Propionsav 8, 146.  
 Protaminok 10.  
 Proteázok 15.  
 Proteidek 9, 10.  
 Proteinek 9, 10.  
 Protoplazma mozgása 416.  
 Protozoák 131, 157, 175 és köv.  
 Ptomain 147.  
 Pufferoldat 60.  
 Pulque 269.  
 Purin 10, 148.  
 Putrescin 145, 146, 147.  
 Pyr'midin 10, 148.  
 Pyrosoma 530.  
 Pyrrolcsoport 9.  
 Quantum elmélet 332.  
 Radioláriák 528.  
 Rafid 423.  
 Ramnóz 7.  
 Rákok 158.  
 Rendzinák 116.  
 Resin 8.  
 Reverzibilis 45.  
 Rezolubilis 45.  
 Réz 20, 33.  
 R. G. T. törvény 71 és köv., 337.  
 Rhizopodák 176, 528.  
 Rotatoriák 131, 158, 530.  
 Rotifer tardigradus 158.  
 — vulgaris 158.  
 Rothadás 134.  
 Rovarevő növények 380.  
 Rovarak 158.  
 Rubidium 20, 33.  
 Rügyfakadás 402 és köv.  
 Saccharáz 14.  
 Saccharóz 7.



- Salicin 8.  
 Salicylalkohol 9.  
 Salicylsav 9.  
 Salicáz 14.  
 Sarjadzás 402 és köv.  
 Schizophyllum 159.  
 Schulze-féle maceráció 143.  
 Sebláz 470.  
 Sejtfalnyomás 224.  
 Selén 20.  
 Silicium 20, 96.  
 Sinigrin 9, 14.  
 Sitosterin 9.  
 Skatol 9, 145, 146.  
 Skatolecetsav 146.  
 Skleroproteinek 10.  
 Sol 44.  
 Solonetz talajok 119.  
 Solonchak talajok 119.  
 Sorbit 9.  
 Sós talajok 116.  
 Sörgyártás 436. és köv.  
 Spongilla 528.  
 — fluvialis 527.  
 Stearinsav 8.  
 Stentor polymorphus 528.  
 Sterinek 9.  
 Stimuláló anyagok 301.  
 Stroncium 20.  
 Suberin 8.  
 Sugaras gombák 138.  
 Syringin 8.  
 Szaprofita növények 473 és köv., 491,  
 511 és köv.  
 — fakultatív 477, 478, 492.  
 —, hemi 492.  
 —, holó 492.  
 —, obligát 478.  
 — virágos növények 482 és köv.  
 — virágatlan növények 478 és köv.  
 Szemi arid talajok 127, 128.  
 Szemi humid talajok 114, 128.  
 Szemipermeábilis hártya 215.  
 Szerves anyag korhadásának vázlata  
 133.  
 Szén asszimilálása 305 és köv., 311.  
 — forrása 306.  
 Széndioxid felvétele 311.  
 Szénhidrátok 7.  
 — bontása 142.  
 Szénhidrogén 146.  
 Szferokristályok 392.  
 Szikes talajok 116 és köv.  
 — javítása 123.  
 —, kötött 117.  
 — osztályozása 125, 126, 127.  
 Szikfok 122.  
 Szimbíózis 373, 517, 526.  
 —, diszjunktus 526, 539, és köv.  
 —, konjunktus 526.  
 Színkép részeinek asszimiláló ha-  
 tása 333.  
 Szívóerő 233.  
 Szorédiumok 522.  
 Szódástalajok 116.  
 Szteatit 98.  
 Szubtrópusi talajok 127.  
 Szukkulens növények 259.  
 Szulfátok 30.  
 Szuszpenzió 46.  
 Szuszpenzoidok 46.  
 Szürke talajok 82, 113.  
 Talaj adhéziója 87.  
 — adszorpciója 101.  
 — aggregátok 85.  
 — algái 156.  
 — alkotórészei 77.  
 — biológiája 128 és köv.  
 — fajsúlya 87.  
 — faunája 158.  
 — hőmérséklete 93.  
 — hőkapacitása (fajlagos hő) 93, 94.  
 — gombái 155.  
 — katalitikai tulajdonságai 87.  
 — kohéziója 87.  
 —, lápos 81.  
 — levegőgazdálkodása 92.  
 — levegőkapacitása 90.  
 — morzsás szerkezete 82 és köv.  
 — nitrogén anyagcseréje 195 és köv.  
 —, normális 80.  
 —, nyers 80.  
 — maximális termőereje 160.  
 — mikrofaunája 175 és köv.  
 — mikroflórája 170 és köv.  
 — porozitása 85.  
 — pórus volumenje 85.  
 — protozoái 157 és köv.  
 — radioaktivitása 88.  
 — savanyúsága 214 és köv.  
 — és a növényzet 207 és köv.,  
 210 és köv.  
 — szemecskéi 82, 83.  
 — szerves vegyületei 95.  
 — szervesetlen vegyületei 95.  
 — széndioxid termelése 180 és köv.  
 — színe 81.  
 — trágyázása 164.  
 —, termő 80.  
 — vázlatos képe a benne levő gyö-  
 kerekkel 84.



- és a víz 83, 84, 88.
- vízbátócsátó képessége 91.
- vízkapacitása 90.
- víztartóképessege 91.
- Talajbaktériumok 131 és köv., 356.
- Talajlélekzés 182 és köv.
- Talaj mint a növények táplálóanyag forrása 74.
- Talajok mesterséges osztályozása 105.
- természetes osztályozása 110.
- Talajoltás 167, 369.
- Talajvíz 84.
- Tallium 20.
- Tardigrada 131.
- Tartalékanyagok 389.
- Tartalék táplálóanyagok 390 és köv.
- — megalakulása 419.
- Táplálék megszerzése és feldolgozása 542.
- Táplálóanyagok felvétele 225 és köv.
- , nyers 228.
- , raktározott 287, 288.
- szállítása 413 és köv.
- szállításának célja 413 és köv.
- — okai és útjai 415 és köv.
- Táplálóoldatok 290, 291.
- baktériumok és gombák tenyésztésére 295.
- Táplálósók elemeinek viszonylagos mennyisége 296.
- Tejsav 146.
- Televénylakók 477.
- Tellur 20.
- Tengeri vízben tenyésztve 286, 287.
- Tenyésztés vízben 290 és köv.
- kvarchomokban 292.
- Tenyésztőedények, steril 291, 292.
- Termiták 159.
- Terméshozam 161.
- Terpen 8.
- Terpinen 8.
- Terra rossa 116.
- Thein 11.
- Thermophyl baktériumok 139, 548.
- Titán 20.
- Tőzeg 202.
- Transpiráció 227.
- , relatív 256, 257.
- Tremolith 98.
- Trimethylamin 146, 147.
- Trofikus anyagok 389.
- Tropikus talajok 127.
- Trypsin 15, 145.
- Tryptáz 15.
- Tryptophan 146, 148.
- Tschernosem 81, 114.
- Tunicata 528.
- Turgor 223.
- Tylenchus 159.
- Tyrosin 11, 16, 146, 148.
- Tyrosináz 16.
- Ubikvista növények 480.
- Ultramikroszkop 41.
- Ultrafilter elmélet 65.
- Ureidek 411.
- Uronema marina 157.
- Urotricha farcta 157.
- Üregi nyúl 159.
- Vajsav 8, 146.
- Vajsavas erjedést okozó baktériumok 172, 174, 185, 192.
- Vakond 131, 159.
- Valériánsav 146.
- Vanillin 9.
- Van't Hoff-féle R. G. T.-törvény 71 és köv., 337.
- Vas 20, 30.
- asszimilálása 386.
- Vasbaktériumok 154, 155, 467.
- Vasoxyd 95, 97.
- Vályogtalajok 106.
- Vándorló anyagok 389, 418.
- Velamen 235.
- Viasz 8.
- Vibriók 138.
- Világítási szimbiózis 529, 530.
- Világító baktériumok 551.
- Villamos energia 551.
- Víz felvétele 225 és köv.
- , higroszkópos 88.
- , kapilláris 88.
- szállítása 261 és köv.
- Víz kiválasztás cseppfolyós alakban 271.
- Víznek cseppekben való kiválása 259 és köv.
- Víz tartalom a növényekben 33 és köv.
- Vízszállítás bizonyítása 264.
- az edénnyalábokban 263.
- eszközei 261 és köv.
- az élő sejteké 283.
- a farészekben 262.
- gyorsasága 265.
- párolgás nélkül 284.
- Vízszállítási elméletek 280 és köv.
- Víznyílások 272.
- Voluntin 513.
- Weber-féle törvény 546.



Xanthin 148.  
Xanthophyll 9.  
Xerophyták 258.  
Xylóz 7.

Zein 10.  
Zooecidiumok 529, 531.  
Zoochlorellák 527, 528.  
Zoochlorella parasitica 528.  
Zooxanthella 528.

Zymáz 12, 13, 16, 396.  
Zsigmondy-féle hasadék ultramikro-  
szkóp 41.  
Zsigmondy-féle kolloidszűrő 48.  
Zsírok 8.  
— alakulása és vándorlása 400, 406.  
— és zsírsavak bontása 143.  
Zsíros olajok 8.  
Zsírsavak 145.

### b) Növénynevek.

- Abies alba 11, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 113, 171, 207, 228.  
— pectinata 228, 303, 304.  
Acacia cornigera 539.  
— sphaerocephala 539.  
Acer 23, 107, 242, 304, 403, 503, 532.  
— barbatum 269.  
— campestre 228.  
— negundo 231.  
— platanoides 251, 265.  
— pseudoplatanus 228, 251, 534.  
— saccharum 269.  
Achillea 126, 423.  
— collina 125.  
— millefolium 207.  
— setacea 125.  
Actinomyces 498.  
— alni 153, 373.  
— elaeagni 153, 373.  
Actinomycetaceae 137.  
Aecidium elatinum 501.  
Aegopodium podagraria 207, 211.  
Aesculus 27, 291, 424.  
— hippocastanum 406.  
Áfonya l. Vaccinium.  
Agaricus campestris 464.  
— Gardneri 550.  
— igneus 550.  
— melleus 550.  
— noctilucens 550.  
— olearius 550.  
Agave 268, 269, 419.  
Agropyron repens 125.  
Agrostis tenuis 125.  
Aira flexuosa 109, 114.  
Ajuga reptans 207.  
Akác l. Robinia.  
Alchemilla 272.  
Aldrovanda 485.  
— vesiculosa 489.  
Alectorolophus 371, 492, 502, 511.  
Alhagi camelorum 116.  
Allium 18.  
— cepa 412, 419.  
— ursinum 211.  
Alma l. Malus silvestris.  
Alnus 23, 74, 152, 182, 187, 193, 228, 249, 251, 266, 291, 517, 371, 373, 420, 508, 534.  
— glutinosa 207, 252, 288, 372.  
— incana 252.  
Alopecurus pratensis 118, 125.  
Alternaria tenuis 295, 359.  
Alyssum tortuosum 106.  
Amorpha fruticosa 127, 231, 363, 364, 365.  
Amorphophallus Rivieri 468.  
Amygdalus communis 406.  
Anabaena 156, 524, 525.  
— Azollae 524.  
— Cycadearum 525.  
Anabasis aphylla 116.  
Andropogon ischemum 126.  
Anemone 109.  
— nemorosa 109.  
Anthoceros laevis 525.  
Anthoxanthum odoratum 114.  
Aphanocapsa 156.  
Apodanthes 510.  
Aranka l. Cuscuta.  
Aranyeső l. Luburnum.  
Arceuthobium oxycedri 503.  
Arctium lappa 331.  
Arenaria graminifolia 115.  
Aroideae 468.  
Árpa l. Hordeum.  
Artemisia austriaca 115.  
— cina 116.  
— maritima 116.  
— monogyna 125.  
— scoparia 116.  
Arum maculatum 468.  
Árvacsalán l. Lamium.  
Ascolichenes 520.



- Ascomycetes 138, 155, 428, 520.  
 Aspergillaceae 296.  
 Aspergillus 138, 156.  
   — glaucus 156.  
   — niger 138, 359, 446, 479.  
   — oryzae 138.  
   — Wentii 138.  
 Asperula odorata 109, 207, 211.  
 Aspidistra 463.  
 Astasia 296.  
 Aster amellus 32.  
   — pannonicus 125.  
 Átokhinár l. Helodea.  
 Atriplex litorale 125.  
 Atropa belladonna 242, 423.  
 Avena sativa 121, 208, 271, 272, 368.  
 Avicennia 461, 462.  
 Azolla 524, 525, 526.  
 Azotobacter 209, 371, 358, 359, 529.  
   — agile 153, 357.  
   — Beijerincki 210.  
   — chroococcum 153, 167, 210, 357, 360.
- Bab l. Phaseolus.**  
 Bacillus amylobacter 358.  
   — anthracis 144, 296.  
   — calfactor 479, 548.  
   — carotovorus 143.  
   — caucasicus 438.  
   — cellulose dissolvens 141.  
   — cylindricus 548.  
   — denitrificans 153.  
   — — agalis 153.  
   — dysenteriae 438, 439.  
   — ethaceticus 441.  
   — ferrugineus 136.  
   — fossicularum 140.  
   — lucifer 549.  
   — macerans 142.  
   — manniticus 438.  
   — mesentericus 144.  
   — — vulgaris 153.  
   — methanicus 473.  
   — methanigenes 140.  
   — mycoides 145, 153, 363.  
   — nitroxus 153.  
   — oedematis maligni 434.  
   — oligocarbophilus 473, 479.  
   — pantotrophus 473.  
   — Pasteurianus 357.  
   — phlegmonis emphysematosae 434.  
   — phytophthorus 143.  
   — probatus 146.  
   — proteus 145.  
   — putrificus 145, 148.  
   — pycnoticus 473.
- radicola 153, 362, 363, 364, 365,  
     367, 369, 540.  
   — robur 548.  
   — saccharobutyricus 358.  
   — sporogenes 145.  
   — subtilis 142, 144, 145, 153, 209, 296.  
   — thiogenes 153.  
   — tumescens 145.  
 Bac. vulgatus 153.  
 Bacterium 130, 131, 135, 136, 172, 175,  
   177, 178, 180, 187, 188, 190, 191,  
   192, 193, 195, 197, 198, 199, 200,  
   323, 471, 478, 480, 495, 496, 518.  
   548, 549.  
   — acetii 439, 441.  
   — acetosum 440.  
   — acidi lactici 433.  
   — aerogenes 144, 357, 438, 439.  
   — bovista 153.  
   — coli 142, 144, 145, 153, 296, 433,  
     438, 439, 441.  
   — desulfuricans 154.  
   — diphtheriae 296.  
   — enteritidis 144.  
   — fluorescens 142, 143, 144, 153, 296.  
   — herbicola 153.  
   — hydrosulfureum 154.  
   — indicum 143.  
   — künnemanni 153.  
   — Kützingianum 439.  
   — lactis aerogenes 433.  
   — mesentericus 142.  
   — mycoides 142.  
   — nitrobacter 150.  
   — nitrosomonas 150.  
   — orleanense 439.  
   — oxydans 440.  
   — paratyphi 296.  
   — Pasteurianum 439.  
   — phosphoreum 549.  
   — pneumoniae 144, 433, 440.  
   — proteus 144, 296.  
   — prodigiosum 143, 144, 145, 153.  
   — punctatum 145.  
   — putidum 153.  
   — pyocyaneum 143, 144, 153, 296.  
   — radicola l. Bac. radicola.  
   — radiobacter 357.  
   — Stutzeri 153.  
   — sulfureum 154.  
   — syncyaneum 144.  
   — typhi 142, 144, 296.  
   — ulpiani 153.  
   — vulgare 145, 153.  
   — xylum 439, 440, 441.  
 Balanophora 512.



- Balanophoraceae 509.  
 Barack l. Prunus.  
 Barkóca l. Sorbus torminalis.  
 Bartschia 492, 502.  
 Bassia sedoides 125.  
 Basidiolichenes 520.  
 Basidiomycetes 138, 156, 520.  
 Beggia 153.  
 Begonia 241, 412.  
 Bertholletia excelsa 392.  
 Beta 291, 421, 518.  
 — vulgaris f. alba 17, 18.  
 — saccharifera 208, 303.  
 Betula 21, 22, 23, 24, 26, 34, 35, 36,  
 247, 252, 266, 269, 304, 394.  
 — alba 207, 267.  
 — humilis 111.  
 — nana 113.  
 — verrucosa 228, 269.  
 Bibircses nyír l. Betula verrucosa.  
 Biovularia 485.  
 Blasia pusilla 525.  
 Boglárka l. Ranunculus.  
 Bokrétafa l. Aesculus.  
 Borostyán l. Hedera.  
 Borsó l. Pisum.  
 Botrytis 498.  
 Bögre tok l. Thesium.  
 Brachypodium silvaticum 211.  
 Brassica nigra 384.  
 — rapa 406.  
 Bromelia 490.  
 Bromeliaceae 236, 475, 484.  
 Bromus hordeaceus 125.  
 — inermis 115.  
 — mollis 118.  
 — tectorum 106.  
 Brugmansia Zipelii 511.  
 Bryonia 265.  
 Bupleurum tenuissimum 125.  
 Burgonya l. Solanum tuberosum  
 Burmanniaceae 482.  
 Bükk l. Fagus.  
 Bükköny l. Vicia sativa.  
 Búza l. Triticum.  
 Byblis 485.  
 Cactus 259, 409, 446.  
 Caesalpinia pluviosa 260.  
 Caesalpinoideae 362.  
 Calamagrostis 114.  
 — epigeios 106.  
 Calluna vulgaris 106, 108, 114, 171,  
 207, 382.  
 Caltha palustris 207.  
 Camellia sinensis 20.  
 Campanula rotundifolia 109, 207.  
 Camphorosma ovata 118, 125, 126.  
 Capnodium 533.  
 Cannabis sativa 143, 247, 386, 392,  
 403, 406, 464, 509.  
 Carex 113.  
 — pilulifera 210.  
 Carica Papaya 424.  
 Carpinus 23, 171, 249, 266, 276, 304,  
 469.  
 — betulus 207, 228.  
 Castanea vesca 27, 32, 351, 406, 503.  
 Catalpa 318.  
 Ceanothus 152, 372.  
 Centaurea 508.  
 — pannonica 125.  
 Cephalosporium 155.  
 Cephalotaceae 485.  
 Cephalotus 485, 486, 488.  
 Ceratocarpus arenarius 116.  
 Ceratophyllum 319.  
 Ceratozamia 525.  
 Cetraria islandica 519.  
 Cetraria nivalis 113.  
 Chaetophoraceae 520.  
 Cheiranthus cheiri 266.  
 Chlamydomonas 156.  
 Chlamydomucor oryzae 432.  
 Chlamydothrix 154.  
 — ochracea 97.  
 Chlorella 156, 528.  
 — infusiorum 527.  
 — vulgaris 527.  
 Chlorochytrium Lemnae 524.  
 Chlorophyceae 156, 520.  
 Chlorococcum 156.  
 Chroococcus 156, 324.  
 Chromophyton Rosanoffii 550.  
 Cichorium intybus 126.  
 Cilimonas 296.  
 Circaea lutetiana 275.  
 Cirok l. Sorghum.  
 Cirsium oleraceum 207.  
 Cistus 509.  
 Cladonia 520.  
 Cladonia rangiferina 113.  
 Cladophora 156, 323.  
 Cladosporium herbarum 295, 359.  
 — humifaciens 109, 155.  
 Claviceps 493.  
 — purpurea 274.  
 Clematis vitalba 474.  
 Clonothrix fusca 154.  
 Clostridium americanum 358.  
 — butyricum 433, 434.  
 — Pasteurianum 357, 358, 360, 434,  
 471.



- Cocos nucifera* 18, 406.  
*Colchicum autumnale* 423.  
*Collema* 519.  
*Colocasia antiquorum* 272.  
— *esculenta* 272.  
*Cololejeunia* 484.  
*Comarum* 113.  
*Coniferae* 291.  
*Coniophora* 138.  
*Conium maculatum* 423.  
*Conjugatae* 156.  
*Convolvulaceae* 506.  
*Convolvulus* 511.  
*Convallaria majalis* 207, 210, 464.  
*Coprinus* 481.  
*Coralliorrhiza innata* 482, 483.  
*Cordyceps* 498.  
*Coriaria* 152.  
*Cornus* 107.  
*Cornus mas* 207.  
*Corylus* 288, 304, 508, 534.  
*Corynebacterium diphtheriae* 144.  
*Corynephorus canescens* 106.  
*Crassulaceae* 274, 446.  
*Crenothrix polyspora* 97, 154.  
*Cucurbita* 281, 403.  
— *pepo* 231, 265, 266.  
*Cukorrépa* l. *Beta*.  
*Cukornád* l. *Saccharum officinarum*.  
*Cuscuta* 506, 507, 511.  
— *epilinum* 506.  
— *epithymum* 506.  
— *lupuliformis* 506.  
— *suaveolens* 506.  
— *trifolii* 506.  
*Cyanophyceae* 357.  
*Cycas* 371, 525.  
*Cyclamen europaeum* 207.  
*Cynodon dactylon* 106, 125, 126.  
*Cynomoriaceae* 509.  
*Cynomorium coccineum* 509.  
*Cytinus hypocistis* 509, 510.  
*Cytisus nigricans* 207.  
*Csalán* l. *Urtica*.  
*Csertölgy* l. *Quercus cerris*.  
*Cseresznye* l. *Prunus avium*.  
*Csicsóka* l. *Helianthus tuberosus*.  
*Csillagfűrt* l. *Lupinus*.  
*Csiperkegomba* l. *Agaricus campestris*.  
*Csormolya* l. *Melampyrum*.  
*Csörögefűz* l. *Salix fragilis*.  
  
*Dahlia variabilis* 266, 392.  
*Darlingtonia* 485, 486, 488.  
*Datisca cannabina* 372.  
*Daucus carota* 392.  
  
*Deschampsia flexuosa* 210.  
*Desmidium* 156.  
*Diatoma* 156.  
*Dicotyledoneae* 506.  
*Dicranum* 114.  
*Digitalis* 423.  
— *purpurea* 32.  
*Dió* l. *Juglans*.  
*Dioon* 525.  
*Dionaea* 380, 485, 489, 490.  
— *muscipula* 489.  
*Dischidia* 490.  
*Dohány* l. *Nicotiana*.  
*Draba verna* 474.  
*Drosera* 380, 485, 489, 490.  
*Droseraceae* 485.  
*Drosophyllum* 485, 486, 489.  
— *lusitanicum* 486.  
  
*Ebszölő* l. *Solanum nigrum*.  
*Echinops* 508.  
*Éger* l. *Alnus*.  
*Elaeagnus angustifolia* 74, 126, 152,  
231, 371, 372, 517.  
*Elodea* l. *Helodea*.  
*Elymus arenarius* 106.  
*Empetrum nigrum* 113.  
*Encephalartos* 525.  
*Entomophthora* 498.  
*Eperfa* l. *Morus*.  
*Ephebe pubescens* 519, 520, 522.  
*Epilobium hirsutum* 207, 275.  
*Epipogon aphyllus* 482.  
*Equisetum* 297, 423.  
*Eragrostis pilosa* 125.  
*Erdeifenyő* l. *Pinus silvestris*.  
*Erica* 382.  
— *tetralix* 108.  
*Eriophorum vaginatum* 113.  
*Erodium cicutarium* 207.  
*Eryngium campestre* 126.  
*Erysiphe* 495, 497, 499.  
*Euglena viridis* 478.  
*Eupatorium adenophorum* 258.  
*Euphorbia* 259.  
— *amygdaloides* 207.  
— *cyparissias* 125.  
— *Gerardiana* 106.  
— *resinifera* 424.  
*Euphrasia* 492, 502, 503.  
— *minima* 502.  
— *Rostkoviana* 502.  
*Eurotiopsis* 296.  
*Euthallophyta* 156.  
*Evonymus* 394.  
— *europaea* 207.



- Exoascus 499.  
 Faeces 296.  
 Fagopyrum sagittatum 296, 406.  
 Fagus silvatica 21, 22, 23, 24, 25, 26,  
 34, 35, 36, 37, 107, 113, 171, 182,  
 193, 207, 228, 249, 251, 252, 253,  
 265, 301, 302, 303, 304, 351, 414,  
 550.  
 Fagyöngy l. Viscum album.  
 Fakin l. Loranthus europaeus.  
 Fehérfűz l. Salix alba.  
 Fekete ebszölő l. Solanum nigrum.  
 — bodza l. Sambucus nigra.  
 — fenyő l. Pinus nigra.  
 — nyár l. Populus nigra.  
 Fenyőspárga l. Monotropa.  
 Ferula caspica 115.  
 Festuca ovina 111.  
 — pseudovina 118, 125, 126.  
 — sulcata 115, 116.  
 — vaginata 106.  
 Ficus carica 532.  
 — elastica 241, 424.  
 Fitozoák 527.  
 Flagellata 478, 528, 550.  
 Fogfű l. Odontites.  
 Foltos bürök l. Conium maculatum.  
 Fomes annosus 139.  
 Fragaria vesca 207.  
 Fraxinus 23, 24, 107, 304, 394.  
 — americana 126, 231.  
 — excelsior 126, 228, 231, 265, 267.  
 — ornus 32.  
 Frullania dilatata 530.  
 — tamarisci 530.  
 Fucus 298.  
 Fuchsia 272.  
 Fumana vulgaris 106.  
 Fusicladium 498.  
 Fűfélék l. Gramineae.  
 Füge l. Ficus carica.  
 Fürtös köröntő l. Saxifraga aizoon.  
 Fűz l. Salix.  
 Gabonaneműek l. Gramineae.  
 Galeopsis pubescens 207.  
 Galionella ferruginea 154.  
 Galium silvaticum 207.  
 Galium vernum 126.  
 Gentiana 485.  
 Gentianaceae 482.  
 Gesztenye l. Castanea.  
 Geum urbanum 211.  
 Glechoma hederaceum 207.  
 Gleditschia triacanthos 126, 364, 365.  
 Gloeocapsa 156.  
 — crepidinum 520.  
 Glyceria 421.  
 Goodyera repens 492.  
 Gossypium 20.  
 Gramineae 223, 247, 291, 386, 437, 496.  
 Granulobacter butyricum 358.  
 — pectinovorum 143, 358.  
 Gubacs 532.  
 Gunnera 525.  
 — macrophylla 524.  
 — scabra 524.  
 Gyalecta cupularis 520.  
 Gymnospermae 506.  
 Gypsophyla 108.  
 Gyapot l. Gossypium.  
 Gyertyán l. Carpinus.  
 Gyöngyvirág l. Convallaria majalis.  
 Gyűszűvirág l. Digitalis.  
 Hagyma l. Allium.  
 Halophyta 259, 299.  
 Hamvas éger l. Alnus incana.  
 Hantzschia 156.  
 Haraszt l. Pteridophyta.  
 Harmatfű l. Drosera.  
 Harmatkása l. Glyceria.  
 Hárs l. Tilia.  
 Hedera 241, 322.  
 — helix 242, 266.  
 Hegyi juhar l. Acer pseudoplatanus.  
 — szil l. Ulmus scabra.  
 Heleochoa alopecuroides 125.  
 Heliamphora 485.  
 Helianthemum 503.  
 Helianthus annuus 247, 266, 293, 318,  
 327, 406, 469.  
 — argophyllus 349, 350.  
 — tuberosus 256, 257, 392.  
 Helleborus 423.  
 Helodea canadensis 319, 329, 337, 416.  
 Hepaticae 530, 531.  
 Hepatica triloba 211.  
 Hevea guyanensis 424.  
 Hieracium pilosella 126.  
 Hippophaë 371.  
 Hízóka l. Pinguicula.  
 Holcus lanatus 114.  
 — mollis 109.  
 Hordeum 116, 208, 403, 465, 468.  
 — distichon 121.  
 — europaeum 211.  
 — Gussoneanum 118, 125.  
 Hormodendron cladosporioides 359.  
 Humulus lupulus 386.  
 Hunyor l. Helleborus.



Hüvelyesek l. Leguminosae.  
 Hyacinthus 412.  
 Hylocomium 113, 114.  
 Hymenolichenes 520.

Impatiens 272, 281.  
 — noli tangere 264.  
 Inula britannica 125, 126.  
 — helenium 392.  
 Isaria 498.  
 Isopyrum biternatum 372.  
 Iszalg l. Clematis.  
 Jácint l. Hyacinthus.  
 Jávabab l. Phaseolus lunatus.  
 Jegenyefenyő l. Abies.  
 Juglans 288, 534.  
 — cinerea 265.  
 — nigra 126.  
 — regia 469.  
 Juhar l. Acer.  
 Juncus 33.  
 Juniperus 503.  
 — oxycedrus 504.  
 Jurinea mollis 535.  
 Jussieua 462.  
 — repens 462.

Kakascimer l. Alectorolophus.  
 Kaktusz l. Cactus.  
 Kakukfű l. Thymus.  
 Karórépa l. Beta.  
 Kecskéfűz l. Salix caprea.  
 Kecskerágó, l. Evonymus.  
 Kender l. Cannabis sativa.  
 Kláristő l. Coralliorrhiza.  
 Knautia arvensis 207.  
 Kochia prostrata 116, 125.  
 Kocsányos tölgy l. Quercus robur.  
 Kocsánytalan tölgy l. Quercus sessiliflora.  
 Koeleria cristata 116.  
 — glauca 106.  
 — gracilis 115.  
 Kókuszdió l. Cocos nucifera.  
 — pálma l. Cocos nucifera.  
 Komló l. Humulus.  
 Kónyavicsorgó l. Lathraea.  
 Kontyvirág l. Arum maculatum.  
 Korai juhar l. Acer platanoides.  
 Korompenész l. Capnodium.  
 Korpafű l. Lycopodium.  
 Kosbor l. Orchis.  
 Kőrís l. Fraxinus.  
 Körtike l. Pirola.  
 Kukorica l. Zea mays.  
 — üszög l. Ustilago maydis.

Laburnum anagyroides 363, 364, 469.  
 — vulgare l. Laburnum anagyroides.  
 Lactuca virosa 424.  
 Laguncularia 461.  
 Lamium 266, 270.  
 — album 207.  
 — maculatum 207.  
 Lappa major 331.  
 Larix decidua 21, 22, 23, 25, 34, 36, 107, 171, 207, 304, 329.  
 Lathraea squamaria 274, 506, 507, 508, 509, 511.  
 Lathyrus vernus 207.  
 Leguminosae 152, 303, 361, 362, 393.  
 Lejeunia serpyllifolia 530.  
 Lemna trisulca 524.  
 Lencse l. Lens.  
 Len l. Linum.  
 Lens culinaris 394.  
 Lentibulariaceae 485.  
 Lenzites 138.  
 Leontodon autumnale 207.  
 Leptothrix ochracea 154, 155.  
 Leucobryum vulgare 114.  
 Lichenes 338, 519, 520, 522, 523.  
 Ligustrum vulgare 207.  
 Limodorum abortivum 482.  
 Linum 143, 291, 448.  
 — usitatissimum 406.  
 Lisztharmat l. Erysiphe.  
 Lóbab l. Vicia faba.  
 Lógesztenye l. Aesculus.  
 Lóhere l. Trifolium.  
 Lolium perenne 125.  
 Lonicera alpigena 534.  
 — xylosteum 534.  
 Loranaceae 502, 505.  
 Loranthus europaeus 502, 503, 505, 513.  
 Lotus tenuifolius 125.  
 Lucerna l. Medicago sativa.  
 Lúcfenyő l. Picea excelsa.  
 Lupinus 18, 361, 369, 465.  
 Luzula nemorosa 114.  
 — pilosa 210.  
 Lycopodium 33, 299.  
 Lysimachia nummularia 207.  
 Macrosporium commune 359.  
 Madárfészek l. Neottia.  
 Magas kőrís l. Fraxinus excelsior.  
 Majanthemum bifolium 109, 207, 210.  
 Májmohok l. Hepaticae.  
 Májusi gyöngyvirág l. Convallaria.  
 Mák l. Papaver somniferum.  
 Malva silvestris 207.



- Malus silvestris* 265, 304, 503.  
*Mandola* l. *Prunus communis*.  
*Marrubium vulgare* 207.  
*Maszhagos nadragulya* l. *Atropa*.  
*Matricaria chamomilla* 118, 125.  
*Mauritia vinifera* 269.  
*Medicago lupulina* 118.  
— *sativa* 208, 403, 506.  
Meggy l. *Prunus cerasus*.  
*Melampyrum* 371, 502.  
— *nemorosum* 492.  
— *pratense* 109, 114, 207, 492.  
*Melampsorella caryophyllacearum* 501.  
*Melica multiflora* 211.  
*Melittis melissophyllum* 207.  
*Melosira* 156.  
*Mentha* 423.  
*Menyanthes* 113.  
*Mercurialis perennis* 109, 211.  
Mérgeş saláta l. *Lactuca virosa*.  
*Merulius* 138.  
— *lacrymans* 274, 481.  
*Mesembryanthemum* 446.  
*Mesophyta* 258.  
*Mesotaenium* 156.  
Mezei juhar l. *Acer campestre*.  
Mezgés éger l. *Alnus glutinosa*.  
*Micrococcus gonorrhoeae* 296.  
— *pyogenes* 143, 153.  
— *ureae* 149.  
*Milium effusum* 211.  
*Mimosaceae* 362.  
Mogyoró l. *Corylus*.  
Mohok 386, 539.  
*Molinia coerulea* 108.  
*Monas* 153.  
*Monilia* 138, 498.  
— *candida* 296, 432.  
*Monocotyledoneae* 506.  
*Monotropa hypopitys* 482, 512.  
*Monstera* l. *Philodendron*.  
Moszatok 131, 519, 520, 521, 524, 525, 527, 528, 529, 530, 539, 548.  
*Morus* 266.  
— *alba* 267.  
*Mucor* 155, 296.  
— *circinelloides* 431.  
— *erectus* 431.  
— *flavus* 156.  
— *fragilis* 431.  
— *hiemalis* 431.  
— *javanicus* 431.  
— *mucedo* 156, 431, 481.  
— *racemosus* 156, 431, 432.  
— *Ramannianus* 156.  
— *Rouxii* 431, 432.  
— *silvaticus* 156.  
— *strictus* 156.  
*Mucoraceae* 431, 432.  
*Musa* 325.  
*Mycena illuminans* 550.  
*Mycobacterium* 153.  
— *phlei* 153.  
— *pyogenes* 153.  
*Mycococcus* 137, 138.  
— *cytophagus* 137.  
*Mycoderma aceti* 479.  
*Myrica* 152, 372.  
*Myriophyllum* 319.  
*Myristica fragrans* 392.  
*Myrtus communis* 509.  
*Myxobacteriaceae* 540.  
*Myxophyta* 373.  
Nagylevelű hárs l. *Tilia platyphyllos*.  
Napráforgó l. *Helianthus annuus*.  
*Nardus stricta* 108.  
*Navicula* 156.  
*Nectria ditissima* 499.  
Nenyulj hozzám l. *Impatiens*.  
*Neottia nidus avis* 482, 483, 515, 516.  
*Nepenthaceae* 485.  
*Nepenthes* 485, 486, 488, 490.  
*Nerium oleander* 464.  
*Nicotiana tabacum* 20, 265, 326, 386, 509.  
*Nitrobacter* l. *Bacterium nitrobacter*.  
*Nitrosomonas euopaeus* 150.  
— *javanensis* 150.  
*Nostoc* 156, 213, 525.  
— *lichenoides* 525.  
— *punctiforme* 525.  
*Nostocaceae* 520, 524, 525.  
Nyár l. *Populus*.  
Nyír l. *Betula*.  
*Nymphaea* 458.  
*Odontites* 502.  
— *pratensis* 502.  
*Oidium lactis* 145, 433.  
Olajfa l. *Olea*.  
*Olea europaea* 419.  
*Oleander* l. *Nerium oleander*.  
*Ononis spinosa* 126.  
*Orchideae* 382.  
*Orchis* 325, 475, 492.  
— *maculata* 207.  
Órgona l. *Syringa*.  
*Ornithopus sativus* 370.  
*Orobanchaceae* 506.  
*Orobanche* 506, 508, 513.



- alba 509.
- barbata 509.
- caryophyllacea 509.
- major 508.
- ramosa 509.
- Oryza sativa 394, 437.
- Oscillatoria 156.
- Oxalis 409, 423.
- Oxalis acetosella 207, 211, 330.
- Ökörfarkkóró l. Verbascum.
- Öszikikerics l. Colchicum.
  
- Palaquium gutta 424.
- Palástfü l. Alchemilla.
- Palmellaceák 520.
- Pandanus 461.
- Pannaria 520.
- Papaver somniferum 406, 424, 464.
- Papilionaceae 362.
- Paradió l. Bertholletia.
- Parmelia 520.
- Paszuly l. Phaseolus.
- Pedicularis 492, 502.
- Peganum harmala 116.
- Peltigera 520.
- Penicillium 138, 155.
- glaucum 156, 359, 479.
- Penium 156.
- Perenospora 493, 495, 499.
- Peridinea 550.
- Phallus 510.
- Phanerogamae 264.
- Phaseolus 287, 288, 289, 326, 394, 403.
- lunatus 421.
- Philodendron 272.
- Pholiurus pannonicus 125.
- Phoradendron 505.
- Photobacterium 549.
- Photobacterium indicum 324.
- luminosum 324.
- Phycomycetes 155, 530.
- Physcia 520.
- Phytophthora infestans 495.
- Picea excelsa 11, 19, 20, 21, 23, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 101, 110, 113, 171, 175, 187, 188, 190, 193, 195, 207, 228, 230, 249, 252, 253, 301, 302, 303, 304, 348, 420.
- Pilobolus 274, 481.
- Pilostyles 510, 512.
- Pinguicula 485, 489, 490.
- Pinnularia 156.
- Pinus 11, 27.
- nigra 32, 22, 106, 107, 171, 207, 228, 230.
- silvestris 22, 34, 35, 36, 37, 106, 110, 114, 171, 182, 187, 193, 207, 208, 228, 230, 252, 253, 301, 302, 303, 304, 394, 420.
- strobilus 251.
- Pirola 475, 492.
- Pirus 241, 394.
- piraster 126, 231, 469.
- Pistacia lentiscus 509.
- Pisum sativum 20, 368, 393, 394, 403, 406, 445, 456, 471, 518.
- Pithecolobium Saman Bent. 260.
- Plantago lanceolata 125, 207.
- maritima 125.
- tenuiflora 125.
- Plasmopara viticola 493, 496.
- Pleurozia 484.
- Plumbago 260, 275.
- Poa 116.
- angustifolia 118, 125, 125.
- Podocarpus 371.
- Pohánka l. Fagopyrum.
- Polycnemum arvense 125.
- Polygonatum officinale 207.
- Polygonum arenaria 106.
- aviculare 125.
- viviparum 111.
- Polyporus sulfureus 550.
- Polytoma 296.
- Polytrichum 114.
- structum 113.
- Populus 23, 108, 114, 241, 251, 420, 503.
- Populus alba 231.
- nigra 252, 504.
- tremula 207, 252, 304, 538.
- virginiana 126, 231.
- Poria 138.
- Potentilla arenaria 109.
- reptans 126.
- Protococcus botryoides 520.
- infusiorum 528.
- viridis 520.
- Protoderma 156.
- Protosiphon 156.
- Prunus avium 207, 421, 538.
- cerasus 270, 538.
- communis 288, 421, 406, 538.
- domestica 421, 470, 538.
- mahaleb 32, 265, 538.
- persica 421.
- Pseudomonas fluorescens 145.
- pyocyaneus 145, 147, 148.
- Psoralea drupacea 116.
- Pteridium aquilinum 114, 538.
- Pteris aquilina 538.
- Pteridophyta 264, 280, 386, 550.



- Puccinellia limosa* 125.  
*Puccinia malvacearum* 495.  
*Pulmonaria officinalis* 207.  
*Pyracystys pseudonoctiluca* 550.
- Quercus* 21, 23, 24, 25, 34, 35, 36, 114, 193, 207, 291, 304, 394, 423, 474, 503, 532, 534.  
 — *cerris* 126, 171, 207, 228, 251.  
 — *lanuginosa* 32, 251.  
 — *pedunculata* l. *Quercus robur*.  
*Quercus robur* 126, 171, 187, 207, 228, 231, 251, 265, 270, 406, 534.  
 — *sessiliflora* 207, 228, 534.
- Radula complanata* 530.  
*Rafflesia Arnoldii* 510, 511.  
 — *patma* 510.  
*Rafflesiaceae* 509, 510.  
*Ranunculus* 272.  
 — *acer* 273.  
 — *aquatilis* 317.  
*Rence* l. *Utricularia*.  
*Répa* l. *Beta*.  
*Repce* l. *Sinapis*.  
*Repkényborostyán* l. *Hedera*.  
*Rezgönyár* l. *Populus tremula*.  
*Rhamnus frangula* 114.  
*Rhinanthoideae* 502.  
*Rhinanthus* 372, 502.  
*Rhizobium leguminosarum* 362.  
*Rhyzomorpha* 550.  
*Rhizopus japonicus* 431.  
 — *nigricans* 431, 432.  
 — *oryzae* 296, 432.  
 — *tonkinensis* 431.  
*Rhoeo discolor* 219.  
*Ricinus communis* 266, 267, 392, 393.  
*Rivularia* 156.  
*Rízs* l. *Oryza*.  
*Robinia* 106, 171, 265, 363, 364, 365, 503.  
 — *pseudacacia* 207, 469.  
*Rosa* 523.  
 — *berberifolia* 116.  
*Rozites gongylophora* 536.  
*Rózs* l. *Secale*.  
*Rubiaceae* 509.  
*Rubus caesius* 207.  
 — *idaeus* 114, 207.  
*Rumex* 409, 423.  
 — *acetosella* 32, 114.
- Saccharomyces* 142, 428, 432, 437, 495, 496, 529.  
 — *cerevisiae* 436, 437.  
 — *ellipsoideus* 436.  
*Saccharomycetinae* 428.  
*Saccharum officinarum* 392, 461.  
*Sajmeggy* l. *Prunus mahaleb*.  
*Salicornia herbacea* 299.  
*Salix* 23, 108, 418, 420, 461, 503.  
 — *alba* 251, 252.  
 — *caprea* 251, 252, 469.  
 — *fragilis* 251.  
 — *lapponum* 111.  
*Sambucus* 538.  
 — *nigra* 207, 337, 538.  
*Sanicula europaea* 211.  
*Santalaceae* 502.  
*Saprolegnia* 497, 498.  
*Sárgarépa* l. *Daucus carota*.  
*Sarkantyúvirág* l. *Tropaeolum*.  
*Sarracenia* 485, 486, 487, 488, 490.  
 — *psittacina* 488.  
*Sarraceniaceae* 485.  
*Sasharasz* l. *Pteridium aquilinum*.  
*Sauromatum guttatum* 412, 468.  
*Saxifraga aizoon* 260, 275.  
*Scenedesmus* 156.  
*Schistostega* 551.  
*Schistostega osmundacea* 550.  
*Schizomycetes* 495.  
*Schyzophyceae* 520, 548.  
*Schizophyta* 156.  
*Scorzonera cana* 125.  
*Scrophularia nodosa* 207.  
*Scrophulariaceae* 492, 502, 506.  
*Secale cereale* 17, 20, 121, 208, 403.  
*Selaginella* 550.  
*Senecio Fuchsii* 207.  
 — *grandifolius* 331.  
 — *silvaticus* 114.  
*Serratula* 535.  
*Siderocapsa* 154.  
*Silene otites* 106.  
*Sinapis* 303, 392, 403.  
 — *alba* 384, 470.  
*Sirosiphonaceák* 520.  
*Soja* 411.  
*Solanum nigrum* 266, 270.  
 — *tuberosum* 17, 18, 20, 208, 291, 303, 393, 395, 412, 420, 432, 437, 464.  
*Sonchus oleraceus* 207.  
*Sonneratia* 461.  
*Sophora alopecuroides* 116.  
 — *japonica* 126, 231.  
 — *pachycarpa* 116.  
*Sorbus aucuparia* 252, 265.  
 — *tormalis* 304.  
*Sordaria* 481.  
*Sorghum vulgare* 421.



- Sparmannia 241.  
 Sphagnum 32, 110, 113, 114, 524.  
 Spirochaeta cytophaga 137.  
 — desulfuricans 154.  
 Spirogyra 301, 329.  
 Splachnum 478.  
 Spongilla fluviatilis 527.  
 Stachys silvatica 207.  
 Statice Gmelini 125, 223.  
 Stellaria media 207.  
 Stereocaulon paschale 113.  
 Stipa 116.  
 Stipa pennata 115.  
 Streptococcus 438.  
 — acidi lactici 433, 438.  
 Sugaras gombák 138, 209.  
 Süllőhínár l. Myriophyllum.  
 Symphytum officinale 207.  
 Syringa vulgaris 238, 242, 322.  
 Szádorgó l. Orobancha.  
 Szamárkenyér l. Echinops.  
 Szemvidító l. Euphrasia.  
 Szerecsendió l. Myristica.  
 Szil l. Ulmus.  
 Szójabab l. Soja.  
 Szőlő l. Vitis.  
 Szulák l. Convolvulus.  
 Szürke dió l. Juglans cinerea.  
 Tamarix odessana 127, 231.  
 — tetrandra 127, 231.  
 Taplógomba 500.  
 Taphrina aurea 498.  
 Taphrina pruni 500.  
 Taraxacum officinale 126.  
 Tatárka l. Fagopyrum.  
 Taxodium 461.  
 Taxus 329, 382.  
 Tea l. Camellia.  
 Telephora perdix 139.  
 Tengeri l. Zea.  
 Tetemtoldó l. Helianthemum.  
 Teucrium 32.  
 Thesium humifusum 502, 503.  
 Thictrix 153.  
 Thymus 423.  
 Tilia 23, 34, 251, 394, 469, 503, 532, 534.  
 — parvifolia 207.  
 — platyphyllos 228, 242.  
 Tillandsia usneoides 236.  
 Tilletia 493, 495.  
 Tiszafa l. Taxus.  
 Tócsagáz l. Ceratophyllum.  
 Torokvirág l. Tozzia.  
 Torula kefir 438.  
 — kumys 438.  
 Tozzia 502.  
 Tök l. Cucurbita.  
 Tölgy l. Quercus.  
 — kocsányos l. Quercus robur.  
 — kocsánytalan l. Quercus sessiliflora.  
 Tradescantia 291.  
 Trametes pini 139.  
 — radiciperda 139.  
 Trentepohlia iolithus 520.  
 Trichoderma 138, 155.  
 Trichothecium 138.  
 Trientalis europaea 109, 210.  
 Trifolium pratense 126, 207, 208, 403, 509.  
 — repens 118, 125.  
 Triuridaceae 482.  
 Triticum aestivum 17, 18, 121, 208, 271, 288, 393, 403, 406, 464, 470.  
 Trombitafa l. Catalpa.  
 Tropaeolum 241, 272, 326.  
 Tulipán l. Tulipa 412.  
 Tündérrózsa l. Nymphaea.  
 Ulmus 23, 304, 394.  
 — campestris 336, l. Ulmus glabra.  
 — glabra 126, 228, 231.  
 — levis 126, 231.  
 — (montana) scabra 534.  
 Ulothrix 156.  
 Umbelliferae 484.  
 Uncinula spiralis 499.  
 Urobacillus Pasteuri 146.  
 Urtica dioica 267.  
 Usnea 520.  
 Ustilaginaceae 493, 495.  
 Ustilago maydis 500.  
 Utricularia 485, 486, 487, 488, 489, 490.  
 — vulgaris 487.  
 Ükörke l. Lonicera.  
 Üszöggomba l. Tilletiaceae és Ustilaginaceae.  
 Vaccinium 109, 382.  
 — myrtillus 32, 114, 207, 210.  
 — uliginosum 108, 113.  
 Vadgesztenye l. Aesculus.  
 Valeriana officinalis 207.  
 Vallisneria 416.  
 Verbascum 423.  
 Verbena officinalis 126.  
 Vereshagyma l. Allium cepa.  
 Verrucaria halodistes 520.  
 Vibrio 138.  
 — cholerae 144, 433.  
 — denitrificans 153.



— hydrosulfureus 154.  
 Viburnum opulus 207.  
 Vicia faba 287, 470, 471, 538.  
 — sativa 538.  
 — sepium 538.  
 Victoria regia 469.  
 Viola silvestris 207.  
 Viscum album 502, 503, 504, 505, 513.  
 Vitis scariosa 510.  
 — vinifera 20, 266, 267, 269, 272, 469,  
 496, 503.  
 Vörös berkenye l. Sorbus aucuparia.  
 — fenyő l. Larix decidua.

Xanthoria parietina 519.  
 Xerophyta 258.

Yucca 532.

Zab l. Avena.  
 Zea mays 244, 247, 266, 286, 287, 288,  
 293, 375, 403, 437, 460.  
 Zoochlorella 527, 528.  
 — parasitica 528.  
 Zooxanthella 528.  
 Zuzmók l. Lichenes.  
 Zsurló l. Equisetum.

### c) Szerzők neve.

Abegg 72.  
 Albert 206.  
 Amar 421.  
 Aristoteles 3.  
 Avogadro 222.  
 Bach 454.  
 Bachmann 6.  
 Ballenegger 115.  
 Baranetzky 268.  
 Baudisch 377.  
 Baule 340, 342.  
 Baur 34.  
 Bayer 312.  
 Beijerinck 129, 130, 152, 322, 324,  
 357, 362, 365, 479, 527, 549.  
 Belt 535, 536, 539.  
 Benecke 6, 18, 33.  
 Bert 466.  
 Berthelot 70, 71, 130, 356.  
 Berzelius 87.  
 Beyer 103.  
 Bieler 354.  
 Bierberg 416.  
 Black 4.  
 Blackmann 72, 329, 336, 337, 339, 340.  
 Boas 40, 47.  
 Bode 281.  
 Bokor 136, 137, 168, 170, 209, 363.  
 Bonnet 319.  
 Bonnier 6, 260, 273, 322, 470, 503,  
 520, 522.  
 Bornemann 340, 344.  
 Bornet 522.  
 Bose 6.  
 Boussignault 319, 323, 349, 354, 361.  
 Boyle 221.  
 Böhm 470.  
 Bredemann 358.  
 Brockes 537.

Brooks 209.  
 Brown 49, 78, 256, 308, 318.  
 Brunchorst 362.  
 Buchner 12, 16, 528, 530.  
 Burdon 489.  
 Burgerstein 239, 240, 243, 252.  
 Buscalioni 241.  
 Büsgen 252, 260, 532.

Cesalpini 3.  
 Chalons 459.  
 Chodat 454.  
 Cholnoky 125.  
 Christensen 167, 209.  
 Cjarder 210.  
 Clark 269.  
 Clausen 72, 465.  
 Clayton 137.  
 Coehn 54.  
 Cohn 130, 162, 487.  
 Collander 66.  
 Constantin 462.  
 Credner 74, 310.  
 Crone 291.  
 Cuvine 141.  
 Czapek 6, 55, 417.

Dalton 254.  
 Darwin 6, 128, 489.  
 De Bary 517, 518, 522.  
 De Candolle 463.  
 Degen 125.  
 Delpino 530, 539.  
 Dennis 340.  
 Detmer 214, 237, 238, 242, 267, 277,  
 279, 321, 445.  
 De Vries 218, 219.  
 Dixon 284.  
 Doby 421.  
 Donker 150.



- Dorner 6.  
 Döbner 288.  
 Dubois 74, 549.  
 Du Hamel 262, 319.  
 Du Sablon 273, 503.  
 Dutrochet 6, 444.  
 Düggegi 209.  
  
 Ebermeyer 17, 21, 22, 25, 27, 34, 37,  
     250, 301, 304, 306, 351.  
 Ehrenberg 46, 86, 124, 154.  
 Einstein 49, 50, 51, 332.  
 Emery 282, 487.  
 Engelmann 323, 324.  
 Engler 454.  
 Entz 527.  
 Erlenmayer 374.  
 Errera 293.  
 Escombe 256, 308, 318.  
 Euler 10, 12.  
  
 Falck 138.  
 Fehér 101, 120, 121, 175, 181, 211, 327,  
     328, 344, 347, 352, 363.  
 Freemann 497.  
 Fischer 8, 340, 370, 374, 394, 396.  
 Fitting 6, 219.  
 Forel 539.  
 Francé 131.  
 Frank 6, 290, 323, 362, 516.  
 Frankland 130.  
 Franzen 376, 377, 420.  
 Frölich 359.  
  
 Ganssen 206.  
 Garreau 242, 243, 444.  
 Gautier 492.  
 Gay 221.  
 Gäumann 18, 21, 28, 37, 38, 425.  
 Gerlach 358.  
 Gibbo 52.  
 Gilg 511.  
 Giesenhagen 287, 333.  
 Giltay 327.  
 Glinka 117.  
 Gottschal 449.  
 Göppelröder 354.  
 Grab 430.  
 Graham 39, 102.  
 Green 488.  
 Groenewege 137, 138.  
  
 Haacke 552.  
 Haberlandt 6, 247, 275, 403.  
 Hagern 210.  
 Hales 4, 247, 262, 264, 267.  
  
 Hampel 322.  
 Handovszky 40, 55.  
 Hansen 272, 289, 290, 308, 310.  
 Hansteen 66, 269.  
 Harries 8.  
 Hartig 6, 34, 35, 36, 37, 168, 248, 249,  
     251.  
 Hartmann 206, 208.  
 Heinricher 492, 512.  
 Helmont 4.  
 Hellriegel 129, 130, 292, 361, 367.  
 Henry 304.  
 Hillgard 123.  
 Hiltner 363, 369, 370, 372, 518.  
 Hind 139.  
 Hofmeister 6, 64.  
 Höber 46.  
 Höfler 224, 225.  
 Höhnel 228, 282.  
 Huber 233.  
 Humboldt 268, 269.  
 Hunnius 340.  
 Hutchison 137.  
  
 Ingen-Houss 4, 5, 74, 308, 322, 443.  
 Itano 209, 210.  
 Iwanoff 253.  
  
 Jammert 340, 344.  
 Johow 492.  
 Johnson 213, 286, 463.  
 Jost 2, 6, 65, 229, 279, 281, 320.  
 Jumelle 464.  
  
 Kamienski 516.  
 Kanitz 72.  
 Kantz 165.  
 Kappen 206.  
 Kellermann 136.  
 Kerner 403, 492, 530.  
 Kirchner 129.  
 Klein 312, 313, 408, 409, 410, 449, 485.  
 Kluyver 150.  
 Kniep 6.  
 Knight 256, 257, 258.  
 Knoop 375.  
 Koch 129, 130.  
 Komm 375, 379.  
 Kosaroff 234, 235.  
 Kostytschew 2, 6, 448, 449.  
 Köhler 42.  
 König 393, 406.  
 Kövessi 352, 353.  
 Kreusler 340.  
 Krüger 358.  
 Kunkel 552.



- Kunlin 374.  
 Kuyper 465.  
 Kühn 359.  
 Küster 66.  
 Kvapil 207.  
  
**Lafar 372.**  
 Langwell 139.  
 Laut 202.  
 Laurent 293, 361, 367.  
 Lavoisier 4.  
 Leenwenhock 130.  
 Lepeschkin 6, 67.  
 Lidforss 420.  
 Liebig 5, 103, 128, 129, 313, 318, 338, 340, 344, 444.  
 Lieske 155, 373.  
 Linsbauer 75.  
 Loeb 68.  
 Loew 300, 375.  
 Löhnis 131, 132, 161, 356.  
 Lundegardh 327, 328, 330, 336, 340, 344, 349.  
 Lundström 533, 534.  
  
 Magyar 95, 125, 230.  
 Malpighi 4, 443.  
 Mangin 319, 322.  
 Mariotti 4.  
 Martius 462.  
 Matthaei 335, 336, 338, 339.  
 Mayer 354.  
 Mayerhof 472.  
 Mazé 366.  
 Mágócsy-Dietz 468, 534.  
 Melin 382.  
 Meyen 444.  
 Meyer A. 39, 307.  
 Migula 549.  
 Mitscherlich 87, 89, 340, 342, 343, 344, 346, 347, 348.  
 Mohl 325, 444.  
 Molisch 6, 154, 155, 264, 270, 272, 296, 469, 549, 550.  
 Morris 158.  
 Moseley 488.  
 Möbius 41.  
 Möller 535, 536.  
 Mutler 539.  
  
 Nathanson 64.  
 Nägeli 282.  
 Negelein 332, 333.  
 Nemec 206.  
 Nernst 40.  
 Neuberg 13, 16, 430, 434, 449.  
  
 Newcombe 400.  
 Niklas 167.  
 Niklewsky 395.  
 Noach 253.  
 Nobbe 230, 231, 288, 290, 296, 363, 367, 369, 372.  
 Nordhausen 281.  
 Normann 522.  
  
 Olsen 210.  
 Omeliansky 140, 472.  
 Ostwald 46, 66.  
 Overton 64, 225.  
  
 Paál A. 6.  
 Palladin 448.  
 Pasteur 129, 130, 436, 439, 480.  
 Peklo 529.  
 Perrin 46.  
 Peter 72.  
 Pfeiffer 2, 5, 215, 216, 220, 221, 225, 267, 275, 279, 290, 295, 318, 322, 333, 334, 385, 388, 389, 420, 477, 526.  
 Pfeiffer 344, 360.  
 Piloty 378.  
 Pirschle 449.  
 Plank 332.  
 Pollaci 241, 322.  
 Prantl 525, 526.  
 Priestley 4.  
 Pringsheim 6, 134, 136, 301.  
  
 Ramann 82, 83, 103, 110, 112, 201.  
 Ratzeburg 538.  
 Rees 516.  
 Regel 492.  
 Reinau 340, 344.  
 Reinke 373, 522.  
 Renner 280, 281.  
 Richards 322.  
 Riedl 340.  
 Riesmüller 22.  
 Rippel 29, 344.  
 Rischawi 464.  
 Risler 247.  
 Routenberg 103.  
 Ruhland 65, 66, 223, 225, 408, 473.  
 Russel 158.  
 Russow 394.  
 Rysselberghe 235.  
  
 Sachs 5, 84, 231, 232, 265, 285, 290, 325, 326, 411, 419, 444, 489.  
 Sanderson 489.  
 Saussure 5, 308, 443.  
 Schardinger 142.

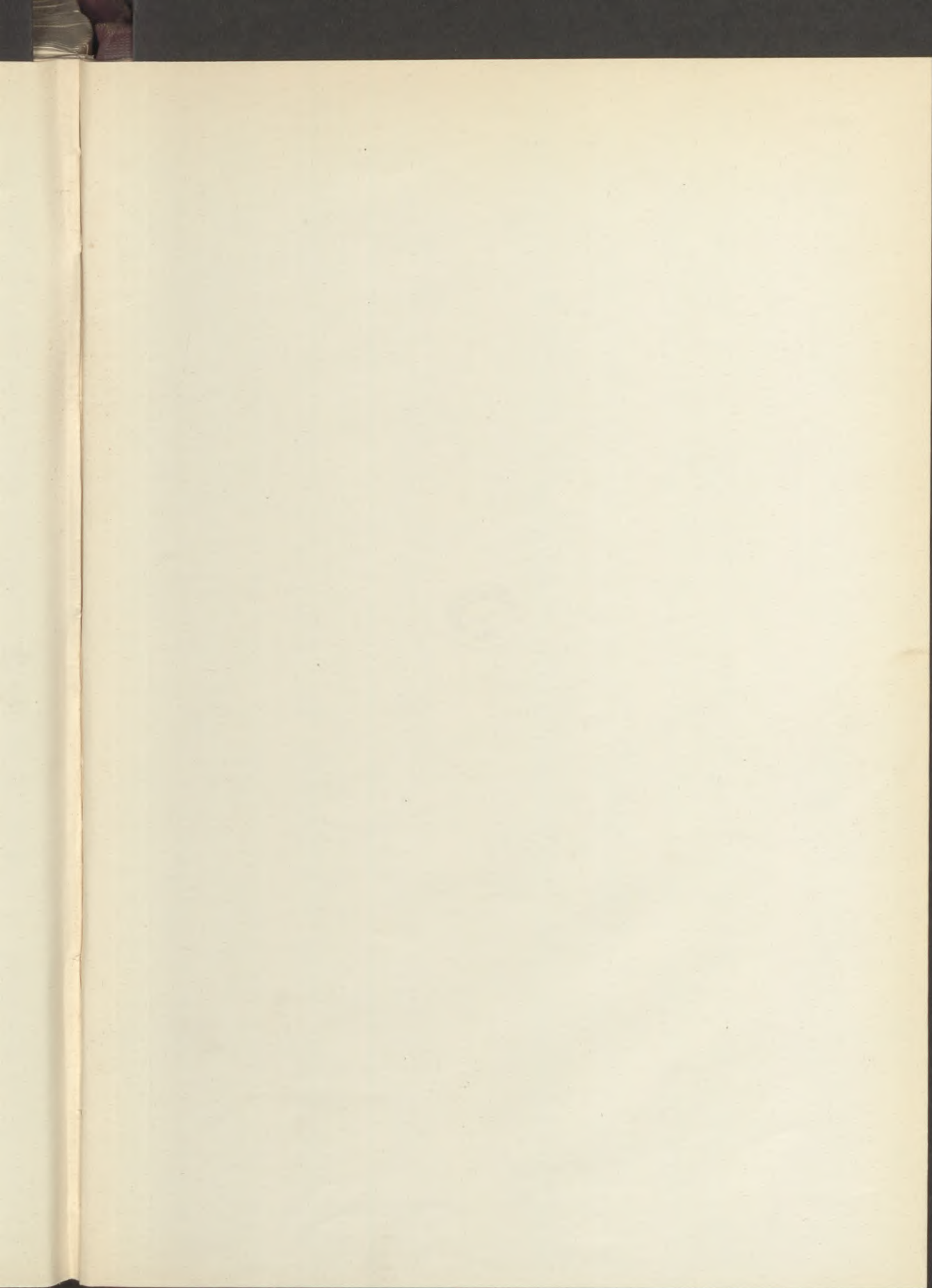


Scheele 4, 443.  
 Scherer 39.  
 Schleiden 516.  
 Schleichert 468.  
 Schlösing 361, 367.  
 Schneidewind 358.  
 Schneewind 370.  
 Schröder 25, 302.  
 Schultz 361.  
 Schumann 511, 539.  
 Schutt 354.  
 Schübler 87.  
 Schügler 90.  
 Schwann 130.  
 Schwendener 6, 282, 522.  
 Senebier 5.  
 Shive 291.  
 Siedentopf 42, 43.  
 Sierp 6, 253.  
 Sigmond 117, 118, 119, 120.  
 Smalian 508.  
 Smirnov 375.  
 Smith 337.  
 Smoluchowsky 49.  
 Sorauer 522.  
 Spirgatis 344, 348.  
 Stahl 241, 319, 335, 522.  
 Stefans 253, 254.  
 Stocker 234.  
 Stoklasa 33.  
 Stoll 66, 313, 336.  
 Strache 202.  
 Strasburger 265, 267, 276.  
 Strömer 518.  
 Süchting 382.  
 Sven 202, 277, 282.  
 Szabó Z. 6.  
 Taisz 125.  
 Thaer 5.  
 Than 216.  
 Thiele 358.  
 Timiriaseff 332.  
 Tottingham 291.  
 Treitz 117, 119, 120.  
 Treub 376.

Trier 375, 376.  
 Trommer 87.  
 Tubeuf 6.  
 Uloth 403.  
 Ursprung 233, 234, 262, 280, 281, 283.  
 Van Iterson 136, 137.  
 Van't Hoff 6, 220, 221, 222, 337, 396, 463.  
 Varga 175.  
 Vater 252, 344.  
 Vági 96, 117, 120, 121.  
 Vági 96, 117, 120, 121, 181, 344, 347.  
 Viala 493.  
 Vincés 401.  
 Vines 480.  
 Vogel 358.  
 Vöchting 6.  
 Wagner 368.  
 Waksman 133, 209.  
 Waller 354.  
 Walter 255.  
 Warburg 332, 333, 337, 338.  
 Ward 541.  
 Warming 463.  
 Weber 22, 304, 546.  
 Wehmer 138.  
 Weimarn 46.  
 Welbel 354.  
 Wieland 420, 454, 455.  
 Wieler 265, 267, 269.  
 Wiesner 6, 90, 244, 425.  
 Willfahrt 129, 130, 361, 367.  
 Willstätter 12, 66, 313, 336.  
 Winkelmann 50.  
 Winogradsky 130, 135, 150, 154, 155, 355, 356, 357, 359, 472.  
 Wolley 130.  
 Wollny 87.  
 Woodward 4.  
 Woronin 362.  
 Yamagata 209, 210.  
 Zelinka 530.  
 Zsigmondy 39, 40, 41, 42, 43, 48.







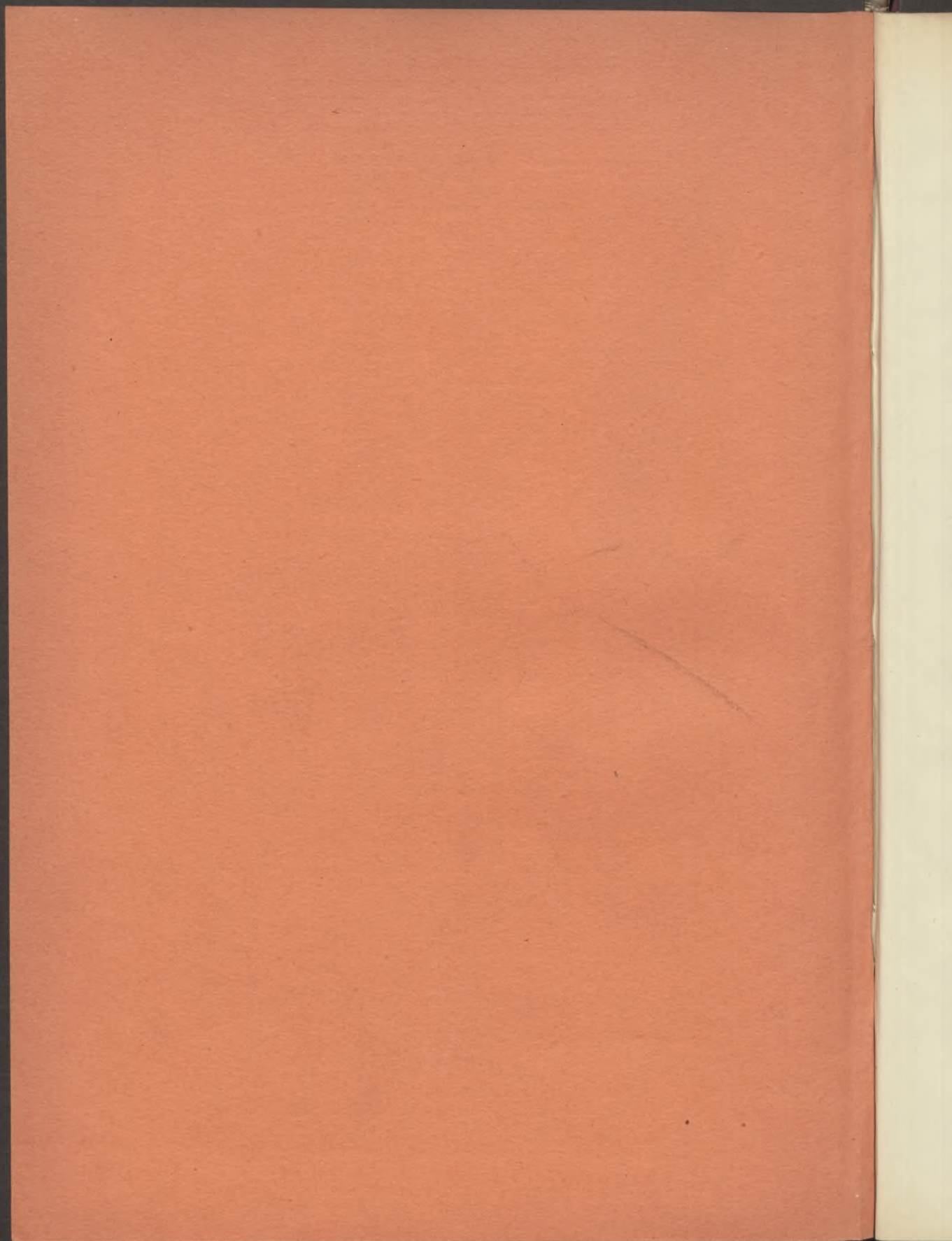




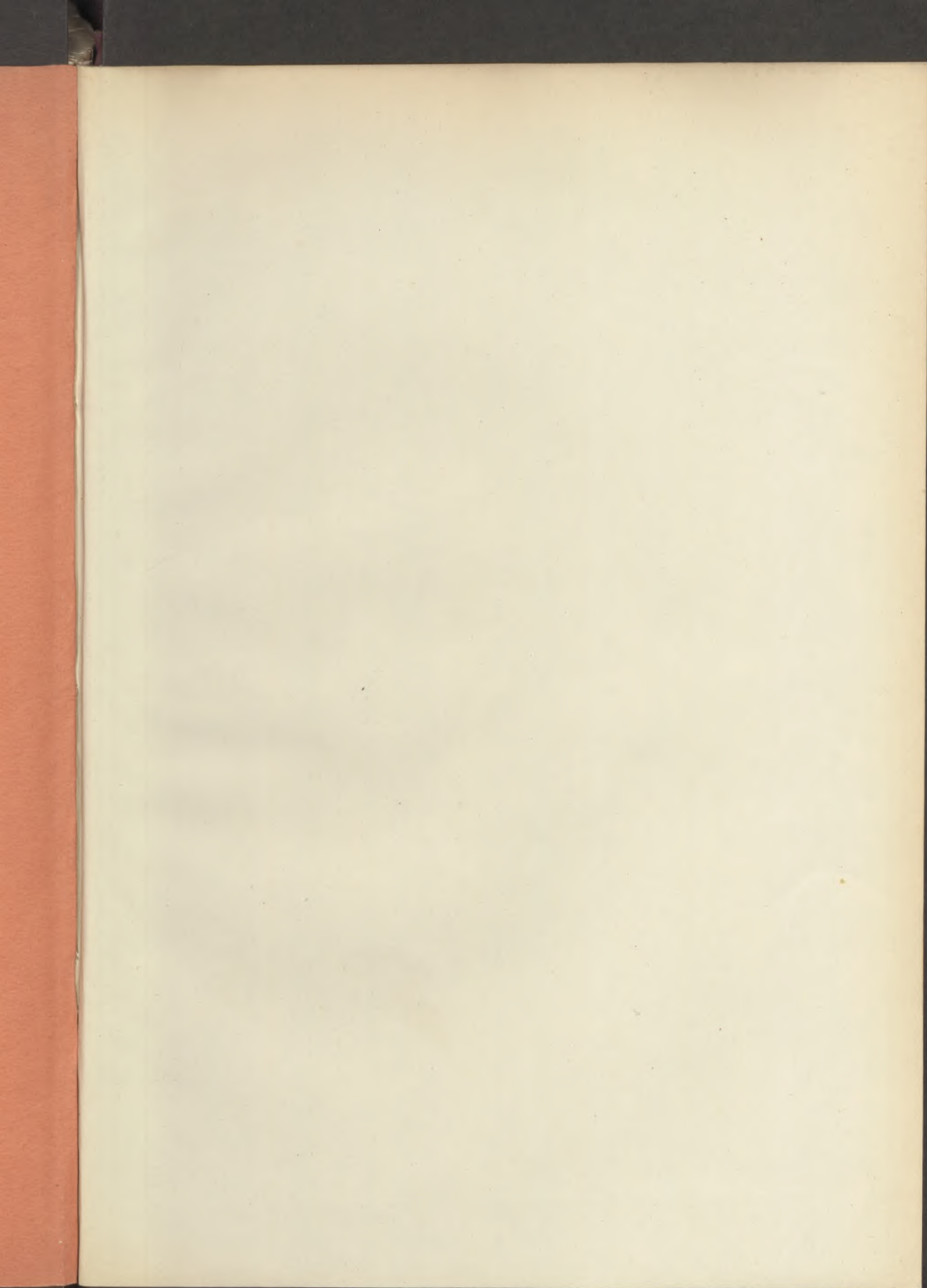


78. Makai: Magyar Takarékpénztárak és Bankok Évkönyve I. évf. 1936. .. ..	5.— P
79. Takács — Zerkowitz: Kamatjövödelmek illetékei .. .. .	3.— "
80. Borsos: Budapest székesfőváros lakásbérleti szabályrendelete .. .. .	3.— "
81. Szász: Clearing- és fizetési egyezm. a nemzetk. fiz. forgalomban .. .. .	6.— "
82. Halász: A részvénytársaság és szövetkezet alapszabálya, Kft. társ. szerz.	9.— "
83. Makai: Magyar Takarékpénztárak és Bankok Évkönyve II. évf. 1937. .. ..	5.— "
84. Biba—Hajnal: A korlátolt felelősségű társaságról .. .. .	3.— "
85. Sándor: A nemzetközi légitfuvarozási jog	2.50 "
86. Csulak: Alkalmazottak különadója ..	2.— "
87. Tunyoghi Szűcs: A gazdátartozásokról szóló hatályos rendeletek összeállítása	2.50 "
88. Garzó: 5000/1937. M. E. ismertetése ..	1.50 "
89. Keszthelyi-Vági: Magyar devizajog ..	12.— "
90. Goldberger-Szántó: Devizajog .. ..	6.— "
91. Bátor: A dollár betétek felértékelése ..	2.— "
92. Bände: A munkaidő és a fizetési szabadság szabályozása. .. .. .	3.— "
93. Makai: Magyar Takarékpénztárak és Bankok Évkönyve III. évf. 1938. .. ..	6.— "
A kartel .. .. .	1.— "
Sárffy: A peráradat csökkentése .. ..	2.— "
Vajda: A vállalati revíziók .. .. .	2.— "
Stoddard-Horváth: Lázadás a civilizáció ellen .. .. .	5.— "
Szász: Területenkivüliség a magyar jogban .. .. .	2.— "
Schlegelberger: A német részvényjogi ref.	—50 "
Geöcze: Nemzetközi bíróságok hatásköre	5.— "
Altörjáy: Anonymus és a magyar ösalkotm.	2.— "
Kuncz: Törvénytervezet a r.-t.-ről .. ..	1.— "
Doroghi: Részvényjogi novella .. .. .	1.— "
Barát: A gépjárműbaleseti felelősség ..	3.— "
Vészi: Autójog .. .. .	4.— "
Dános: Iparszabadság .. .. .	12.— "
A részvénytörvény előkészítése .. ..	4.— "
Kausser: Definíció a magánjogban .. ..	4.— "
Markó: A jogalkalmazás tudományának alapjai .. .. .	4.— "
Egyed: Országgyűlési összeférhetetlenség	12.— "
Budapest—Zürich 1914—1938. .. .. .	8.— P
Kunz: Részvényjog törvénytervezet .. ..	15.— "
A részvénytársasági jog irányelvei .. ..	1.— "
Zsoldos - Ladányi: Kamattáblázatok kötve	12.— "
Végh: Aranykorona árfolyamai .. .. .	3.— "
Both: Kodex az adócsalásoknak .. .. .	6.— "
Fluck-Nyulási: Betűsoros illetékkalauz II.	2.— "
Nyulási: Törvénykezési illetékek II. .. ..	1.— "
A kamat mértékéről szóló rend. .. .. .	—60 "
Sichermann Emlékkönyv .. .. .	6.— "
TÉBE Előjegyzési Napló 1938. .. .. .	8.— "
Pótfüzet a TÉBE adókodekshoz és a Magyar Pénzügyi joghoz .. .. .	2.— "
Devisenbewirtschaftung in Ungarn IX.	2.— "
A Budapesti Értéktőzsde új díjtételei ..	—50 "
Keresztessy: A társulati adó változásai ..	3.— "
Lánka: A keresk. üzemgazdaságtana. ..	6.— "
Óvári-Pap: Magyar devizagazdálkodás I.	3.— "
György: Biztosítékszerzés a keresk. forg.	2.50 "
A tisztességtelen versenyről .. .. .	4.— "
Meznerics—Torday: A magyar közigazgatás szervei .. .. .	8.— "
A részvénytársaság ügykezelése .. .. .	9.— "
Adó és illetékügyi határozatok tára .. ..	16.— "
Bernhard-Sövényházi: A magánalkalmazotti jogviszony füzve 25.— kötve .. .. .	32.— "

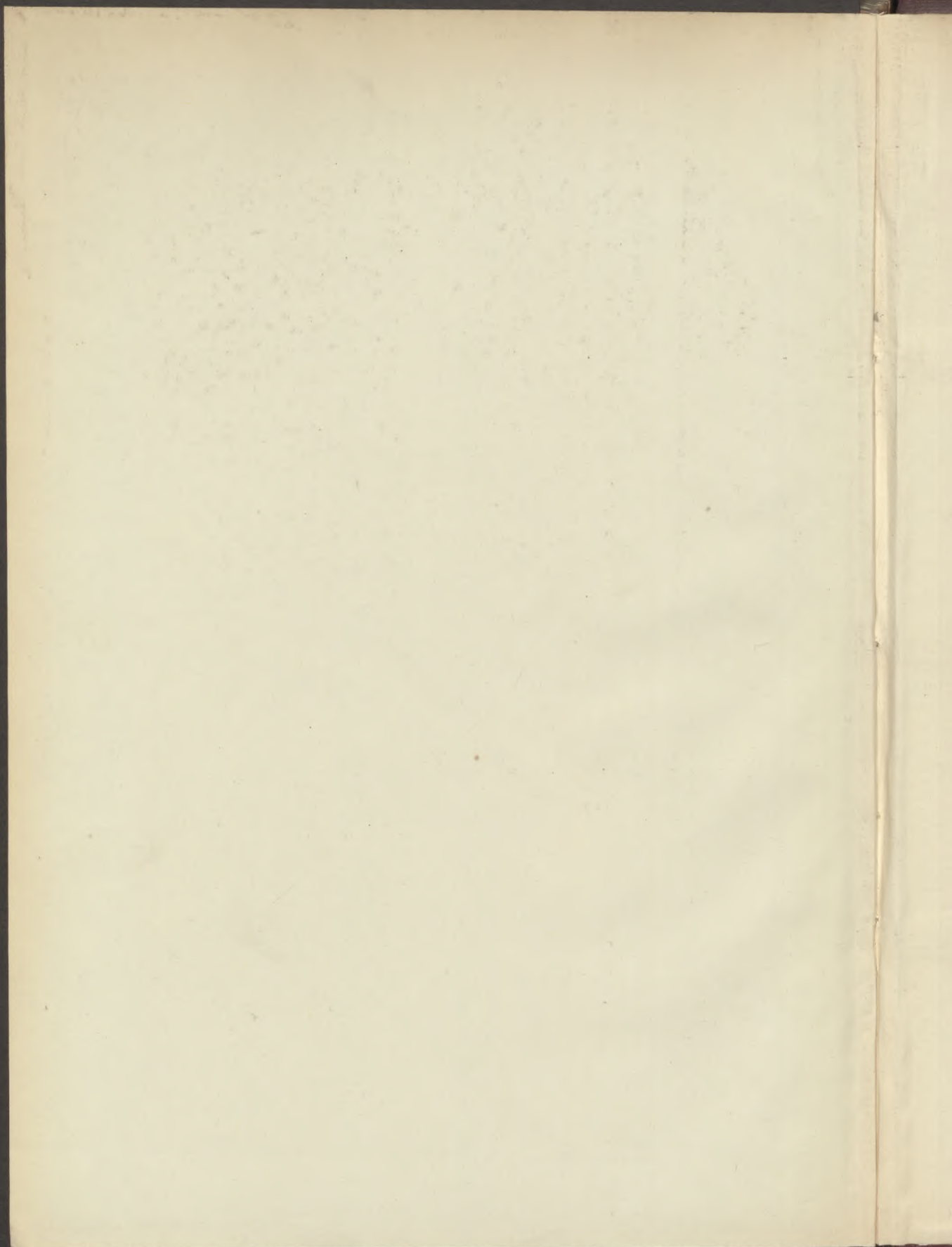




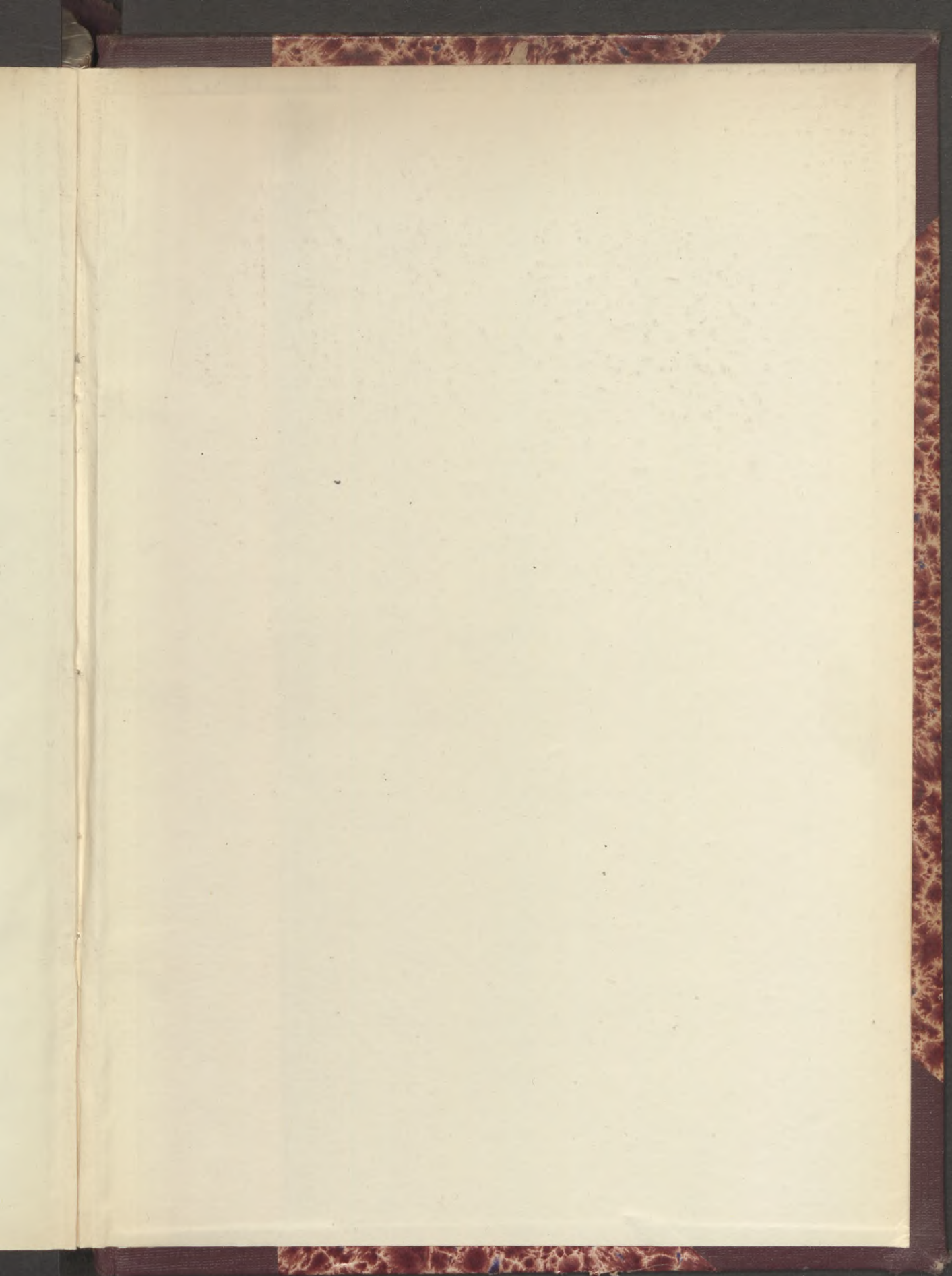




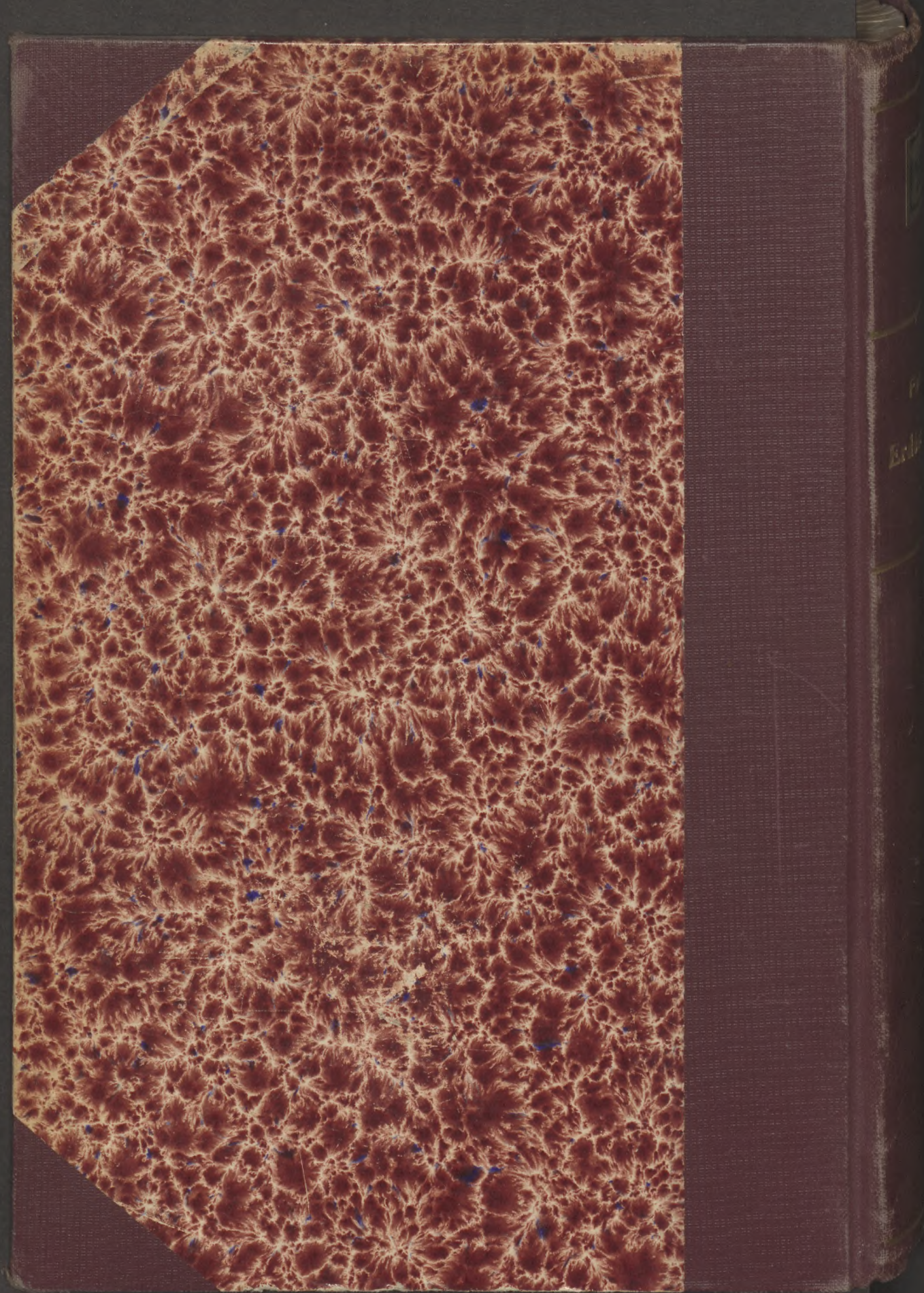














10581

Fehér-Mágocsy  
Erdészeti növénytan

II

N. M.