

A NÖVÉNYEK ÉLETFOLYAMATAI

ÍRTA

DR. GIMESI NÁNDOR

*Különlenyomat a Királyi Magyar Természettudományi Társulat
százéves fennállásának emlékére kiadott „A természet világa” című
sorozatos mű „A növény és élete” I. kötetéből*

B U D A P E S T, 1 9 4 1

1864

126493

ORSZ. SZÉCHENYI-KÖNYVTÁR
Növedéknapló
1942. év 5277 sz.



IV.

A NÖVÉNYEK ÉLETFOLYAMATAI.

Irta dr. Gimesi Nándor.

1. A NÖVÉNYÉLETTAN FELADATA ÉS MÓDSZEREI.

A bontó és építő emberi szellem minden tudományában, tehát az élettanban (fiziológiában) is a folyamatok és összefüggések egyszerű megértésére törekszik. Ezt természetesen csak úgy éri el, ha a növények életfolyamatainak a különböző tényezőktől való függését megvizsgálja, leírja, összehasonlítja és megmagyarázza. Az ismeretlent már ismert jelenségekre vezeti vissza. Az élettan tehát az életfolyamatok okait kutatja s ennél fogva éppen olyan empiriával dolgozó, oknyomozó tudomány, mint a fizika és kémia is.

Az élő növény, a szervezet azonban önálló, totális, bár környezetétől függő, de nem belőle keletkező, sajátmagát szabályozó létező. Ezért az élettannak a megismert és megértett és nagyon sokszor fizikai és kémiai törvényekre visszavitt életfolyamatoknak az egész szervezetben való jelentőségét is vizsgálnia kell. Ez a feladata teszi őt éppen élettudománnyá. VERWORN szerint az élettan az élő természetben történő folyamatokról szóló tan, s ennél fogva az élet megismerése a feladata.

Az élettani megismerés főeszköze a kísérlet, amely azoknak a feltételeknek tervszerű megválasztása és összekapcsolása, amelyek a tőlük függő jelenségek megértését lehetővé teszik. A kísérlet a természethez intézett kérdés, amelyre az élőlény, a növény, a maga sajátos módján, de mindig válaszol. Végeredményben a kísérlet válogatott körülmények közt történő megfigyelés.

A növény és minden más élőlény teste igen sok vonatkozásban olyan, mint bármely más, nem élő test. Ezt fizikai és vegyi értelemben bárki beláthatja. Ezek a fizikai és vegyi bizonyosságok azonban nem alkotják az élet, hanem csupán hordozói, foglalatjai ennek a transzcendens valóságnak. Ezt a kifejezést úgy kell értenünk, hogy az élet itt van, itt is kezdődött vagy kezdődhetett és itt is folytatódik, de a „szervetlen” történésekben nincs előzménye. Ebbe a mondatba foglalható össze az egyik mai természetbölcseleti életszemlélet veleje.

2. A NÖVÉNYEK ÉLETÉNEK ÁLTALÁNOS FELTÉTELEI.

A növény élete a plazmához, illetve a plazma bizonyos „élő” szerkezetéhez van kötve. A plazma csak akkor tudja életképességeit kifejezni, ha állandó kölcsönhatásban van környezetével és abból táplálékot és energiát merít.

A környezet némely tényezője feltétlenül szükséges a plazma, a növény tevékeny életéhez. Ilyen feltétlenül szükséges életfeltételek bizonyos hőfok, a víz és más szükséges anyagok. A napfény pl. nem ilyen általános életfeltétel, mert ismerünk szervezeteket és szerveket, amelyek egész életüket sötétben töltik. Az általános életfeltételek bizonyos mennyiségének, mértékének döntő jelentősége van.

Az életjelenségek csak akkor indulnak meg, ha az általános életfeltételek legalább is minimális mértékben vannak jelen. Könnyen megfigyelhető és függvényszerűen is ábrázolható pl. a hőfoknak és a növekedésnek összefüggése. Nem szabad azonban azt gondolnunk, hogy a hőmérséklet emelkedésével a növekedés teljesen arányosan nő. Mindig van olyan legkedvezőbb optimális hőfok, amelynek a legnagyobb növekedés felel meg. A hőmérséklet továbbtartó emelkedése már nem szolgálja a növekedést és a végső határon, a maximumon, ez az életjelenség többé nem is észlelhető.

Amint látjuk, az életfolyamatok és a külső körülmények kapcsolatát három sarkpont jellemzi. Az így kiszámítható úgynevezett optimumgörbe minden életműködés és feltételei számára felállítható s ezért bátran mondhatjuk, hogy minden élettani történésre jellemző és így általános érvényű. Nem szabad azonban azt gondolnunk, hogy pl. a hőoptimum, minimum és maximum minden körülmények közt és minden növény életében azonosak. Némely délszaki növény hőminimuma 0°C körül van, viszont ismerünk olyan növényeket, fákat is, amelyek -46°C -t, sőt -60°C -t is elviselnek. A „hideg” laboratóriumokban különösen sokat foglalkoztak az alsóbbrendű növények hidegbírásával és többek közt az is kiderült, hogy egyes kovamoszatok a -200°C -t is jól állják, sőt különböző spórák és baktériumok még az abszolút nullapontot megközelítő hidegeket is elviselnek.

A növények általában a $+45^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletet már nem bírják el, de ismerünk olyan hőforrásokban élő moszatokat, amelyek még $70-80^{\circ}\text{C}$ meleg vizekben is elég jól tenyésznek. A spórák sokszor 100°C -t is eltűrnek. Megállapíthatjuk, hogy mindig a plazma állapota döntő; a víztelen, lappangó életű plazma sokkal többet kibír, mint az inkább szol állapotú, tevékeny plazma.

A minimum és maximum kisebbfokú túllépése nem okozza még a plazma halálát, hanem annak életét csak lappangóvá, látenssé teszi. A tevékeny életet határoló két szélső érték nagyobb mértékű áthágása bizonyos pontokon, amelyek a hideg és hő-halál pontjai, már pusztulással jár. Ezeken a pontokon az életfolyamatok nem fordíthatók többé vissza; irreparábilisek, irreverzibilisek lesznek.

Az optimumgörbe sarkalatos, valamint halálpontjai a különböző lények életfolyamataiban nem azonosak, sőt még a rokon fajok görbéi is eltérők lehetnek. Általánosságban mindig a plazma állapota döntő és ennek a kolloidális testnek irreverzibilis megváltozása, kicsapódása alapoka a halálnak. A lappangó életű

plazma vagy kolloidikus szempontok szerint említve mondanivalónkat, a gél és nem a szol állapotú plazma ellenállóképessége igen nagy.

Az optimum-görbe nem mindig hárompontos, mert vannak szervezetek, amelyek egész életüket sötétben töltik és bizonyos fény mennyiség többletet már nem viselnek el. E szervezetek fényoptimumgörbéjének tehát nincs minimuma, de maximuma van.

A növények alapvető, organizmikus tulajdonsága az *ingerlékenység*. A növény válaszol a külső világ hatásaira. Ez a választadó képesség a növény belső, autonómiás tehetsége és a külső okok csak, mint kiváltóokok, *ingerek*, szerepelnek. Ezekre az ingerekre válaszol a növény, a sejt plazmája, és ez az ingerlékenység alaki és anyagi változásokban jelentkezik. Nagyon fontos és jellemző vonása még a növényéletnek az *önszabályozás*, ami abban nyilvánulhat, hogy a növény a külső és belső ingerekre válaszolva, szerveit mindig a legmegfelelőbb helyzetbe hozza. Jellegzetes organizmikus képességük a növényeknek az a tulajdonságuk is, hogy önszabályozás útján sérült szerveiket meggyógyítják, azokat újra készítik, sőt sokszor „egészet” alkotnak egy kis „részből”. Ez a nagyvonalú képesség (a *restitúció*) semmiféle gépen vagy megsérült élettelen tárgyon nem figyelhető meg.

A növény a külvilág anyagaiból és energiáiból fenntartja magát (*táplálkózik*), saját fajának megmaradását nagyszerű önszervezéssel (*fejlődés, szaporodás, kiegészülés*), valamint rendkívül jelentőségteljes *mozgásokkal* szabályozza.

Megbeszéléseink anyagát mindezek alapján a következő csoportokra oszthatjuk: 1. *táplálkozás*, 2. *fejlődés*, 3. *mozgás*.

3. A NÖVÉNYEK TÁPLÁLKOZÁSA.

A növények testük építésére, megtartására, alakítására építőkövekre, tápláló anyagokra szorulnak. A táplálkozás a legegyszerűbb esetben bizonyos, nemváltozó anyagok felvétele és kiválasztása, ami az anyagcsere legegyszerűbb alakja. A felvett anyagok azonban a növényben vegyi tekintetben legtöbbször megváltoznak és így szolgálják a növénytest működését, növekedését, szaporodását. A növény számára fontos és nélkülözhetetlen anyagok felvételét nevezzük közönségesen a növény táplálkozásának. A táplálékok a növény szervezetbe a talajból (vízből) és a levegőből jutnak. A táplálékoknak a növény testébe kell kerülniök, és a táplálékok mindig a sejtekbe jutnak és ezekben alakulnak át a növény testévé és energiaforrásaivá. Az egysejtű növények teste — a sejt — a szükséges anyagok felvevő, átalakító, raktározó és kiválasztó helye is. A magasabbrendű, soksejtű, dúsan szerveződött növénytestben a felvett anyagoknak sokszor hosszú utat kell megtenniök, míg rendeltetésük helyére jutnak. Az anyagok felvétele tehát itt szállításukkal is kapcsolatos.

A felvett anyagok az élő testbe, végeredményben a sejtekbe kerülve, elvesztik eredeti tulajdonságaikat és összekeverednek, vegyülnek az élő testtel és teljesen

annak szabására alakulnak át. Ezt a minden szerves élet alapját alkotó folyamatot nevezzük általánosságban a felvett anyagok áthasonításának (asszimilációjának). Ennek ellentétes folyamata a disszimiláció, amikor a plazmából ismét anyagok keverednek ki. Ezek sokszor eltávoznak a növény testéből, máskor azonban nem érik el a növény külső felületét, mert nem oldódnak és így, további alakulás nélkül, nem is szállíthatók. Ezek az anyagok a növény számára hasznavehetetlenek, vagy nagyon is értékesek lehetnek. Utóbbiak a növénytest tartalékanyagai, amilyenek a keményítő, növényzsírok, fehérjék, bizonyos sejtfalanyagok. Megfelelő körülmények közt, a legtöbb esetben a sejtek erjesztői (enzimái) hatására ismét oldhatókká válnak és a plazma, a növény, újra asszimilálja őket, hogy saját vegetatív testét és a növényélet jövőjét, faja terjedését szolgáló szaporodó szerveit építse meg belőlük.

Látjuk tehát, hogy a növénytáplálkozás élettana az anyagok felvételével, áthasonításával, szállításával és szétbontásával kapcsolatos.

A) A növénytest építőkövei. Tárgyalásunk alapjául a zöld növények életét választjuk és az így nyert ismeretekhez fűzzük a továbbiakat.

Az az első törekvésünk, hogy megismerjük, melyek a növénytest már felvett építőanyagai, azaz, minő kémiai elemek és vegyületek alapvető alkotói a növények anyagcseréjének. E cél elérésére a kémiai elemzés a legalkalmasabb. Ezt is megelőzheti a kiválasztott növény, vagy szerv szárítása erre szolgáló készülékben (exsikkátor), mert így megtudjuk, hogy anyagunk mennyi vizet tartalmaz. A fás részek víztartalma 50%, a dudváké 75—85%, a gyümölcsöké 85—95%, a moszatok víztartalma sokszor 95—98%. Visszamarad a száraz anyag.

B) A víz igen fontos alkotórésze a növénynek. Sokszor alakját is meghatározza. A felvett víz gyakran változatlanul el is hagyja a növényt, de sok keletkezik belőle vegyi úton, például a lélekzés (a szoros értelemben vett disszimiláció) révén is. A növény testének minden anyagát vizes oldatokból készíti. Víz nélkül nincsen élet, hiszen a sejtek alapanyaga, a plazma, vizet kedvelő félfolyékony állomány, enyvszerű hidrofiliás kolloida. A plazma víz nélkül nem, vagy csak nagyon kis mértékben működik. A kitartó szervekben és sejtekben minden látszólagos kiszáradásuk ellenére is marad kevés lappangó víz, mert enélkül, illetve ennek teljes elvesztése után, nincs már többé jelen az élet. A hidrofiliás kolloidák minden esetre igen erősen megkötik a vizet.

C) A szárazállomány közelebbi vizsgálata az említett vegyi úton történik. A legfontosabb eljárás az úgynevezett elemi bontás, amelynek égetés az alpmódszere. Égetés után hamu marad vissza. A különböző növények és szervek hamutartalma eléggé ingadozó; a levelekben nagyobb, mint a szárképletekben. A fenyőfélék hamuja kb. 0.21%, a rozsszem 2.09%, a rozs szára 4.46% hamut tartalmaz. A szőlőhajtás hamuja a szárazállomány 5.19%-a, a dohánylevél pedig 17.16%.

D) A hamu sok elemet tartalmaz általában oxidok formájában, de rendszerint klór, kén, foszfor, kova, kálium, nátrium, mész, magnézium, vas található

A NÖVÉNYEK ÉLETFOLYAMATAI

benne. A növényekben brómot, jódot, fluort, litiumot, stronciumot, rezet, aranyat, alumíniumot, cinket, bórt és még sok más elemet is kimutattak.

E) Az organogénelemek. A növény égetésekor gázok távoznak el, mégpedig víz, széndioxid és ammóniák formájában stb. Ezekből az anyagokból épül meg eredeti összetételében a sejt, az élő növény szerves állománya. Ez a szerves állomány a száraz anyag legtömegesebb része és főleg hidrogén, oxigén, nitrogén és szén alkotják. A növénytest eléggő részei a szárazállomány mintegy 95—98%-át teszik.

A **s z é n** a legfontosabb organogén elem, mert ez alkotja a szárazállomány felét. Az élet a szénelemhez van kötve. A szerves vegyületek közül legfontosabbak a szénhidrátok, zsírok és fehérjék. A szénhidrátoknak hidrogén, oxigén és szén az alkotóelemei, míg a fehérjék nitrogént, foszfort és kén is tartalmaznak. Elég sok növényi szerves anyagot (ilyenek például a gyanták) csak hidrogén és szén alkot.

F) Az elemek felvételének vegyi alakja. A növény az **o x i g é n**t lélekzésekor a levegőből, illetőleg a vízből veszi. A vízben és számos más vegyületben is előfordul a hidrogénnel együtt. A nitrogén, kén, foszfor, kalcium, magnézium és vas elemeket oldott vegyületek alakjában (ezek az úgynevezett tápláló sók) veszi fel a növény.

Ami a szén és részben a nitrogént is illeti, két jól elhatárolható csoportját különböztethetjük meg a növényeknek. A teljesen **ö n e l l á t ó** (**a u t o t r ó f i á s**)

I. TÁBLÁZAT.

100 g szárazanyag organogén elem- és hamutartalma.

Növényrészek	C	H	O	N	Hamu
Búzaszemek	46·1	5·8	43·4	2·5	2·4
Rozsszalma	49·9	5·6	40·6	0·3	3·6
Burgonyagumók	44·0	5·8	47·7	1·5	4·0
Borsószemek	46·5	6·2	40·0	4·2	3·1
A vörös répa levelei	38·1	5·1	30·8	4·5	21·5

II. TÁBLÁZAT.

100 g friss növényi anyag víz-, nitrogén-, szénhidrát-, zsír- és hamutartalma.

Növényrészek	H ₂ O	N-t. a.	Szén-hidrátok	Zsírok	Hamu
Búzaszemek	13·6	12·1	70·4	1·8	1·8
Babszemek	14·7	24·3	56·1	1·6	3·3
Burgonyagumók	75·7	1·9	16·5	0·1	0·9
Vörösrépa	87·7	1·1	9·4	0·1	0·9
Salátalevél	94·3	1·4	2·9	0·3	1·0

növények a szén széndioxid alakjában, a nitrogént pedig főleg salétomsavas sókként veszik fel és egész testüket szervetlen anyagokból építik meg. Ilyenek a zöld növények legnagyobbrészt. A másik csoport tagjai mindig másodkézből veszik a szén (szerves vegyületek alakjában) és nagyon sokszor a nitrogén tekintetében is szerves, azaz más szervezetek termelte anyagok felvételére, illetőleg csakis ezek áthasonítására (asszimilációjára) rendezkedtek be. Ilyen *heterotrófiás* növények a gombák, s a baktériumok közül is igen sokan; általában ilyenek a valódi élősködők (paraziták) és a hullából élők (saprophyták).

A nagyban való vegyi vizsgálatot igen fontosán egészítik ki a mikrokémia módszerei, s így az égetés és a vegyvizsgálat többi eljárásainak megfelelő átalakításával igen kis mennyiségű és ritka anyagok jelenlétét is vizsgálhatjuk. A mikrokémia módszereit használja alapjáibanvéve a hisztokémia is (sejt- és szövetcémia), amely a sejtekben stb. kimutatható anyagok minőségét, mennyiségét és helyét kutatja.

G) Az elemek helye és jelentősége. A *szén* minden szervesvegyület alapanyaga, a száraz állománynak mintegy ötven százaléka. A nitrogén, kén és foszfor a fehérjék fontos alkotórésze. A foszfor főként a sejtmagvakban fordul elő. A kálium és magnézium a magvakban, a fiatal szövetekben, a tenyésző csúcsokban található. A magnézium a klorofillfestékben is fellelhető. A magnéziummal, nátriummal és litiummal nem, vagy alig helyettesíthető kálium nélkülözhetetlen. Az igen kevés káliumot tartalmazó növények lombleveleiben a széndioxidasszimiláció a rendes mérték alatt van. Éppen ilyen a mész (kalcium) is; hiánya súlyos mérgezőtünetekkel jár. Egy-két moha és a gombák, nélküle is tudnak élni, de vasa a gombák és a zöld növények is egyaránt rászorulnak. A zöld növény vas nélkül nem zöldül. A legújabb vizsgálatok szerint a cink igen csekély mennyiségben található a növényekben, de szintén nélkülözhetetlen; hasonlóképen a mangán és réz is. A bór a magasabbrendű növények számára szintén szükséges, de nagyobb töménységben mérges hatású.

Az elemeket csak akkor tudja a növény asszimilálni, ha meghatározott vegyületek alakjában nyeri őket, de általában nem mint ilyeneket alkalmazza őket, hanem teste anyagába dolgozza bele, a sejttállományához hasonlóvá teszi, *át hasonítja* azokat (asszimiláció). A felvett, vagy felvehető anyagok szükségességét úgynevezett víztenyészetekkel vizsgáljuk meg. Ennek az eljárásnak az a lényege, hogy a növényeket megfelelő üvegedényekben tenyésztjük és a tenyésztő oldathoz bizonyos tápláló sókat adunk, illetve nem alkalmazzuk őket. Ilyen módon pontosan megállapíthatjuk, hogy milyen kationokra (általában fémes elemekre) és anionokra (nem fémes elemekre, vagy vegyületcsoportokra) van a növénynek szüksége.

A *nátrium* még olyan növények számára sem nélkülözhetetlen, amelyekben nagyon bőven található. Az ilyen növények nem azért tenyésznek például konyhasós talajon, mert ez kell nekik, hanem azért, mert az ilyen talajt jobban tűrik és így könnyebben nőnek rajta, mint más növények. Ügylátszik, hogy a kovamoszatok és bizonyos tengeri moszatok nem élhetnek nátrium nélkül. A *szilícium* a zsurlók és füvek, gabonafélék testében nagy mennyiségben található SiO_2 alakjában, de bizonyos értelemben mégis nélkülözhető. A kova-

moszatok szilícium nélkül nem tudnak élni. Sejtjeik gyönyörű falpáncélzatát nagymértékben SiO_2 alkotja. A korpafűfélékben sok az alumínium. Több megfigyelés arra vall, hogy ez az elem a vízi növények számára szükséges. A tenger-víz jódtartalma vegyi vizsgálat útján nehezen nyomozható. Ismerünk mégis tengeri moszatokat, amelyek nagy mennyiségben halmozzák a jódot; hosszú időn át a jódot főleg ezeknek a növényeknek hamujából nyertük. Nem tudjuk, vajon tényleg szükségük van-e erre az elemre. A nélkülözhető hamualkatrészek sokszor nagyon értékesek lehetnek a növények jobb tenyésztésére. A pohánka-félék például jobban élnek, ha kloridokat kapnak. Arra vonatkozóan is vannak megfigyeléseink, hogy bizonyos nem fontos anyagok jelenléte más szükséges anyagok mérgező hatását csökkenteni tudja. Az állatok nagyjából ugyanazokra az elemekre szorúlnak, mint a növények, de a nátriumot és kalciumot, meg a jódot és fluort nem tudják nélkülözni. A növények nélkülözhetetlen elemi anyagainak száma körülbelül 14. Ezek összefoglalóan a következők: C, O, H, N, K, Ca, Mg, Fe, S, P, Zn, B, Mn, Cu. Ezek közül az első a C (szén) a levegőből származik, a többi a talajból. Az első négy elem: a szén (C), oxigén (O), hidrogén (H) és nitrogén (N) az organogén elemek, elégetéskor elszállanak, a többi hat, a kálium (K), a mész (calcium Ca), magnézium (Mg), vas (ferrum F), kén (sulphur S) és a foszfor (F) a (közönségesebb, nagyobb mértékű) hamualkotórészek elemei, a végső négy a kisebb mértékben jelenlévő elemek: a cink (Zn), bór (B), mangán (Mn) és réz (Cu). Sokszor előfordulnak még nátrium (Na), kova (Si) és klór (Cl). A káliumot nátrium (Na), lítium (Li), rubidium (Rb) általában nem helyettesíthetik. A kationok közül (a sók oldatai disszociáltak) a K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{++} , $(\text{Fe})^{+++}$ az anionok közül pedig SO_4^{--} , H_2PO_4^- , NO_3^- nem nélkülözhetők. A nitrogén mint kation: NH_4^+ sokszor éppen olyan jó szolgálatot tesz, mint egyik anionja, az NO_3^- .

H) Az „elemi“ anyagcsere egyensúlya. Az elemeket magukban nem igen nevezhetjük táplálékoknak, minthogy amint most is láttuk, csak sók, illetőleg ionok alakjában értékesíthetők, kevés kivétellel. A növény a táplálékoldatból nem mindig ekvivalens mennyiségben veszi fel az ionokat és így megeshetik, hogy a növény valamely só kationjából többet vesz magába, mint az anionból. Ez a folyamat megváltoztathatja a táplálékoldat savanyúságát. A szalmiáksó (NH_4Cl) oldatából több NH_4 iont (ammoniumgyököt) tud némely növény magába fogadni, mint klóriont. A táplálékoldat megsavanyodik, mert az ioncsere következtében hidrogénion (H^+) lép ki a sejtekből és így a táplálékoldatban sósav (HCl) keletkezik.

Mai felfogásunk szerint a növény nem abszorbeálhat több pozitív töltésű iont, mint negatív töltésűt, mert ez a folyamat az oldat elektromos töltésviszonyait megzavarja és így a növény elektromos potenciálkülönbséget teremtené saját maga és az oldat között. Ehhez pedig olyan tetemes energiatökre lenne szüksége, amely felett nem rendelkezik. Az tény, hogy némely esetben túlsók iont vesz fel a növény; ezt ellenion kibocsátásával kell pótolnia. A nagyobb mennyiségben felvett kationok, illetőleg anionok zavaró hatását a növény a benne levő hidrogén-kationok, illetőleg HCO_3 anionok útján ellensúlyozza. E két iont a növénytestben

mindíg jelenlevő víz és széndioxid bocsájtja a növény rendelkezésére. ($H_2O + CO_2 = H_2CO_3 = H^+ \cdot HCO_3^-$). A már felvett iont a növény ismét kibocsájtja. Ennek az ioncserének rendkívül fontos szerepet kell vinnie a gyökér tápláléksó felvételében. A kémiai és fizikai vizsgálati módszerek segítségével rendkívül sok szervetlen és szerves vegyület jelenlétét állapíthatjuk meg a növény testében, amint azt a sejtteni fejezetben láttuk.

Az eddigiekben analitikus módszerekkel vizsgáltuk a nem élő növény összetételét, de egy-két helyen már rámutattunk az érintetlen növénytest egyéni munkájára is. Ezekután lássuk, mikép táplálkozik maga a növény, miként veszi fel a különböző anyagokat.

I) Az önellátó táplálkozás. A zöld növény embrióit a sziklevelek és a magfehérje révén olyan értelemben neveli heterotrofiásan a csírázás előtt és kissé még azután is, hogy a kis csíranövény már kész szerves táplálékkészlettel indul az életnek. A csírázás előtt az embrió sorsa lappangó élet (anabiozis, tágabb értelemben). Csírázáskor a duzzadás (duzzadási nyomás és duzzadási hő) adja azt az első lökést, amely az embrió további mozgalmasságra, a sejtek osztódására, növekedésére és a szervek kialakítására készíti (organizáció). Amikor a sziklevelek kiürülnek és lehullanak, a magfehérje elhasználódik, akkor a csíra megzöldül és többé nem a veleadott szerves anyagokból él, hanem külső szervetlen anyagok felvételével, és ezekből új szerves anyagok készítésével biztosítja életét. Legalkalmasabban a már említett víztenyésztési módszerével győződhetünk meg arról, hogy milyen szervetlen anyagokra van szüksége a zöld, önellátó növénynek. Pontos vizsgálódások megkövetelik, hogy a tenyésztés üvegedényére is gondoljunk, mert az üveg káliumot, nátriumot, kalciumot, szilíciumot stb. tartalmaz és kissé oldódik vízben. E hibaforrás elkerülésére, különösen alsóbbrendű növények tenyésztésekor, paraffinnal kiöntött edényeket szoktunk használni. A víztenyésztethez a legkülönbözőbb anyagokat adhatjuk, hogy szükségüket, vagy károságukat megismerjük (148. kép).

Sok zöld növény jól tenyészik például a következő oldatokban:

- | | |
|-----------------------|--------------------------------|
| I. 4 gr $Ca(NO_3)_2$ | II. 1 gr KNO_3 |
| 1 gr KH_2PO_4 | 0.5 gr $CaSO_4$ |
| 1 gr $MgSO_4$ | 0.5 gr $MgSO_4$ |
| 1 gr K_2SO_4 | 0.25 gr terciér kalciumfoszfát |
| Igen kevés vasklorid. | 0.25 gr $FeHPO_4$ |
| 7 l H_2O | 1 l víz |

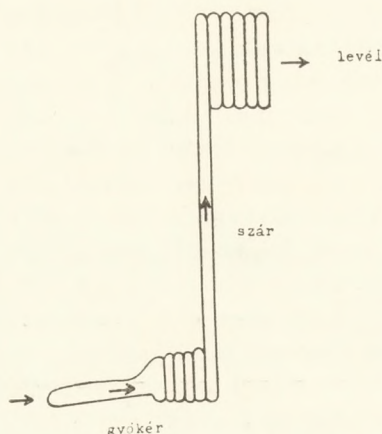


148. kép. A pohánka tenyésztése vizes tápláló oldatban. Az I. számú edényben teljes tápláló oldat van, a II.-ban hiányzik a kálium. (NOBBE nyomán.)

Ezekben az oldatokban a szükséges H , O , S , N , P , K , Ca , Mg , Fe bentfoglaltatnak. A szén mindegyikből hiányzik. Tudjuk, hogy a növény teste minden részének legfontosabb épületeköve a szén, s benne mindenütt megtalálható. Ezt az elemet a növény csak a levegőből veheti fel. Mindegyik említett elem feltétlenül szükséges. Bizonyos növények számára jobb összetételek is készíthetők. A zöld növények a nitrogént ammonium- és salétromsavas sók formájában értékesítik általában. A kén és a foszfort csakis szulfátok, illetve foszfátok alakjában veszik fel. Az oldatok telítettsége is fontos. Általában 1–5 gr egy liter táplálékoldat sótartalma.

J) A táplálékoldatok „savanyúsága.” Számos újabb vizsgálódás azt bizonyítja, hogy növény fejlődésének igen fontos feltétele még a táplálékoldat vagy a talaj bizonyos savanyúsága is. Ez a savanyúság attól függ, hogy hány H^+ , illetve OH^- ion van jelen a táplálékoldatban. Ha mennyiségük egymással egyező, akkor az oldat semleges. Ha túlnyomó a hidrogénionok száma, akkor az oldat savanyú, de ha a hidroxilion több, akkor az oldat lúgos. Ezt a savanyúságfokot azzal jellemezzük, hogy hány hidrogénion van jelen az oldat térfogategységében. Ez az úgynevezett hidrogénion-koncentráció. Bizonyos megfontolások odavezettek, hogy e szám negatív logaritmusával (pH) adjuk meg az oldat minőségét. A semleges oldatok pH -ja = 7. A savanyú oldatok pH -ja 1–7-ig, a lúgos oldatoké pedig 7–14-ig terjed. Könnyen megfigyelhető, hogy egyes növények savanyú, mások semleges értékű, ismét mások pedig lúgos közegben tenyésznek legjobban. Innen magyarázható, hogy bizonyos növények a meszes talajt kedvelik, mások meg nem jól nőnek rajta. A „mészellenes” növényeknek éppúgy szükségük van a kalciumra, mint a meszes talaj barátainak, de az ilyen talaj nagyfokú lúgosságát nem tűrik jól.

K) A táplálék felvétele és szállítása. A növény anyagcseréjét szolgáló vegyifolyamatok mind vizes oldatokban történnek meg és az egész növénytestet víz hatja át; a sejtfalak is vízzel vannak átitatva (Imbibálás). Ez a magasfokú



149. kép. A vízmozgás vázlata a növény testében. (WALTER nyomán.)

vizes telítettség teszi alkalmassá a növényeket életműködéseik zavartalan menetére. Különösen sok víz van a lomblevelekben; a víz megvonása megöli őket, vagy annyira csökkenti életfolyamataikat, hogy azok többé ki sem mutathatók. A fiatal sejtek vize eléggé egyenletesen oszródik el a sejtek plazmájában, azaz nincsenek bennük nagy vakuolumok, mint az idősebb sejtekben. A növekedő növény állandóan vizet vesz fel és így pótolja azt, ami párolgás alakjában a légkörbe jut testéből, különösen a rendkívüli nagy felületű lombzat révén. A növény vízszükségletét a talajból fedezi gyökerei útján és a vizet folytonosan és állandóan a földfeletti tagokba vezeti. Ebben a vízben vannak oldva a növénytest építésére szolgáló tápláló sók. A víz, illetve a

vizes oldatok sorsát három fontos alapmozzanat jellemzi: A víz felvétele, távozása és vezetése (149. kép).

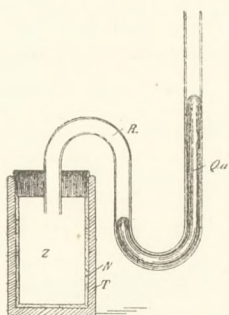
A víz felvétele, a dagadás és az átszivárgás (ozmózis) igen fontos fizikai jelenségeivel kapcsolatos. Dagadás az a tünet, amikor valamely szilárd test vizet, folyadékot szív magába és e közben belső üregek képződése nélkül térfogatát növeli. Különösen a hidrofiliás, vagy liofiliás (víz, illetőleg folyadék-szerető) kolloidális anyagok dagadnak és ezért a vízfelvétellel járó kolloidális térfogatnagobbodást nevezhetjük dagadásnak. A sejtfal, a plazma erősen dagadnak vízben és vizes oldatokban. A száraz magvak sejtfalai, a sejtek plazmája megdagadnak; a magvak térfogata és súlya nő. A kolloidák vizet vehetnek micelláikba és azok közé (intermicelláris víz). Kiszáradáskor a kolloidális testek és hártályák nem lesznek lukacsosak, hanem a micellák ismét záródnak. A kiszáradt, de még élő plazma mindíg köt vizet.

Számtalan nagy molekulásúlyú szerves vegyület erősen dagadásra képes, de ismerünk olyanokat is, amelyeknek dagadása határos. A sejtfal és a sejthártya az élet zavartalan körülményei között határolt vízfelületű rendszerek, azaz hamar eléri dagadásuk maximumát. Vízszívásuk mértéke először nagy, később mindinkább csökken. A felvett vízmennyiség egészen egyéni. A fasejtek falai súlyuk kétharmadát kötik meg, míg egyes moszatok és magvak, termések hártályai sokkal több víz felvételére képesek, de szilárdságuk mégis megmarad. Úgy viselkednek, mintha szilárd testek lennének. Természetesen kolloidkéimiai szempontból nincs is ebben semmi rendkívüli. Kolloidális dagadó, illetve oldódó képességük, gél-szol viszonyuk éppen kisebb terjedelmű. A plazma szol-alkotóképessége már sokkal nagyobb. A magvak és spórák levegőn száraz plazmája vízzel érintkezve elveszti szilárdságát és kolloidás oldattá alakul. Az élő plazma általában ilyen természetű, de részletei, amelyek sokszor a sejtszervezet jellegzetes tagjai, a szol-állapotból bizonyos körülmények között igen könnyen a gél-állapotba mennek át. Ez a szol-gél átalakulás nagyon sok külső és belső tényezőtől, közöttük a hidrogénion-koncentrációtól is erősen függ. A sejtfalakat alkotó cellulozán, pektinanyagokon és még számos más testen kívül a fehérjék is ilyen duzzadó testek. Mindezek a kolloidák a vizet bizonyos erővel (szívóerő) veszik fel. Eközben a kolloidális tömeg nyomást fejt ki (dagadásnyomás). Mindkét érték annál nagyobb, minél kevesebb víz volt a dagadó testben. A vizet párolgás, vagy szívóhatású, nem kolloidális anyagok (ozmózisos hatás) vonhatják ki belőle; a vízelvonás apasztja a dagadó testek térfogatát. Az állandósult sejtekben nagy víztereket találunk. A vízterek ozmózisos anyagai úgy hatnak a plazmára, hogy ennek dagadásállapota mindig egyensúlyban van a sejtnedv ozmózisos telítettségével. Ha a sejt nedvszívó ereje nő, a plazma dagadtsága csökken, viszont, ha a vízterek szívó ereje esik, akkor meg a plazma dagadtsága emelkedik. A plazma dagadásállapotát tehát minden víz-ingadozás érinti. Ez a megállapítás nagyon jelentős, minthogy bizonyos legjobb (optimális) dagadtság a plazma szabályos élettani működésének szükséges feltétele. A merisztémás (fiatal, osztódni tudó, víztereket nem tartalmazó) sejtekben a víz minden mozgása dagadásjelenség, nyomásuk dagadásnyomás, vízszívásuk is

főként a dagadáson alapszik. A csírázás legelső jelenségeit is dagadástünetek jellemzik. Később természetesen az ozmózisos duzzadási állapot is jelentkezik, minthogy sejtfaük növekedik, de protoplazmájuk tömege nem nő, ennél fogva az idősödő sejtekben valódi oldatokat tartalmazó vıztereknek (vakuolumoknak) kell keletkezniök. Az élő sejtben a plazma dagadtságának fokát a dagadásszívás és a vakuolum ozmózisos hatású anyagainak szívó működése között levő egyensúly szabja meg. A két szívó hatás egymással egyenes arányban van. Az eddig elmondottakból világos, hogy a víz felvételében rendkívül nagy szerepe van a dagadásnak. Sokkal fontosabb azonban ennél az a jelenség, amelyet ozmózisnak nevezünk.

Az ozmózisos jelenségek hatását a dagadással szemben az is jól jellemzi, hogy az ozmózisos szívó erő általában sokkal nagyobb, mint a dagadás szívó ereje, tehát a víz felvételében és bizonyos értelemben szállításában is sokkal nagyobb jelentősége van.

Terítsük például valamely színes só oldatát tiszta vízre, vagy fordítva. Az oldat részecskéi lassan, de biztosan egyenletesen osztođnak el a tiszta vízben. Azt mondhatjuk, hogy a víz, vagy az oldott anyag a nagyobb telítettségű helyekről a kisebbek felé vándorol és végtére teljesen egyenletes elosztódás, bizonyos egyensúly állapot keletkezik a keverékben. Ezt a folyamatot *átáramlásnak* (diffúciónak) nevezzük. Ennek a jelenségnek a dagadásban is elsőrangú szerepe van. Ha a két folyadékot általuk nedvesíthető, járható, dagadó, permeabilis hártya választja el, akkor a részecskék mozgása mindkét irányban megfelelően történhetik. Ez azonban csak akkor lehetséges, ha a permeabilis hártya mindkét anyag számára egyformán átjárható. A hártyákon keresztül történő diffúziót nevezzük ozmózisnak. Az éppen most említett esetben az ozmózis teljesen olyan eredményű lesz, mint az egyszerű diffúzió. Nagyon sokszor megesik, hogy a választófal a víz javára könnyebben járható, mint a tőle elválasztott oldat számára. Ebben az esetben



150. kép. A Pfeffer-féle mesterséges sejt. *T* agyagedény, *N* csapadékhártya, *Z* cukoroldat, *R* manométercső, *Qu* higanyszlop. (BENECKE-JOST nyomán.)

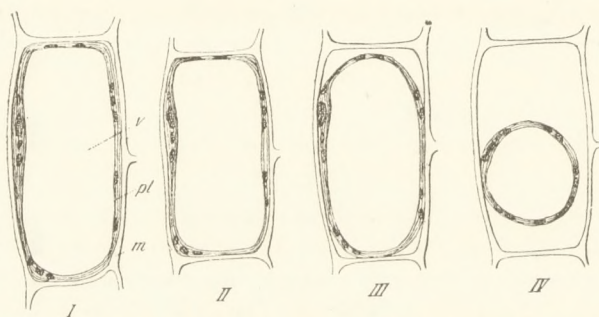
a víz gyorsabban áramlik az oldatba, mint ennek részecskéi a vízbe. Az oldat térfogata tehát erősen növekszik és benne túlnyomás keletkezik. Könnyű ábrázolni ezt a folyamatot a következő módon. Alul nyitott, harangszerű üvegedényt zárjunk el nedves cellofánnal. Az edény szájába gumidugó segítségével illesszünk egy egyenes, vagy könyökös emelkedésmérő csövet (manométert). Készülékünket töltsük meg bizonyos töménységű rézgálicoldattal és cellofános határával lefelé helyezzük az egészet tiszta vízbe. Hamarosan azt tapasztaljuk, hogy a manométer vízszlopa emelkedik, azaz a rézgálicoldat vizet szív magába. Később a mérőcső vízszlopa ismét süllyedni kezd; ez annak a jele, hogy a rézgálicoldat szívó ereje csökkent, azaz a határhártyán rézgálic is vándorol a vízbe, csak lassabban. Azokat a hártyákat, amelyek valamely oldott anyag nem tud átmenni (impermeabilitás), de a víz igen, félig át eresztőknek (szemipermeábilisoknak) nevezzük. Ilyen szemipermeabilis hártya

a rézferrocianát igen finom kolloidális csapadéka, amelyet rézszulfát és ferrocian-kálium oldatainak egymásra hatásával készítünk. A csapadékot agyag, vagy bármilyen kolloidális, de permeabilis hártára kell vinnünk, illetve edényünket ezzel a finom hártával kell kibélelnünk, hogy ily módon az úgynevezett Pfeffer-féle (150. kép) „mesterséges sejtet” kapjuk. Edényünket jól zárjuk és felső részén higanyos manométerrel kötjük össze. Ez az eszköz vízbe merítve kényelmesen méri a benne levő oldat nyomását. Ennek a jelenségnek éppen az említett finom hártá szemipermeabilitása az oka, mert a vizet áteresztí, de például az oldat cukorrészecskéit nem eresztí ki. Az előbb említettek alapján tudjuk, hogy a higanyoszlopnak emelkednie kell, azaz a behatoló víz munkát végez. A készülék (*ozmóméter*) és a víz között tehát bizonyos erő működik, amely vizet szív a mesterséges sejtbe. A *szívóerő* kezdetben nagy, majd kisebbedik, de nem azért, mintha cukor lépne ki a készülékből, hanem azért, mert a belső folyadék telítettsége csökken. Ennek következtében az időegységben felvett víz mennyisége folytonosan kevesbedik. A behatoló víz a manométer higanyoszlopát emeli, ezáltal a készülék belsejében levő folyadék nyomás alá kerül, ezt a nyomást az edény fala tartja egyensúlyban. Ez a hidrosztatikus nyomás a falnyomás. E nyomás nagyságát a manométer higanyoszlopának magasságával mérjük. A falnyomás arra törekszik, hogy az általa a fal minden négyzetcentiméterére ható erő vizet szorítson ki a készülékből. Ez az erő tehát az oldat vízszívó erejével ellentétesen működik. Értéke kezdetben nulla, de folytonosan emelkedik a víz behatolásával kapcsolatosan, végre eléri legnagyobb (maximális) értékét, amely ebben a helyzetben egyenlő a készülék vízszívó erejével. A hidrosztatikus nyomás útján tehát a készülék vízszívó ereje kényelmesen mérhető. Ezt az erőt nevezzük szívóerőnek és értékét kilogramm-négyzetcentiméterben, azaz atmoszféranyomásban adjuk meg. Bármilyen töménységű cukoroldat vízszívó erejét megmérhetjük, mégpedig úgy, hogy az ozmóméter vízbe merítése után annyi higanyt töltünk a manométerbe, hogy több víz már nem tud a készülék belsejébe hatolni és így a készülékben nagyobb nyomás már nem keletkezhetik, tehát ebben az esetben vízzel telített. Ezt a legnagyobb nyomást, amelyet tiszta vízbe helyezett készülékünk oldata kifejt, nevezzük az oldat *ozmózis* nyomásának. Mindezekből azonban nyilvánvaló, hogy a mesterséges sejt tényleges szívóereje az oldat szívó erejének és a falnyomásnak különbsége. A mesterséges sejt szívóerejét képletbe foglalhatjuk. Jelöljük a sejt tényleges szívóerejét k s betűvel, a sejtartalom szívó erejét pedig nagy S -sel. Ha a falnyomás jele nagy F , akkor $s = S - F$. Ez az egyenlet az ozmóméter minden állapotára érvényes. Ha $F = 0$, akkor $S = s$. Ha $S = F$, akkor $s = 0$, ha $S = 0$, akkor a sejt nem szív.

A növénysejt is nagyon hasonló berendezésű ozmózis rendszer. A plazmatömlő, vagy még inkább határhártája a félig áteresztő rétegnek felel meg. A sejt nedv pedig ozmózis hatású oldat, hiszen sok cukor, szerves sav, sok só stb. van benne oldva. Ezek az anyagok vagy nem tudnak átszivárogni a határhártán, vagy csak nehezen, míg maga a víz, az oldószer könnyen és gyorsabban átvándorolhat. A főleg cellulozéból épített sejtfa, miként az ozmózis készülék agyagedénye,

egyiknek sem áll útjában. A sejtfal megdagad és meg is feszül, ennél fogva a belső nyomás rugalmasan kifizetheti. Ha a sejt elégséges külső vízzel rendelkezik, akkor ez ozmózisos úton belejutva, addig nagyítja a sejt térfogatát, míg a sejtfal ellennyomása a térfogat további növekedését meg nem akasztja. Ebben az állapotban a sejt duzzadtságának, turgorának legnagyobb fokát éri el. Az ily módon keletkező belső nyomás, mely a sejt szilárd feszültségét okozza, az úgynevezett turgornyomás. Az ilyen duzzadt (turgescens) sejtnak, vizét veszítve (párolgás), csökken a térfogata. Ezzel kapcsolatban a sejtnedv ozmózisos hatói sűrűbbek lesznek. Az ilyen sejt ismét vízre téve szert, úgy működik, mint valami szívó; újra vizet szív magába és pedig annál erősebben, minél több vizet veszített előbb. A legnagyobb duzzadtságú sejtnak nincs szívó hatása. Teljes turgorcsökkenés esetén, amikor tehát nincs, helyette a sejben turgornyomás, szívóereje a legnagyobb. Ilyenkor a sejt szívó ereje azoknak a valódi oldatoknak ozmózisos nyomásával egyenlő, amelyek a sejtnedvben oldott állapotban vannak.

Ez a nyomás a plazmolízis érdekes jelenségével mérhető. Tegyük duzzadt sejteket (vöröshagyma leveleinek hámsejtjeit, az *Elodea*, *Vallisneria*-levél



151. kép. Fiatal sejtek különböző sűrűségű salétromsó oldatban: I tiszta vízben, II 4%-os, III 6%-os, IV 10%-os salétromsó oldatban. (DE VRIES nyomán.)

hámsejtjeit, egysejtű, vagy fonalas moszatokat) olyan oldatba, például nádcukoroldatba, amely nem tud áthatolni a protoplazma határhártyáján. A cukor a sejtől vizet szív ki, ha a sejtnedv ozmózisos ereje nem nagyobb, mint a cukoroldaté. Ebből is láthatjuk, hogy különböző kísérletekhez különböző telítettségű cukoroldatot kell használnunk. A cukoroldat szívóhatására legelőször is a sejtfal feszültsége

szűnik meg és ezzel kapcsolatban a sejt térfogata is csökken. A sejttest, tehát az egész plazmatömlő, folyamatosan kisebbedik és teljesen legömbölyödve, elválik a sejtfaltól, s mint gömbölyű hólyag lebeg az így támadt belső térben (151. kép). A plazmatömlő térfogata nem változik, ha sejtnedvének töménysége a plazmolizáló cukoroldatéval egyenlő. Úgyis megválaszthatjuk a plazmolizáló oldat töménységét, hogy ez a plazmatömlőt, különösen a sejtsarkokban, a sejtfaltól éppen csak elválasztja; ez a jelenség a határplazmolízis. Ebben az esetben a külső oldat telítettsége nyilván a sejtnedv ozmózisosan ható anyagainak töménységével egyenlő. A különböző cukoroldatoknak ezt az ozmózisos nyomását légköri nyomással mérjük és ismerjük is. Ezen a módon kényelmesen megállapíthatjuk a sejtekben uralkodó nyomás fokát, vízzel való telítettségük esetén. A határplazmolizáskor mutatózó ozmózisos nyomás nyilván annak a szívó erőnek felel meg,

amelyet a sejt éppen lankadt, nem feszült állapotban fejt ki, azaz, ha például 0.2 molos cukoroldat éppen kiváltja a határplazmolízist, akkor ezzel az oldattal egyenlő szívóerejűnek, izotóniásnak kel a sejtnedvnek is lennie, azaz ozmózisos értéke szintén 0.2 mol. Az egy liter vízben egyenlő gramm-molekula súlyt tartalmazó különböző anyagi összetételű oldatok (ekvimolekuláris oldatok) azonos (izotóniás) hatásúak. A disszociált oldatok azonos töménység esetén nagyobb ozmózisos értékkel rendelkeznek, mint a csak molekuláris oldatok.

A plazma nem mindig olyan símán válik el a sejtfaltól, mint azt most vázlatosan szemléltettük, hanem sok finom fonállal függ össze a sejtfallal. A plazmolízisnek sok érdekes alakja ismeretes. A plazmolízis tiszta víz segítségével ismét megszüntethető (deplazmolízis), mert az élő plazma nem veszíti el szemi-permeabilitását, míg a megölt plazma igen és ilyenkor például a színes sejtnedv (pl. céklarépában) kilép a plazmából. A sejtnedv töménységének mérését legtöbbször nádcukor-oldatokkal végezzük. Régebben szívesen használták a kálsalétromot. Ezt az anyagot azonban most már nem alkalmazzuk olyan gyakran, mert könnyebben átjárja a plazmát, mint a másik oldat. A sejtek ozmózisos értékei igen különbözők; a gyökerekben 5.5—11 atm., a szárképletek sejteiben sokkal nagyobb. Az egyes szövetek ozmózisos értékei között is nagy különbségek észlelhetők: a bükkfa lomblevelének fonákhámsejteiben 13.7 atm., a szivacsos parenchimában 21.1, a paliszádparenchimában 37.6, a pusztai, sivatagi, vagy a töményebb sóoldatban élő tengerparti növényekben igen magas. Vannak gombák, amelyek tömény cukoroldatokban is tudnak élni. Ezek sejteinek ozmózisos értékei 100 atm. fölé emelkednek. A határplazmolízissal mért értékek ugyancsak a növényben is ingadoznak. Ezeket a változásokat külső körülmények is okozhatják, de periódusokat is megkülönböztethetünk; az élő növény levélszövetében például télen emelkednek az ozmózisos értékek. Az ozmózisos nyomás más fizokokémiai módszerei is vannak; ilyen például a kisajtott sejtnedv fagyáspont-csökkenésének mérése.

A t a l a j. A víz felvételének eddig tárgyalt általános alapvonásai minden további nélkül érvényesek azokra a növényekre, amelyek vízben élnek. A talajból történő vízfelvétel már sokkal bonyolultabb. A talaj vizét a talaj részecskéi kötik meg a hajszálcsovésség törvényei szerint; a talaj számos alkotó része még meg is dagad. A talaj vize szintén oldat, tehát a növényével ellentétes ozmózisos hatású. A talaj vízkötő természete nagyon különböző és a megkötött víz mennyisége főként a talajrészecskék nagyságrendjétől függ. A meg nem kötött víz részben elpárolog, részben pedig a fenékvízhez csatlakozik. A nagyon finom, többé-kevésbé már kolloidális nagyságrendű agyag (0.002 mm) igen sok vizet köt meg, míg a durva agyag, homok, kavics stb. keveset. Ha a meg nem kötött vízből nem lesz fenékvíz, akkor mocsaras talaj keletkezik. Ez a talaj, mivel kevés levegőt tartalmaz, sok növény életére nem kedvező. A talaj víztartalma nemcsak a csapadéktól, hanem — különösen esőtlen időszakokban és helyeken áll így a dolog — a felszivárgó fenékvíztől is függ. A talaj oldatai, hajszálcsovéssége, duzzadó képessége megkötik a vizet. Ezek ellen az erők ellen kell a növénynek dolgoznia

még nagyobb erővel. A magasabbrendű növények gyökérzete szolgálja ezt a célt. A víz felvételét csakis a gyökerek bőre (116, 117, 118, 152. kép) végzi. A föld feletti szervek bőrének (epidermisz) kutikulája eléggé akadályozza a víznek levegőből való felvételét, de a növény tud így is vizet venni, csak nem elegendőt. A fiatal gyökeret alakja, bőrének finom szerkezete nagyon alkalmassá teszi a víz felvételére. A talaj vize finoman elosztott. Ilyen a gyökérzet is, s különösen a rendkívül finom alkotású és végredményben igen nagy felületű gyökérszőrök teszik a gyökérzet egész felületét rendkívül nagygyá. A gyökérzet szívóereje igen tetemes



152. kép. A gyökér bőréből (e—e) gyökérszőrszál (h—h) nyúlik a talajszemcskék közé, amelyeket víréteg (α, β) vesz körül. A szemcskék között levegő van (γ, θ). (BENECKE—JOST nyomán.)

és még a száraznak tetsző, tehát nagy szívó erejű talajból is tud vizet venni. A sivatagok növényeinek sejtmedvei nagyon telítettek, szívóképességük is igen erős. A nagyon száradó és kiszáradt talaj szívóhatásait a növény szívó ereje többé már nem tudja legyőzni és ekkor a növény lankadni kezd. Sok növény víz-szükségét a levegő vízgőzéből fedezi. A vízgőz harmat alakjában csapódik a levelekre; ezt a vizet vízszívó készülékek, vagy maga az epidermisz szívja föl. Sok tehernövény (epifita) így értékesíti az esővizet is.

A tápláló sók felvétele.

Eddig a felvett vízre vetettük tekintetünket; a következőkben a vízben oldott tápláló sók felvételével foglalkozunk.

A növények bőrsejtjei csak oldatok alakjában tudják felvenni a tápláló sókat, de a növények testébe csak olyan sók juthatnak, amelyekkel szemben a plazma permeabilis. A plazma ellenállása, impermeabilitása az egyes anyagokkal szemben egészen különböző. A tápláló sóoldatok kiscukú töménységének is jelentősége van; egyébként a plazma átjárhatósága sem állandó. E tulajdonságát külső körülmények is megváltoztathatják, például a hő és a fény. A plazma átjárhatósága még víztartalmától is függ és vegyi anyagok is nagyon hatnak rá. A lúgos föld-fémek (pl. a kalciumion) erősen csökkentik bizonyos anyagok bejutását. A lúgos fémek sói saját maguk elől zárják el az utat, minthogy sok esetben a plazmát igen erősen megdagasztják, azaz a plazma impermeabilitását saját maguk kárára emelik. A hidrogénion-koncentrációnak is nagy a fontossága. A plazma maga sem egy-egy anyag áteresztés tekintetében sem; külső határhártyája és a vizek határfelületei is rendkívül fontos szerepűek. A plazmának az egyes oldatokkal szemben mutatózó szemipermeabilitását igen érdekesen festi alá válogató képessége. Ez a jelenség abban mutatkozik meg, hogy bizonyos növények környezetük, talajuk bőséges anyagaiból semmit, vagy csak nagyon keveset vesznek fel; ugyanazon a talajon egyik növény a kavasavat, másik a meszet, vagy a konyhasót

veszi fel inkább. A tengeri moszatok viszont a sokszor 3% konyhasót tartalmazó tengervízből mégis inkább az aránylag sokkal kisebb mennyiségben jelenlévő kálisókat veszik fel. Ismét mások meg a nagyon csekély mértékben jelenlévő jódsókat gyűjtik magukba. Sok anyag számára a plazma erősen permeabilis. Ebben az esetben ezek az anyagok addig diffundálhatnak a vizekbe, míg a sejtnedv és a közeg telítettsége kiegyenlítődik s ekkor az anyagvándorlás megszűnik. A növény azonban a felvett oldott anyagokat vízben nem oldódó anyagokká tudja átalakítani. Amikor ez megtörtént, már ismét különbség van a külső és belső telítettség közt és nincs semmi akadálya az anyag újbólvaló, folytatólagos felvételének. Innen magyarázható a jó felhalmozódása egyes tengeri növényekben. Ennek a raktározó képességnek az az alapja, hogy a növény a felvett anyagot oldhatatlanná, diffúzióra képtelenné teszi. A nem túl lassan behatoló anyagok átmenetesen plazmolizist okoznak. Alkohol, éter, klorálhidrát nagyon gyorsan átjárják a határhártyákat és a plazmát s ezért nem is követi behatolásukat plazmolízis. A metilénkék nevű szerves festék igen szépen mutatja a behatolás és raktározás folyamatát. Molekulasúlya elég nagy, de áthatoló képessége mégis tetemes. A vizekben lévő anyagok sok esetben kifelé vándorolni nem tudó, durvább nagyságrendű csapadékot alkotnak vele és innen magyarázható, hogy igen csekély töménységű oldataiban is megkékülnek a vizek. Az élő plazma nem vagy igen kevésbé festődik és nem is sérül meg, míg a holt plazma színeződése tetemes. Az újabb vizsgálatok nagyon sokat foglalkoznak, érthető okokból, az élő plazma festhetőségének kérdésével. Mindenesetre kiderült, hogy a citoplazma különböző módon és helyeken különböző festékeket tud felvenni és raktározza is őket anélkül, hogy ez a tény mindjárt halálos következményekkel járna. A felvett festék sokszor ki is mosható a sejtek sérülése nélkül. A sejtmag élve festése is sikerül bizonyos körülmények közt. A növénysejtek — áll ez az állati sejtek viselkedésére is — nem mutatkoznak egyformáknak. Az edények körül levő sejtek könnyen felvesznek savanyú festékeket, pedig általában a plazma határhártyája a lúgos festékeket ereszti át inkább. Számos elmélet foglalkozik ezekkel a nehéz és a szervek és sejtek belső berendezését nyomozó kérdésekkel.

A vizinövények szerveinek (leveleinek is) rendkívül finom elosztódása, nagy felülete azzal a ténnyel hozható összefüggésbe, hogy a vízben a tápláló sók és gázok telítettsége igen csekély. A növényplankton (lebegő mikroflóra) az édes vizekben, de még inkább a tengerekben, egész felületével a táplálék felvételét is szolgálja. A talajban gyökerező szárazföldi növények a talajnedv tápláló sóit veszik fel. A mesterséges víztenyészetekben megismert szükséges só sokszor elégséges, máskor pedig nagyon is csekély mértékben van a talajvízben jelen. Nagyon sok esetben nem is lenne ez a mennyiség elég a növény éltetésére. A növény azonban még a szilárd talajt is fel tudja tární; a gyökérszőrök ugyanis elég sok szénsavat választanak ki. A szénsavas vízben sok anyag rendkívül jól oldódik és így könnyen felvehető. A magasabbrendű növények gyökerei főleg, vagy kizárólag csak szénsavat választanak ki, de például a zuzmók csillámot és földpátokat is tudnak oldani, ami erősebb savak termelésére vall. A baktériumok és gombák

anyagcseréje gyakran termel hasonló erős hatású anyagokat. E tekintetben nem szabad elfelejtenünk, hogy a talajban rendkívül sok baktérium él; ők is a talaj élővilágának, az edafonnak tagjai. A talajban természetesen lehetnek vízben oldott szerves anyagok is. A zöld növények víztenyésztete, amely csak szervesen oldott anyagokat tartalmaz, azt bizonyítja, hogy a jellegzetes zöld növények ilyen szerves anyagokra nem szorulnak.

A víz távozása a növények testéből. A növénynek rengeteg vízre van szüksége. Ez a víz végigmegy a növények sokszor igen nagy terjedelmű testén és néha meg is kötődik benne. Minthogy a növény egyéni életének víz-szükséglete sokkal nagyobb tömegű, mint a teste, el is kell abból távoznia. A vízi növények, különösen az egysejtűek, vizüket elég könnyen cserélik, hiszen a felvétel és visszaadás ugyanabban a közegben (tengervíz, édesvíz) történik, míg a szárazföldi növények vízvételét általában a talajban kezdődik és kiadása a légkörben esik meg. A víz távozása párolgás (transzpiráció) és csepegés (guttáció) révén valósul meg.

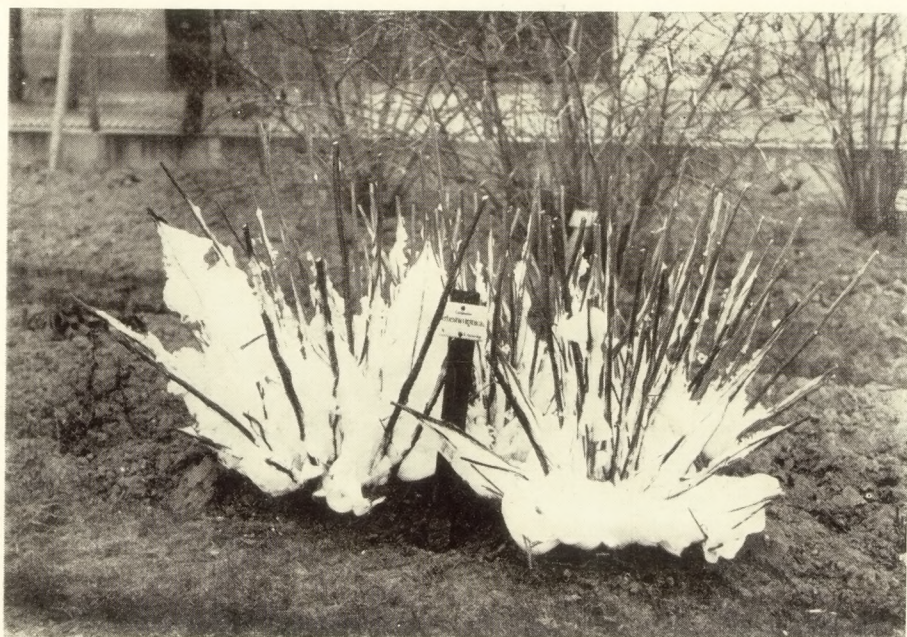
A növényben állandó és összefüggő vízáram folyik. Ez az áram a levegőbe a párolgás útján jut első sorban. A vízgőz párolgásának főszervei a lombszelevek.

A lombszelevek ebbéli működése nagyon jelentős. A levelek sokszor erős, nem vizesedő, tehát a víz részére nem jól járható kutikulát hordanak felületükön (epidermiszükön). A lombszelevek bőrszövete igen érdekes berendezésű (159. kép). A bőrsejtek között általában szabályos ismétlődésben kisebb, páros, sejt közötti járatot körül fogó, két zárósejtből álló levegőnyílásokat (100. kép) találunk. A két zárósejt közötti rést légrésnek nevezzük. Ezek a légrések engedik ki a vízgőz legnagyobb részét. A légrések a levél jól tagozott sejt közötti járatrendszerének kivezető nyílásai. Ezeket a járatokat a levélparenchima sejtek vizes falai bélelik ki; ezek a falak tehát a növényi párolgás főhelyei. A légrések leginkább a lombszelevek fonákján helyezkednek el. A zárósejtek turgora ingadozó; duzzadnak és lankadnak. Lankadásukkor záródik a légrés, duzzadásuk pedig nyitja azt. Duzzadásukat az okozza, hogy az ozmózisosan hatékony anyagok felhalmozódása vízszívó erejüket a környező segédsejtekkel ellentétben növeli és így a légrés megnövekedik, tágasabb lesz. Ha a zárósejtek turgora csökken, akkor a rések csukódnak. Ez a mozgás inger-



153. kép. A párologtatás kimutatása kobalt-papirossal. Ha valamely levél mindkét oldalára kobalt-papírt darabot helyezünk és az egészet két üveglemez közé tesszük, úgy a papíros kék színe a levegőnyílásokkal bíró oldalon megváltozik. (PFEFFER nyomán, WARMING—JOHANNSEN könyvéből.)

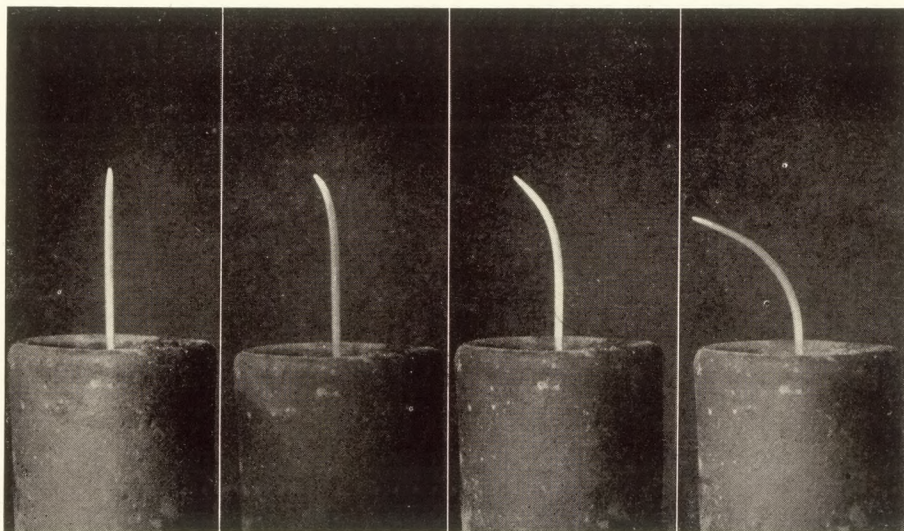
mozgás is. A leírt mozgást a zárósejtek alakja és fala teszi lehetővé és a melléksejtek sokszor szintén együtt működnek velük. A vízen úszó levelek zárósejtjei a levelek színén helyezkednek el. Igen könnyen igazolható a zárósejtek és a sejt közötti járatok párologtató szerepe. Erre a célra igen alkalmas a kobalt-klorid ($CoCl_2 + 6H_2O$) nevű, száraz állapotban kékszínű só. Ennek a sónak ötszázalékos pirosszínű vizes oldatába merítsünk jobb minőségű szűrőpapírt.



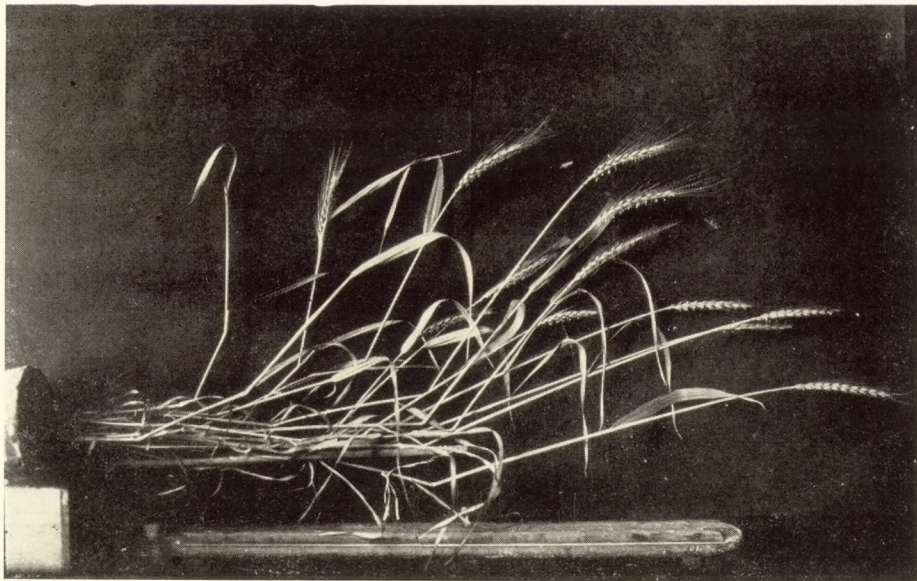
1. kép. A *Verbesina virginica* lemetszett tövei a budapesti egyetemi botanikus kertben.
A felrepedt szárazon kitóduló víz az éj folyamán (november 30) hóvá fagy.
(ANDREÁNSZKY G. br. fényképe.)



2. kép. Sűrűn (csövestől) vetett kukoricaszemekből kikelt fiatal növények, amelyeken
a víz cseppek alakjában válik ki. (ANTOS M. fényképe.)



1. kép. Sötétben nevelt zab-koleoptila fototrópos görbülésének fokozatai egyoldalú megvilágítás következtében. (PAÁL Á. nyomán.)



2. kép. Cserépbe ültetett búzatő, amelyet vízszintesre fektettek. Néhány nap alatt a szárak felfelé görbülnek a bütykökön. A legfiatalabb leghamarább foglalja el a függőleges helyzetet. (SZABÓ nyomán.)

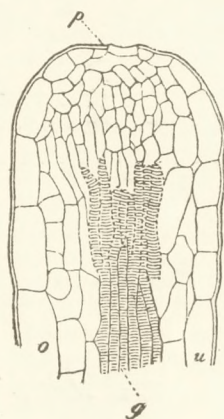
Átitatása után szárítsuk meg; az így készített papír kékszínű. Helyezzük a papírt üveglemezek közé még pedig úgy, hogy egy lomblevelet is közbeiktatunk. Hamarosan tapasztaljuk, hogy a lomblevél fonákja megpirosítja a kobaltpapírt. Ebből pedig az következik, hogy itt a fonákon, ahol a zárósejtek helyezkednek el, párolog leginkább a levél (153. kép).

A növénynek párologtatnia kell. Ha a levegőben sok a vízgőz, akkor a növények párolgása csekély és fordítva, minél szárazabb a levegő, annál fokozottabb a transzspiráció. A hőmérséklet emelkedése a légkör vízfelvevő képességét és így a növényzet párolgását is fokozhatja. A fény kinyitja a légréseket; ez is hatásos tényező tehát a növények párolgásában. A szél is állandóan eltávolítja a levelek gőzburkolatát és magukat a leveleket is szárazabb levegő helyekre ingatja, fújja. A növények igen sok vizet párologtatnak. A napraforgó naponta egy liter vizet párologtat; egyetlen magányos nyírfa 60—400 litert, egy hektár bükkös 20.000 liter vizet párologtat naponta. A párolgást nemcsak külső tényezők, de belső okok is meghatározzák. A nedves helyek növényei (hidrofiták) igen erősen, a száraz talajon élő növények (xerofiták) kevésbé párologtatnak. Az utóbb említett növények számos olyan berendezéssel rendelkeznek, amelyek a párolgást csökkentik (vastag kutikulájú külső bőrsajtfaik vannak; szőrzet és pikkelyek takarják lombleveleiket és testüket, gázréseik mélyesztettek, lombleveleik sokszor hiányoznak, illetőleg átalakultak, vagy egészen kifelületűek stb.).

A levegő sokszor nagyon tele van vízgőzzel. A növény ilyenkor alig tud párologtatni, hanem e helyett cseppek képződnek rajta, amelyek a légrésekből, vagy pedig különösen széles víznyílásokból (a hidatódákból) törnek elő. Ezek a nyílások a levelek csúcsán, vagy a levelek fogazatán helyezkednek el és nagy vízcseppeket választanak ki (IX. tábla 1. kép, 154. kép). Ismerünk víz-kiválasztó szórképleteket is. Az elpárolgó vízcsepp nyomán sokszor szilárd anyag marad vissza.

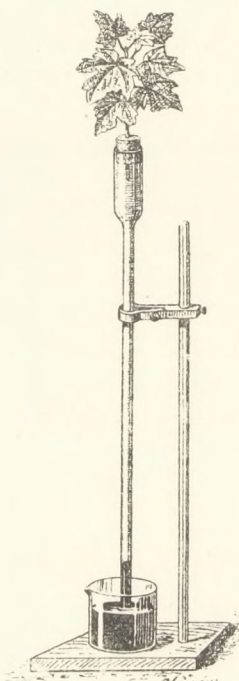
A párolgás nagyságát mérleg segítségével, a kísérleti növény súlyvesztéséből állapíthatjuk meg vagy pedig miként ezt képünk részleteiből és magyarázatából kitűnik, olyan berendezéssel, amely a párolgás negatív nyomása következtében után-szívott vízmennyiséget tünteti fel (155. kép).

A víz vezetése. A gyökerek vizének a levelekbe kell jutniok. Ez az út sokszor jelentős távolságú és emellett elég sebesen kell a víz vezetésének történnie. Az alacsonyabbrendű, nem erősen differenciált testű növényekben a vizes oldat vezetése egyforma sejtekben történik. Ez a vízvezetés a közbeeső sejtfa-
lak miatt elég nehéz feladat és éppen ezért már a moszatok és a mohák testében is találunk külön vízvezető pályákat, amelyekben hosszabb sejtek helyezkednek el. A magasabbrendű növényekben a vízvezetés leginkább az edénynyalábok farészé-



154. kép. A *Primula sinensis* levélfogának metszete, melynek csúcsán látszik a víznyílás (p), amelyhez tracheidák (g) vezetnek. Kétoldalt látható a levél szívének (o) és fonákának (u) bőrszöveve. (DE BARY nyomán.)

nek csöveiben, a tracheákban és a tracheidákban történik. Ezek a pályák át- meg átjárják a növény egész testét és a levelek ereiben, illetőleg ezek összefüggő (anasztomizáló) hálózatában igen finoman elágazó és mégis összetartó rendszerre alakulnak. A növénytest többi sejtjei a levelekben, a szárképletekben és az egész gyökérzetben is összeköttetésbe jutnak az edénynyalábok vezető elemeivel. A vezető



155. kép. A növény párologtatásának bemutatása. A vízzel telt üvegcső felső végére illesztett növényből elpárologtatott víz mennyiségét az alulról benyomuló higany mennyisége mutatja. (BELZUNGnyomán.)

elemek és a sejtek falain jobban járható helyek is vannak, amint azt a sejtfalak vastagodásának ismertetéséből tudjuk (37. old.). A fiatal gyökér tenyészőcsúcsa táján lévő gyökérszörszálaktól sugaras irányban a parenchima sejteken át a középonti henger felé, növekszik a növény szívóereje. Ezen a pályán a gyökérszöröktől felvett víz sejtől-sejtre, a vezető rendszer felé szívódik. A víz az edényekbe kerül, amelyek már keletkezésükkor vízzel vannak tele. Az edényekben a víz a levelek végén lévő edényvégződéseig jut, tehát felfelé halad. A vízpályákból a víz a szárképlet környékező sejtjeibe is bekerül és pedig most is szívás következtében, minthogy az oldalsó szövetekben a sejtek szívó hatása a vízpályáktól távolabbeső részekben növekedik és pedig kifelé is és befelé is. Ha a növények nem párologtatnának, akkor az élő sejt hamar elérné legnagyobb duzzadtsága fokát és ennek következtében a sejtek szívása megszűnnék. A levelek parenchima sejtjei vizüket párologás útján leadják, tehát turgoruk csökken és szívóerejük nő. Így kívülről az edénynyalábok felé fokozatosan csökken a szívóerő és erre ellenkező irányú vízáramnak kell felelnie, amely a közvetlenül párologtató sejtek telítés-vesztését fedezi. Ez a jelenség állandó, tehát az edények megfelelő vízszállítása, vízáradása is ilyen. A párologtató sejtekben összefüggő vízfonalak függeszkednek, amelyek az edényeken át és ezeken belül is egészen a gyökerek csúcsáig érnek (98. kép.) Az edények nem „végtelen” hosszúak és a fenyőfélék tracheidái is zárt elemek. A sejtfalak mindenütt vízzel vannak tele s így nem zavarják a vízoszlop folytonosságát.

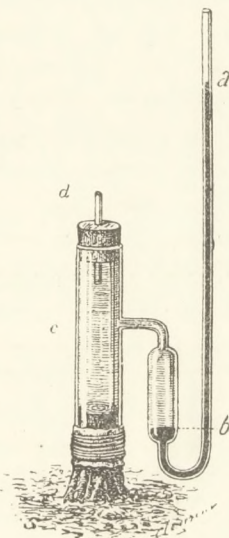
A párologás vezetésének főtenyezője, a levélparenchima-sejtek vízzel való telítettségének hiánya az említett vízfonalakat felhúzná a következő körülmények között. A vízvonulatoknak valóban összefüggő, légbuborékoktól meg nem szakított oszlopoknak kell lenniök. A víz belső összetartásának, kohéziójának olyan nagynek kell lennie, hogy még igen magas fáknak sem szabad a vízoszlopnak saját súlya alatt elszakadnia. A levelek szívóhatásának ezt a belső vízszilárdság okozta visszahúzó erőt, amely körülbelül egy atmoszféra tíz méterenként, és a magassággal növekedő dörzsölődés ellenállását is, le kell küzdeni. Ezek a feltételek nagymértékben teljesülnek. A levélsejtekben működő ozmózisos erők jóval nagyobbak, mint a gyökerek ozmózisos értékei. A víz belső összetartása rendkívül nagy.

Az összefüggő vízoszlopok kérdése nem mindig világos, mert az edényekben sokszor vannak légbuborékok. (A sejtfalak vízszívó és víztartó ereje ez a láncötrest nagymértékben kiegyenlíti.) E tekintetben a vízszállító elemek esetleges harántfalai sem jelentenek lényeges akadályt, legfeljebb a vízáram emelkedését lassítják. Az bizonyos, hogy a párolgó hajtások vizet és higanyt is tudnak emelni. Az emelés ereje lehet egy légkörnyomásnyi is.

A fák néha nagyon magasak és kételkedő szellemünk sokszor azt kérdezi, vajjon a sok jó és okos magyarázat, amely végeredményben ilyen egyszerű kérdést szolgál, mint aminő a növények vízszállító ereje, talán nem is teljesen megnyugtató. Tényleg így is van. Ezért számbavesszük a szállító elemeket környező sejtek segítőmunkáját és a gyökérzet pozitív működését is.

A g y ö k é r n y o m á s. Ez a működés, ez a felfelé ható nyomás tavasszal, ősszel jól megmutatkozik. Ha megsebezük a növények törzsét és ágait, könnyű csordul belőlük. Különösen jól megfigyelhető ez a jelenség akkor, ha a növényeket éppen a gyökerek felett csonkítjuk meg, azaz, ha törzsüket levágjuk. A csonka törzsre gumitömlő segítségével Γ alakú üvegcsövet illesztünk, amelynek oldal-készüléke a nyomásmérő. Ezt az eszközt higany, a készülék többi részét pedig víz tölti meg. Az üvegedény felső, a csonkatörzs folytatását alkotó részét légmentesen zárjuk. A higanyoszlop emelkedik. Ennek okozója a gyökérnyomás. Ez a nyomás elég tekintélyes, de semmiesetre sem elégséges ahhoz, hogy magas fák vízszállításának problémáját megoldja és megmagyarázza. Késő ősszel a levágott növénytövekbe benyomott víz gyakran hóvá, jéggé is megfagy (IX. tábla, 1. kép és 156. kép).

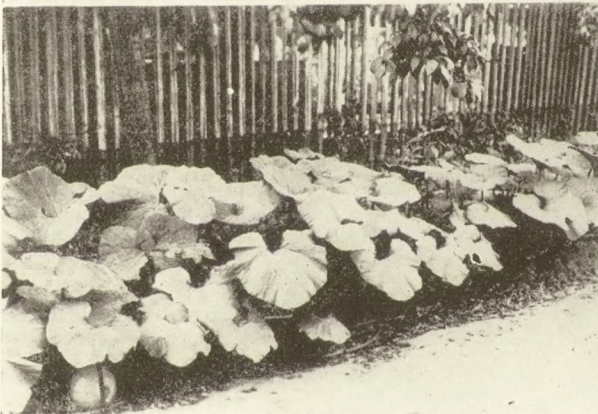
Azt a főkérdést, hogy hol emelkedik felfelé a víz, nagyon egyszerűen megválaszolhatjuk, mégpedig az úgynevezett gyűrűző kísérlettel. Vágjuk körül gyűrűalakban valamely fiatal fűzfaág kergét, szép fehér, síma fájáig. Azt tapasztaljuk, hogy a meggyűrűzött ág nem hervad el. Ellenkező esetben, azaz, ha úgy dolgozunk, hogy a fát belül finom műszerrel kifúrjuk, de kergét lehetőleg sértetlenül hagyjuk, hervadásnak indul az ág. Megtehetjük még azt is, hogy a farészbe híg, később megmerevedő zselatinát fecskendezünk; ekkor megint elhervad az ág. Ez a kísérlet azt bizonyítja, hogy nem a farész sejtfalaiban, hanem az edények nyílt belsejében áramlik a víz. A szárazföldi növények vízszállító farésze nagyon fejlett, de még itt is csak a fiatal évgyűrűk szolgálják a vízszállítást. Nyugodtan mondhatjuk, hogy a víz emelkedése a szíjácsban és nem a gesztben játszódik le. Természetesen itt olyan növényekről van szó, amelyek farészében ez a megkülönböztetés jól kivehető. A víz emelkedésének sebessége különböző;



156. kép. A gyökérnyomás mérésének egyik módja. A szőlő gyökérfejére illesztett vízzel telt edény (c) manométerrel kapcsolatos, amelyben a higanyoszlop két szintjének (ab) változása mutatja a gyökérnyomás mértékét. (BELZUNG nyomán.)

óránként 20—150 cm. A nagyon magas fák (az *Eucalyptus amygdalina* 150 m, a *Sequoia gigantea* 100 m, a fenyőfélék 75 m, a bükkfa 45 m magasak is lehetnek) vízszállító munkája rendkívül nagy.

A lankadás. A víz pótlása sok esetben nem elégséges és ilyenkor a levelek duzzadtsága csökken. A duzzadtság meg is szűnhetik (157. kép); ebben



157. kép. Töknövények levelei tűző napfényben lelankadnak az erős párolgás miatt (felső kép), de árnyékbajutáskor ismét felduzzadnak és merevekké lesznek (alsó kép). (Ifj. SZABÓ Z. felvétele.)

az esetben a levelek és a dudvás szár elvesztik merevségüket és lekonyulnak. Ez a szomorú lankadás sorsa, amely még akkor is kárát okozza a növénynek, ha nem teljes. A sejtnedv sűrűsödik, viszont az élő plazma dagadása csökken és ez a vízvesztés nagyon sokszor nem jól, vagy egyáltalán meg sem fordítható (irreverzibilis) folyamat. A már említett hidrofíták károsodása különösen nagymértékű lehet, míg a xerofíták ezeket a kényszerű állapotokat sokkal jobban tűrik. A mohák különösen jól viselik a kiszáradás terhét. A lankadást plazmolízis nem kíséri. A víz nagyon erős összetartása megakadályozza a levegőnek a sejterekbe való jutását; a sejtek zsugorodnak, sejtfaik megráncosodnak. Ez a lankadás nem mindig elhalásos jelenség, mint a hervadás, amely pusztuló szerveken (hajtások, levelek, virágrészek) a lankadás következményeképpen,

vagy pedig előregedés, mérgezés, megbetegedés miatt következik be.

A légkör táplálékai. A víz és a tápláló sók legnagyobb részt a talajból származnak. A levegőben is vannak azonban anyagok, amelyek nélkül a növény nem élhet s ezért ezeket is táplálékoknak nevezzük. Ezek az anyagok a széndioxid és az oxigén, míg a levegőben levő rengeteg szabad nitrogént a növények nagy része nem tudja felhasználni. A vizinövények az oxigént és a széndioxidot a vízből nyerik. Mindkét gáz jól oldódik vízben, sőt a víz levegője több

oxigént tartalmaz, mint a légkörbeli. Sokszor nem is gondolunk a víz, a tenger növényéletére, pedig a tenger növényeinek élete és tömege (a fitoplanktonról van itt elsősorban szó) minden képzeletet felülmúl. Ehhez képest a szárazföld vegetációja csak nagyon szegényes és „szórványos“ jelenség. Az oxigén hiánya következtében a növény életműködése hamarosan szünetel. Az oxigénszükséget könnyen megértjük, hiszen saját tapasztalataink tanítanak arra, hogy nekünk is és általában minden élőlénynek szükségünk van erre a gázra. Másként áll a dolog a széndioxiddal. Könnyen készíthetünk víztenyészeteket és nem kell a táplálékoldatokba semilyen szénvegyületet tennünk és mégis kitűnően tenyésznek benne a zöld növények. Égetésük nagyon sok szén jelenlétét bizonyítja. Nem marad más hátra, fel kell tennünk, hogy a zöld növények szénkészletüket a levegőből nyerik. A levegő literje csak 0.3 cm^3 (0.03 térfogat%) széndioxidot tartalmaz. A zöld növényeket zárt készülékekben jól tenyészthetjük, ha levegőt bocsátunk a műszeren át. A kikerülő gáz vizsgálata azt bizonyítja, hogy a levegő széndioxid tartalma csökkent, sőt teljesen eltűnt. Különösen akkor jutunk feltűnő eredményekhez, ha kísérletünket teljes napfényben végezzük. A magasabbrendű zöld növények nem zöld részei, amilyenek a gyökerek, továbbá például a gombák, nem nyelnek széndioxidot. Ha az előbb említett készülékben tartott és fényben nevelt zöld növény széndioxidmentes levegőt kap, akkor hamarosan megállítja növekedését és szárazállományának gyarapodása is teljesen megszűnik. Ezek szerint tehát a levegő széndioxid tartalma a zöld növény szénigénylésének egyedüli forrása, nélkülözhetetlen tápláléka. Akármilyen kevés is a levegő széndioxidja, mégis elégséges a növényélet teljes megtartására. A talaj, vagy a táplálékoldatok esetleges szerves szénvegyületei a levegő szabad széndioxidját nem pótolják. A levegő széndioxidját feltétlenül a zöldszínű képleteknek, főként a lombleveleknek kell megkapniok.

A levegő és a széndioxid a bőrsejteken, különösen pedig a légréseken jut a sejtközüti járatokba. Ezt a két fontos gázt csak azért tudja felvenni a növény, mert mindkettő oldódik a sejtfalak és a plazma vizében; itt is diffúzióról van tehát szó. Szerencsére a sejtfalak többé-kevésbé mindig tele vannak vízzel. A kutikula víztartalma kevés, ennél fogva a gáz felvételnek nem alkalmas útja, sőt, erős ellenállást jelent, de mindemelllett nem teljesen áthatolhatatlan. A levelek légrései és a szárképletek lenticellái, a sejtközüti járatokkal összefüggő és jól működő gázutak. A vízi, különösen pedig a mocsárlakó növények testében igen fejlett a gáztartó sejtközüti rendszer. Az alámerült növények ily módon belső légkörhöz jutnak és ezzel a légkörrel a sejtek élénk gázcserét bonyolítanak le. Ez a belső légkör diffúzió útján a növény környezetével, tehát a vízzel, lassú, de folytonos érintkezésben van. Sok vizinövény leveleinek nincsenek légrései, de eléggé nedvesedő, igen vékony kutikulájuk és nyálkásodó sejtjeik lehetségessé teszik az átszivárgást. A gázok áthatolása tehát főként a sejtfalakat átítató víz útján történik. A széndioxid gyorsabban hatol át a kutikulán és a sejtfalon, mint az oxigén. A gázok sejtről-sejtre és a sejtközökbe diffúzió útján jutnak. A légrések, ha nyitva vannak, nagyon támogatják, de zártan akadályozzák is a széndioxid

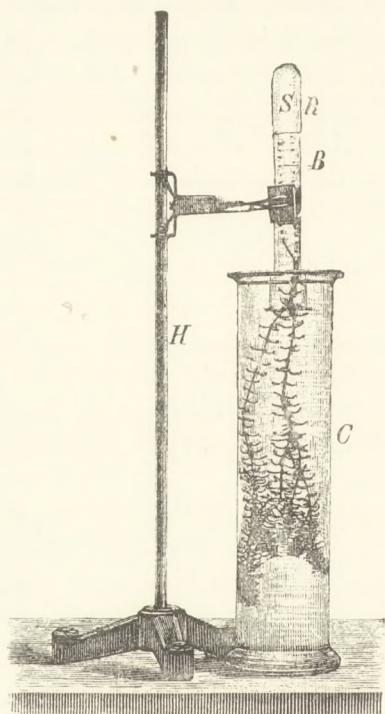
felvételét. A légrések kicsinyek, de számuk és felületi sűrűségük igen nagy. Ez a tény gyors vízgőz-, illetve gázcserét biztosít. Az idevonatkozó kísérletek pl. bebizonyították, hogy a *Bignonia Catalpa* lombleveleinek négyzetmétere mintegy kétharmadrész annyi széndioxidot abszorbeál, mint egy négyzetméter felületű, a szabad levegővel érintkező 3—10% nátronlúgoldat.

*

A mondottak remélhetően elég jól megvilágították a növények számára szükséges víz, illetve vizes oldatok és gázok felvételét, valamint vezetését. A zöld növény ezekből az anyagokból növekszik, él és szaporodik. A növekedő, szaporodó növény folyton építi, alakítja testét, tehát a szükséges anyagokat folyamatosan fel kell

vennie és azokat saját testévé kell átalakítania. Ez az asszimiláció mindennél fontosabb. Az asszimiláció fogalma végeredményben azt jelenti, hogy a felvett anyag a növény testévé alakul. Ilyen folyamat, ilyen nélkülözhetetlen és állandó tünetény a zöld növény széndioxid asszimilációja, amikor a szervetlen szénsavból ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$) szerves szénvegyületek keletkeznek.

A széndioxidasszimiláció. A zöld növények szárazállománya víztenyészetben növekedik. Tudjuk, hogy ennek az állománynak fele szén. Széntartalmú vegyületeket nem alkalmaztunk a víztenyészet sói között, de ezt a levegő széndioxidja nélkül hiába is tettük volna. A zöld növény ezt a légköri szenet a napfény energiájának segítségével szőlőcukorrá és keményítővé dolgozza fel. A növény széndioxid asszimilációja a víz felhasználását is megköveteli és a növény asszimilációs munkája közben oxigént is (O_2) szabadít fel. A szőlőcukor számtalan sejtben mindenütt könnyen kimutatható, de, mint-hogy az egész folyamat a klorofillszemekben játszódik le, ott is keresendő. A klorofillszemekben nagyobb mennyiségű szőlőcukrot nem igen találunk, mert ez részben mindjárt tovább vándorol és alakul, s belőle a széndioxidasszimiláció első látható, jóddal könnyen kimutatható terméke, a keményítő keletkezik. A keményítőből vegyi úton igen könnyű malátacukrot és ebből szőlőcukrot készíteni.

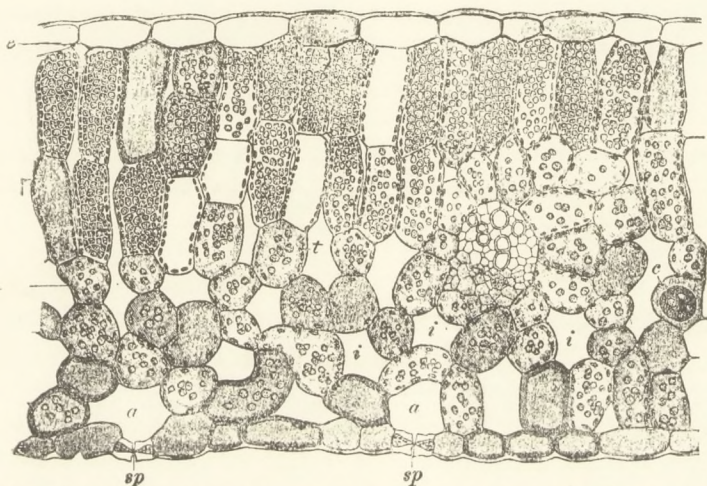


158. kép. A vízinövény oxigénfejlése napfényen. C vízzel telt üveg-henger belé helyezett hinárággal; R próbacső, amelynek vizében napfényen oxigénbuborékok (B) szállnak fel és a cső csúcán (S) összegyűlnek. (NOLL nyomán.)

Ezek alapján nem nehéz elképzelnünk a keményítőképződés folyamatát sem. Két molekula szőlőcukor egy vízmolekula kilépése kíséretében malátacukorrá alakul.

Némely növény (*Gladiolus*, jácint, hagyma) lombleveleiben nem keményítőt, hanem csak cukrot készít. (Cukros levelek.) A keményítősejtek sem használják el a szőlőcukrot egészen, sőt az csak kisebb mértékben alakul át keményítővé, azaz a zöldszínű sejtekben, az asszimilációs keményítő mellett, amely a klorofill szemekben helyezkedik el, a sejt egyéb helyein is kimutatható szőlőcukor.

Egy térfogatrész széndioxid felvételére egy térfogatrész oxigén kibocsátása következik, azaz: $\frac{CO_2}{O_2} = 1$. Ezt a hányadost a széndioxidasszimiláció kvóciensének nevezzük. Az oxigén a sejt közötti járatokba szivárog és a levegőnyílásokon át a légkörbe jut (159. kép).



159. kép. A répa levelének keresztmetszete, *e* bőrszövet, *p* oszloposzövet, *t* gyűjtő tölcsérsejtek, *i* sejt közötti járatok, *a* a levegőnyílások mögötti járatok, *sp* levegőnyílás. A sötét sejtekben antocián van. (TSCHIRCH nyomán, v. ö. I. tábla 1. kép.)

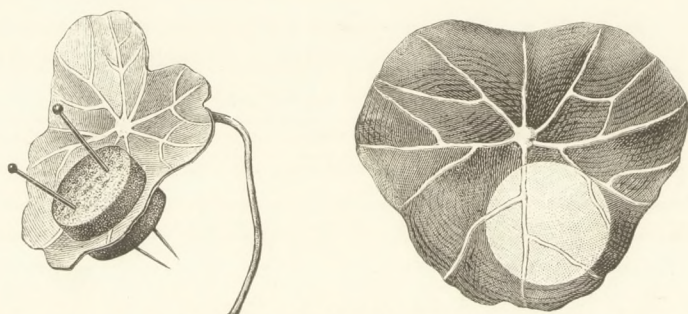
A vizenövények, különösen sebzett felületükön, erősebb fényben gázbuborékokat bocsátanak ki. A gázelemzés azt tanúsítja, hogy ezek a buborékok legnagyobbbrészt oxigént tartalmaznak. A gázbuborékok megszámlálása útján a széndioxid-asszimiláció energiájának nagyságára következtethetünk (158. kép).

A széndioxid a levegővel együtt a légréseken át jut a lomblevelek sejtjeibe és a mindenütt jelenlévő vízben oldódva, a levélszövet parenchima-sejtjeibe kerül. A levegőt kálilúggal pl. megfoszthatjuk széndioxidtartalmától kísérleti körülmények közt. A szárazföldi növények ez esetben elsatnyulnak. Ha a vizenövények vizét baritvízzel szénsavtalanítjuk, akkor megszűnik oxigénkiválasztásuk, azaz még igen erős fényben sem bocsátanak ki magukból oxigéntartalmú gázbuborékokat.

A széndioxid csak akkor tud a lomblevelekbe jutni, ha a légrések nyitva vannak. Szükség esetén még a növény lélekzéséből származó széndioxid is felhasználható. A vízben elnyelt szabad széndioxidot kiegészítheti az a széndioxidmennyiség is, amely a vízben oldódó, úgynevezett bikarbonátokból hasad le.

A levegőben nincs túl sok széndioxid. A légkörnek széndioxidtartalmát kísérleti körülmények között körülbelül 3%-ig emelve, a széndioxid asszimiláció fokát is tetemesen megnövelhetjük.

A széndioxidból, illetve szénsavból keletkező cukor képződésekor energia használdik el. Ezt az energiát a növénynek valahonnan nyernie kell. A közönséges tapasztalat és minden kísérlet azt bizonyítja, hogy a zöld növények csak akkor tudják a szabad széndioxidot asszimilálni, ha fényben élnek. Közelfekvő már most a gondolat, hogy a szőlőcukor keletkezéséhez szükséges energiát a napfény szolgáltatja. A levelekben maradt fényenergia mennyiségét különböző műszerekkel, például fényelektromos fotométerekkel jól megmérhetjük. A levelekben



160. kép. A keményítő kimutatása jóddal. A levél dugóval lefedett részén nem alakul keményítő fényhiány miatt, miéértis ez a rész nem színezhető jóddal. (OELS nyomán.)

a sugárzó energiának mintegy 30—80%-a marad vissza, de csak 0,5—6% használdik a széndioxid asszimilációjára. A lomblevélzet négyzetmétere óránként 0,5—1 gramm keményítőt termel. A fény erejének növekedése bizonyos fokig az asszimilációs energiát is emeli. A fehér napfény nem minden „színe” működik ebben a fotoszintézisben egyformán. A vörös színek hatása a legerősebb, valamint az azonos erejű kék színeké. Ezeket a színeket nyelik el a levél klorofillja és a mesterségesen is készíthető klorofilloldatok a legjobban. A klorofillszemecskék csak az élő plazmában tudnak dolgozni. (V. ö. 24. old.) A zöld növények klorofilltartalma szárazállományuk 0,5—1%-a. Legnagyobb mennyiségben a lomblevelek oszlopos szövetében vannak a kloroplaszták (I. tábla 1. kép). Ősszel a klorofillfesték zöld összetevői és a kloroplaszták elpusztulnak, míg a karotin és a xantofill nem, és főként ebből magyarázható más okok mellett a lombzat „őszi” színeződése.

Sokszor megkísérelték már az osztódni tudó kloroplaszták plazmánkívüli tenyésztését, de minden siker és a siker minden kilátása nélkül. A klorofillszemeket más sejtalkotó-részekből is szeretnők származtatni, de itt sincs teljesen biztos alapunk. A keményítő jó segítségével könnyen kimutatható. Ha napfényérte levelet leforrázzuk és belőle alkohollal a klorofillt kioldjuk, a levél keményítőtartalmát jódeakcióval kimutathatjuk. A sötétben tartott vagy éjjel leszedett levél, jóddal nem kékül, nem feketedik meg. Ebből nemcsak azt állapíthatjuk meg, hogy a keményítő a zöld levelekben csak nappal, illetve fényhatásra kelet-

kezik, de azt is, hogy éjjel elvándorol belőlük. Ez a felhalmozódás és eltűnés azt is jelenti, hogy itt az említett folyamatokon kívül még más bonyolultabb tényezők is közrejátszanak.

A széndioxidasszimiláció energetikája. Eddig az autotrófiás asszimiláció folyamatainak ismertetésében tekintetünket elsősorban a zöld, szárazföldi növények életére irányítottuk. A tenger és édesvizek tele vannak az egy- és többsejtű klorofilltartalmú, szóval a fotoszintézis alapján asszimiláló növényekkel. Rengeteg így asszimiláló kovamoszat él például a tengerekben; asszimilációs termékük zsíros olaj. A kovamoszatok, de más tengeri moszatok testében is, sokszor egyéb, klorofillfedőfestékek is találhatók. Ezek a festékek nem akadályozzák meg a vízben mintegy négyszáz méter mélységig lehetséges fotoszintézist, sőt talán azt fizikai úton segítik is. Sokat gondolkoztak és írtak a fedőfestékek szerepéről, anélkül, hogy teljes képünk lenne értékük felől.

Érdekes másrészt, hogy a baktériumok között is vannak autotrófiás szervezetek. Ilyenek a zöld és piros kénbaktériumok és a bíborbaktériumok, amelyekben nincs kén. A bíborbaktériumok festékei között vannak olyanok, amelyek a zöld növények klorofilltesteiben levő festékekkel közel rokonok. A vörös és zöld kénbaktériumok klorofillja szintén rokon a magasabbrendű növények zöld festékével, sőt, még a karotinoidákat is megtaláljuk bennük. Mindezek a baktériumok asszimilálják a szenet, de csak bizonyos anyagok jelenlétében. A kénbaktériumoknak e tekintetben szabad kénre, vagy oxidálható kénvegyületekre van szükségük. Nagyon érdekes, hogy ők is, meg a kénmentes bíborbaktériumok is, hidrogéntartalmú szerves vegyületeket, sőt szabad hidrogént is tudnak használni. Figyelemre méltó jelenség, hogy fotoszintézisük nem jár oxigén kiválasztásával, de széndioxid asszimilációjuk alapvonásai a jelenség mechanizmusát tekintve, nagyon megegyeznek a magasabbrendű növények fotoszintézisének vegyi folyamataival.

Tudjuk, hogy a széndioxid asszimilációja a fény hatására történő jelenség. A fotokémia alaptörvénye értelmében csakis azok a fénysugarak hatékonyak, amelyek az illető testben elnyelődnek (f é n y a b s z o r b c i ó). Ez a fénynyelés a széndioxid asszimiláció esetében a klorofill szemekben történik meg. Ezek segítik elő a fényenergiának vegyienergiává való átalakulását is. Az egész széndioxid-asszimilációt oxigén kiválasztása kíséri. Már ebből a tényből is nyilvánvaló, hogy az egész történésben a redukciók jelentős szerepűek. A folyamat minden jel szerint úgy történik, hogy a klorofill először hidrogént ad le. Ez a hidrogén a széndioxidot formaldehid és víz keletkezése közben redukálja. A klorofill már most valamilyen hidrogénadótól (donátor: H_2X), ismét hidrogént vesz át és e közben fényenergiát használ fel, mert enélkül nem megy a dolog. Természetesen az X felszabadul. A kénbaktériumok hidrogénadója H_2S is lehet, amint fentebb már említettem.

A magasabbrendű növények és moszatok hidrogénadója, donátora a víz, (H_2O) s ezért $X = O$ (oxigén).

E szerint tehát a magasabbrendű növények széndioxid asszimilációjában szabaddá váló oxigén nem a széndioxidból, hanem a vízből való.

A hidrogénadók (H_2S , H_2O) dehidrálsakor valószínűleg nem keletkezik azonnal tiszta kén és hidrogén, hanem először perszulfid (H_2S_2) és hidrogén-szuperoxid (H_2O_2). A kénbaktériumok „kén cseppjei” az újabb vizsgálatok szerint perszulfidok.

A szénasszimiláció feltételei. Amint ismeretes, a széndioxidasszimilációt különösen vízinövényeknek fordított helyzetben víz alá merített, levágott hajtásain tanulmányozhatjuk előnyösen és jól megfigyelhetjük, hogy a sebhelyen teljes fényben igen élénk gázbuborékáram száll felfelé, amely főként O_2 -t tartalmaz (158. kép). A gáz képződése kevésbé világos helyen tetemesen csökken. Az idevágó, nagyon alapos kísérletek eredményei arra tanítanak, hogy a fényenergiának fokozatos és lassú emelkedésével az asszimiláció fokozódása egyenesen arányos, de később az asszimiláció mértéke csekélyebb lesz, azaz a magasabb fényerők viszonylagos hatása kisebb, mint az alacsonyabbaké. Különösen az árnyéket kedvelő növényeken figyelhető meg az asszimiláció görbéjének ez az ellaposodása, mert ezek a növények a teljes napverő egytizedén már elérik asszimilációs maximumukat. Az árnyéklakó növények asszimilációjára a fény intenzitásának további emelése már nincs hatással, illetőleg ez a hatás negatív is lehet. A napverő növényeiben az asszimiláció foka mindig egyenesen arányos a fény mindenkori erősségével.

Az asszimiláció a fény minőségétől is függ. A napszínkép összetételére a nap magassága is hat, de az „árnyékfény” és a tenger mélységeibe jutó fény minősége is eltérő a teljes napverő színeképétől és ezért az asszimiláció ennek a színeképnek, illetőleg annak a színnek felel meg, amelyen keresztül éri a fény a kloroplasztákat.

A nem élő klorofillkivonaton áteresztett fény nem bontja a széndioxidot, de a szintelen leukoplasztákban és a csak karotint tartalmazó kromoplasztákban sem folyik le a széndioxid redukciója. A széndioxid bontása tehát csak az élő kloroplaszták festékeinek és az ezeket hordozó plazmatikus alapanyagának, a sztrómának egységében és épségében történhetik meg. Az is megfigyelhető, hogy a kevesebb klorofillt tartalmazó növények asszimilációjának mértéke sok esetben nem kisebb, sőt nagyobb, mint a dús klorofilltartalmú növényeké, sőt a kloroplaszták belső okokon nyugvó működése abból is kiviláglik, hogy árnyékban, illetőleg bizonyos színekpi helyeken nevelt növények kloroplasztái igen jól alkalmazkodnak a teljesítés foka tekintetében a feltételekhez; ez a jelenség megint arra vall, hogy itt szintén önszabályozó, tehát tisztán „életi” működésekkel állunk szemben.

A széndioxid mennyiségének emelése is erősen hat az asszimilációra és ma már egyáltalán nem kétséges, hogy a talajlélekezés és a nem mesterséges istállótrágyában élő baktériumok állandó széndioxid termelése, más hatóokok mellett, igen előnyösen serkentik az asszimilációt. Innen magyarázható a mesterséges, nem szerves tartalmú műtrágyák kisebb hatásfoka. Az asszimiláció alapvető élettani folyamat, ennél fogva optimumgörbéje a hőmérséklettől is függ. A maximum rendszeren $35-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ között van.

A fotoszintézis láncreakció, amelynek első tagja a széndioxidnak a növénybe jutása, a második pedig a kinetikus fényenergiának a klorofillszemekben történő átalakulása helyzeti, vegyi energiává. A reakció harmadik, sötét részében a fény sugárzó energiája már nem szerepel.

A levegő, a környezet széndioxid tartalma, a légrések nagysága, a klorofill-tartalomtól és a besugárzástól függő fényelnyelés, valamint a hőmérséklet határozzák meg az asszimiláció gyorsaságát, de természetesen itt is döntő fontosságú a minimum törvénye, azaz bármelyik tényező annál inkább hat az asszimiláció mértékére, minél inkább saját minimuma körül van. Az asszimiláció tényezőinek mindenkor minimumai tehát ezt az alapvető jelentőségű folyamatot minden esetben korlátozzák.

Az elsősleges asszimilációs szénhidrátok származékai. Az eddig tárgyalt széndioxidasszimiláció hatalmas szintézise a zöld növény életének egyik legfontosabb jellemzője. A széndioxid asszimilációja révén keletkezett szénhidrátok vagy egyedül, vagy más, a gyökerek útján felvett anyagokkal együtt szolgálják az egész növénytest megépítését. A növény kizárólag szénhidrátokból készíti a cellulózét. A cellulózét a plazma választja ki és ez az anyag a sejtfalak főalkotója. A sejtfal nem egységes szerves anyag, sőt, amint a sejt ismeretéből megtudtuk, sokszor szervesetlen berakódásokat is tartalmaz. Az úgynevezett hemicellulózék, valamint a különböző magvak sejtfalaiban található amiloidák is a cellulózéhoz hasonló származásúak. Ezek, akárcsak a keményítők, általában szintén kékszínt jódreakciókat adnak. A faanyag (lignin) a maga egészében nem ismert, de azt tudjuk róla, hogy vanillint, coniferint, aldehideket tartalmaz. Szénhidráteredetűek a gumi és a növényi nyálkák, valamint a zsírok is. A kutikula, a para zsírszármazékok. Számos más anyag, miként a cseranyagok, az antociánok, gyanták, illanó olajok, a kaucsuk, a karotinok szintén az első asszimilációs termékekből keletkeznek. Fontos alkotásai még a plazmának (a sejtfallal kapcsolatban) a pektinanyagok és a fekete fitomelánok (a fészkesek terméseiben). A kitin a gombák sejtfala; lúgokkal kitozánná alakul át, a kitozán pedig savakkal ecetsavat és glikozamint (nitrogéntartalmú glikozát) ad.

A talajból származó nitrogénnel és kénnel együtt a szénhidrátokból készíti a növény a fehérjéket, amelyekben tehát mindig van a szén, hidrogén és oxigén-elemeken kívül nitrogén, de sokszor kén és foszfor is. A növények nitrogénjüket a tápláló oldatokból, a talaj salétromsavas sóiból (nitrátok) nyerik.

A nitrogén asszimilációja. A nitrogén asszimilációjának alapjelensége igen valószínű a salétromsavnak, amelyet salétromsavas sók alakjában kap a talajból a növény, amóniákká való redukciója. Nagyon fontos az a megállapítás, hogy a nitrátok (tulajdonképpen a salétromsavról van itt szó) redukciójának semmi köze a szénsav asszimilációjához. Nem kell hozzá sugárzó energia. Kimondottan a sötétség folyamata a nitrogén asszimilációja s mint ilyen, a lélekzés szabad energiájának terhére történik. Ez az elsődleges energetikus jelenség a nitrátok redukciójában, illetve a nitrogén asszimilációjában. Fontos még tudnunk

a következőket: nitrátok redukciója mindenütt megtörténik, ahol úgynevezett aktív hidrogén és megfelelő erjesztők, enzímák vannak jelen.

Az aminosavak és peptidák. Az ammóniák az aminosavak építésében (aminálásában), amelyek tehát mindig tartalmazznak aminogyököt (NH_2), rendkívül nagy jelentőségű. Az aminosavak alapjában véve zsírsavak. A növények életében az aminosavak keletkezése legvalószínűbben például a szénhidrátok bomlásakor keletkező piroszölősav átalakulása, illetőleg ammóniák-felvétele révén valósulhat meg.

Az aminosavak mind édesek. Jegyezzünk meg egy néhány aminosavat; ilyenek a fenilalanin, a tirozin, a hisztidin, a triptofán. Kéntartalmú aminosav a cisztein és ennek származéka a cisztin. Az eddig megbeszélt aminosavakban csak egy aminogyök van. Vannak két aminogyökös aminosavak is. Ismerünk sok olyan aminosavat is, amelyek molekulájában egy aminogyök, de két karboxilgyök fordul elő. Névszerint az arginin, ornithin, lizin, aszparaginsav, glutaminsav, oxiglutaminsav, methionin (S), valin, norvalin, leucin, izoleucin, norleucin, citrullin ilyenek. A szerves világ, az élőlények fehérjéjét mintegy húsz aminosav alkotja. Ezek egyszerű kombinálódása a $2 \cdot 10^{18}$ horribilis számot jelenti. Ez a megjegyzés is rávilágít a szervezetek legfontosabb építőköveinek, a fehérjéknek hihetetlen sokféleségére és az ebből adódó meggondolásokra is. A növényekben előforduló sok aminosavból igen sokféle fehérje keletkezhetik. Fehérjéket nem tudunk készíteni és azt sem tudjuk, hogy hol van a fehérje keletkezésének biztos helye. Mindenesetre már a lomblevelekben is kell keletkezniök. Az aszparaginsavon kívül a glutaminsav is egyik legfontosabb tényezője a fehérjeképződésnek.

A fehérjék az életet hordozó anyagnak legfontosabb alkotói. A fehérjék, ha a sejtfalak anyagát nem tekintjük, számszerint is főrészesei a növények testének és pedig kettős alakban. Ezt úgy kell értenünk, hogy a növények testében mindig vannak többé-kevésbé nem változó, nem oldódó fehérjék, amelyek mint tartalékok szerepelnek, míg a kolloidálisan oldott fehérjék a sejtlelet „valódi” építőkövei. Rajtuk játszódik le az a sok, rendkívül bonyolult és a sejt életében mérhetetlenül fontos fizikai és vegyi folyamat, amelyeken a növénysejt belső üzeme nyugszik. Ilyenek a duzzadás, a lankadás, a diffúzió, az ozmózis, az elektromos jelenségek, a cserebomlások, az ioncserék, az ionok antagonizmusa, az enzimas folyamatok, az oxidáció és redukció. A fehérjék azonban nemcsak „gépi” alkotórészei a sejtnak, hanem az anyagcserében megvalósuló átalakulások, épülésük és teljes bontódásuk is szükséges a sejt üzeme számára.

A szénhidrátok és zsírok sokkal nagyobb mértékben raktározódnak a növényekben, mint a fehérjék. Ennek a ténynek az az alapvető és megkülönböztető vonása, hogy a növény a felesleges fehérjét hamar megfosztja jellegétől s az aminos csoportokat ammóniák formájában felszabadítja és a nitrogénmentes maradékot is ismét beépíti testébe.

A valóban fontos „élő”, kolloidálisan oldott fehérjék a proteinák, amelyek általában az albuminek, globuline, prolaminok és glutelinek csoportjaiba oszthatók.

A proteidek összetett fehérjetestek és a modern felfogás szerint a proteineknek más kolloidákkal való egyesülései (symplexei). Ilyenek pl. a nukleo- és glikoproteidák is.

Az élő sejtben aránylag kevés számú protein található. Ez az alacsony szám mindamellett nagyon megtévesztő, mert az egyes csoportok sokszerűsége szinte hihetetlen a kapcsolódások rendkívül nagyszámú lehetőségei miatt. A sokféle, úgynevezett immunizációs reakció is arra vall, hogy minden élőlény minden egyes sejt-fajának egészen sajátos (specifikus) fehérjei vannak.

Nem szabad azonban azt gondolnunk, hogy az így megadott és elképzelhetetlenül nagy változékonyság kimeríti a proteinek sokféleségét, mert azzal a körülménnyel is számolnunk kell, hogy az egyes sejtek fehérjei a sejt-fajták különböző fejlődésállapotaiban és betegségeiben is változnak.

A fehérjék eme rendkívüli változatosságának okát a fehérjék építésterve jól megvilágítja. A mai természettudományos kutatás fontos anyagai az úgynevezett nagypolimerizációjú szénhidrátok, aminők a már említett cellulóze, a keményítő, a glikogén stb. Ezeknek a hosszú és nagy molekulájú szénhidrátoknak nagyon bonyolult a szerkezetük, de mégis mindegyiknek van állandó alapszerkezete. Ezt egyetlen eddig vizsgált fehérjéről sem állíthatjuk. A fehérjéket is le tudjuk bontani katalizátor segítségével utolsó építőköveikig s ezek az építők mindig aminosavak. Az igaz, hogy majdnem mindig ugyanazok a különböző aminosavak jelentkeznek, de az egyes fehérjéket alkotó aminosavak számviszonyai nagyon különbözők. Egyesek esetenként teljesen hiányoznak, mások pedig bizonyos fehérjékben nagy túlsúllyal vannak jelen.

A proteinek közül csak nagyon kevés tartalmaz egy-két aminosavat és a legtöbb fehérjében az összes lehetségesek előfordulnak, de egészen eltérő tömegviszonyok és rendeződések szerint. Az egyes aminosavak egymás közt kettes, öttagú láncokká egyesülnek, amelyeket polipeptidáknak nevezünk általában. Ezek megint hosszú láncokká és bonyolult képződményekké egyesülnek. Ha már most pl. 15–20 aminosav kapcsolódik így egymással, akkor nemcsak az egyes savak neve, de kapcsolódásuk helyeződése is új vegyületeket hoz létre és az így keletkező proteinek mennyisége csillagászati szám.

Nincs semmi tudomásunk a felől, hogy hol keletkeznek a polipeptidákból a fehérjék. A fehérjék teljesen szabatos rendszerezése még mindig nem lehetséges, de azért mégis le kell röviden írunk őket. A tulajdonképpen való fehérjék, a proteinek vízben vagy sóoldatokban oldhatók. A proteinekhez tartoznak a kolloidálisan vízben oldódó albuminek. Ide tartoznak a gabonaszemek leukozinja és a hüvelyesek legumelinje.

A globulineket nem vízben, hanem csak híg sóoldatokban diszpergálódnak. A semleges sók bizonyos töménységű oldatai kicsapják őket. Ide sorozzuk a kender és a gyapot edesztinjét, valamint a mandula amandinját is. A növényekben fordulnak elő még a glutelinek is, valamint a prolaminek, amelyek kivételes tulajdonsága, hogy 70–80%-os alkoholban oldódnak. Ide sorozzuk a búza gliadinját, az árpa hordeinjét és a tengeri zeinjét.

Meg kell még emlékezni a már említett proteidákról is. A nukleoproteidák nukleinsavval egyesülve, különösen a sejtmagvak fontos alkotórészei.

Fontosak még a foszforproteidák, amelyek foszforsavat tartalmaznak. A foszfortartalmú proteidák elég jelentősek, mert nagy szerepük van a glikogén szintézisében (gombák), valamint a nukleotidák és foszfatidák építésében, azonkívül a legfontosabb sejtműködésekben, így a cukrok bontásában stb.

Az asszimilációs termékek vándorlása. Az asszimiláció termékei az asszimiláták. Kisebb mértékben keletkezésük helyén, főként a lomblevelekben használódnak el. A megmaradt mennyiség vándorútra tér. A vándorlás vonala elsősorban a széndioxidasszimiláció helyei és a merisztémás szövetek felé tart, ahol gyarapodik a plazma és élénken osztódnak a sejtek. A másik vonulat a széndioxidot asszimilálni nem tudó és állandósult sejtek felé irányul, az élet folyamán elhasznált anyagok pótlására. A vándorlás kanyargós útja még az ozmózisosan ható anyagok képződésének tájai felé fordul. Ez a szakadatlan vándorlás nem kerüli ki a raktározó helyeket sem, amilyenek a gumók, hagymák, tőkék, bélsugarak, a fák parenchimái és a magvak.

A kloroplasztákban keletkezett asszimilációs szénhidrát főként éjjel vándorol, mint cukor. Bizonyos helyeken cukorként használdik el, vagy pedig a tartalékhelyeken megint keményítő lesz belőle. Néha (átmenetileg) a bélben szintén keményítő lesz a cukorból. A gyökerek keményítő hüvelyében és a gyökérsüvegekben majdnem mindig megtalálható a keményítő (123., 124. kép). A keményítőnek cukorból való keletkezése már teljesen független a fény energiájától.

Nemcsak keményítő, de más nitrogénmentes anyag is felhalmozódhatik bizonyos szervekben. A vöröshagyma, a cukorrépa cukrot, a fészkesek inulint, a gombák glikogént raktároznak, sok magban (ricinus, len, kókuszdió) zsírt találunk; a datolya endospermiuma hemicellulóze tartalmú. A babban, a gabonaneműek magvaiban fehérje raktárokat találunk. Fehérjekristályok fordulnak elő a ricinus magvaiban és a burgonya gumójában.

A szerves anyagok vezetése főként a hancs rostacsöveiben történik. A faedények időnkint cukrot, tehát nemcsak vizet és szervetlen oldatokat is szállítanak. A meggyűrűzött ág sebe fölött torlódik a levelekből lefelé áramló szerves anyag; ez a folyamat vastagodásban nyilvánul meg. A dugványok metszés fölött való járulékosgyökér keletkezése is ezzel a jelenséggel függhet össze.

Az enzímák működése. Minden növényi építő és égő, (energiát adó) anyag csak oldott állapotban vándorol. A két kategória között nem lehet éles határt vonni. A magvak csírázása különösen jól szemlélteti azt a folyamatot, amikor a tartaléktáplálékok útnak indulnak. A nem oldott tartaléktáplálékok mozgósítását, oldását, átalakítását a szervezetek erjesztői, enzímái végzik.

Az enzímák szervesanyagú reakció-gyorsítók, irányítók. Az a főjellemvonásuk, hogy fajlagosak, azaz csak bizonyos reakciókat tudnak megindítani, katalizálni; más szóval, csak egy anyagra, vagy élesen körülírható anyagcsoportokra tudnak hatni. A mérgek, a meleg hatásával szemben éppen olyan érzékenyek, mint a plazma maga.

Az enzímákat még igen nehezen lehet vegyi szerkezetük alapján jellemezni. Általában az általuk támogatott vegyi változások alapján szoktuk őket rendbeszedni. Nemcsak a sejtekben, hanem ezeken kívül is hatnak, azaz tulajdonképpen a sejt nem élő alkotói. Sokszor már vízzel is kioldhatók a sejtekből, de a glicerin is jó oldószerük. Az enzímák maguk nem használódnak el, azért ha gondoskodunk arról, hogy a reakciós termékek eltávozzanak, akkor igen kis mennyiségük is elég nagy anyagtömegek átalakításához. Egyetlen enzima tulajdonképpen csak kis változásokat hoz létre. Ebből nyilvánvaló, hogy a nagyfokú vegyi változások az enzímák egész rendszereinek jelenlétét követelik.

A keményítőt több egymásba fonódó enzimahatás folyósítja meg. A keményítőszemek az enzímák hatására szabálytalanul oldódni kezdenek, mivel a keményítőszemek egyes helyeit az enzímák könnyebben oldják. A keményítő oldásában két enzima, az α amiláz és a β amiláz vesz részt. A nem csírázó árpában például mind a kettő megvan, de aktív alakban csak a β amiláz. A másik a csírázás folyamán aktiválódik folyamatosan. Az amiláz csak malátacukorra tudja bontani a keményítőt. A maltáz a malátacukorból szőlőcukrot készít. A keményítőoldás (hidrolízis) enzimarendszerét gyakran diasztáznak is nevezzük. A természet enzimarendszerekkel végzi el azt, ami az emberi gyárak vegyi katalizátorral, például kénsavval visznek végbe. A nádcukrot a szacccharáz (invertáz nevű enzima) hasítja szőlő- és gyümölcscukorra. Ugyanez az enzima a termékekből ismét fel tudja építeni a nádcukrot. Ez az építés mindenesetre csak akkor sikerül, ha a kiinduló anyagok a különösen reakcióképes alakjukban vannak jelen. Ezeket az alakokat a molekula más atomrendje jellemzi.

Sok cellulózféleség is szerepel a növények testében tartalékanyagként. Ezek a többnyire sejtfalalkotó hemicellulózék csírázáskor a citáz nevű erjesztő hatására ismét oldhatókká válnak. A sejtfalak cellulózját a celluláz kezdi ki.

Az inulin a fészkes virágzatúak és a csegetyűke-félék sejtjeiben, mint oldott táplálék fordul elő. Ez a szénhidrát gyümölcscukorból épül meg. Folyékony állapotú ugyan, de molekulái nagyok és vándorlásakor az inuláz segítségével ismét gyümölcscukorra (fruktozává) alakul. A gyümölcscukrot és társait más enzímák még egyéb kisebb energiájú vegyületekké bontják és ezek a vegyületek azután ismét beleilleszkednek az anyagépítés munkájába.

Az élesztősejtek átalakító munkája. Az „élesztő” elnevezésű anyag egysejtű gombák tömege. A most megbeszélendő esetben a cukroknak olyan szerves savakká való átalakulásáról van szó, amelyek megfontolása *elmélyítheti a fehérjékről eddig tanult ismereteinket*. Az élesztő erjesztőinek összességét *zimáz*nak hívták azelőtt. Később megállapították, hogy ez az enzima a meleget nem bíró *apozimáz*ból és a hőálló *kozimáz*ból áll (ez a *kofermentrum*). Ez az utóbbi a nukleinsavakhoz közelálló savat és magnéziumot tartalmaz. Az apozimáz szintén több erjesztőből épült meg. A poliszaccharidából (amilyen a keményítő is) keletkező, *jól oldódó* cukrokat az erjesztők egyenes úton tovább alakítják, míg a nem jól oldhatókat az apozimáz-rendszer egyik fer-

mentuma alakítja ilyenekké. Erre következik a foszforilálás, a további bontódás előzményeként. A foszforsav kötéséből később kiszabaduló (3C) vegyületek közül különösen a már említett p i r o s z ő l ő s a v fontos. Más, direkte oxidatív utak is szolgálják a szénhidrátok bontódását. A szénhidrátok átalakulásából keletkező igen fontos anyagok még a futólag már említett g l i k o z i d á k is, amelyeket egy cukor és egy más anyag alkot. A legegyszerűbb esetben ez a másik anyag megint csak cukor (poliszaccharidák). A nem cukor alkotórész, (az úgynevezett a g l i k o n), sokszor erős mérge, amelyet glikozidás kötése semlegesít. Sok glikozidában igen vegyülőképessé csoportok is vannak, amelyeknek nagy szerepük lehet a növénysejt életében. Fontos glikozidák az a n t o c i á n o k és s z a p o n i n o k.

A f e h é r j é k á t a l a k u l á s a. A fehérjék bontódását szintén enzimek végzik és kísérik. A fehérjéből az aminosavak nem egy lépésben keletkeznek, hanem a fehérje óriásmolekulája albuminózákká, peptonokká, polipeptidákká, dipeptidákká és aminosavakká egyszerűsödik fokozatosan. Ez a folyamat a fehérjéket oldhatókká és mozgósíthatókká alakítja.

A p r o t e i n á z nevű erjesztők katalizálják ezeket a folyamatokat. A húsevő, rovarévó növényekben vannak az állatok pepszinjéhez és tripszinjéhez hasonló enzimek is. A növényekben másokat is találunk; ilyen például a papain. A papain a fehérjéket polipeptidákká tudja hasítani, de csak akkor, ha bizonyos redukáló anyagok aktiválják ezt az enzimet. Ilyen aktiváló anyag a C-vitamin. A papain működését poli és dipeptidázok folytatják.

A bontódás legtöbbször nem áll meg az aminosavaknál, hanem ezek oxigén jelenlétében, hidrogénvesztés kíséretében ammoniákká, ketosavakká meg aldehidekké alakulnak. Ezek azután ismét résztvesznek a szervezet munkájában és anyagcseréjében. Az ammoniákból általában aszparagin, glutamin stb. keletkeznek, amelyek C vázát a szénhidrát anyagcsere adja (borostyánkősav, fűmárvsav). Szénhidrátok hiányában a felhalmozódó ammoniák mérgező hatású. A méregtelenítő aszparagin még fontos tartalékanyag is. A magában véve mérgező, de így méregtelenített ammoniák tehát nem válik ki a növény testéből, hanem benne marad és újra értékes vegyületek alkotásában vesz részt.

A fehérjék mozgósítása tehát, amint látjuk, aminosavak és amidok (aszparagin, glutamin) alakjában történik. Ezt követi megint a fehérjeépítés. Az aminosavakkal ez könnyen megy, de az amidokat csak kerülő úton tudja értékesíteni a növény. Az aszparagint például egy külön enzima megfosztja ammoniák-tartalmától és ez így módon ismét beleilleszkedik a növény építő életébe.

A növényekben van t a r t a l é k f e h é r j e is, de nem szabad azt gondolnunk, hogy csak ezekben a tartalékfehérjékben történik meg a fehérjék bontása és újrakepítés. Érdekes, hogy például az egynyári növények virágzásakor az egész növény, de különösen a virágok fehérjeje bomlik. Viszont az érés korszakát a fehérjék keletkezése jellemzi. Mindezeket a bontó- és építő folyamatokat redukáló és oxidáló szabályozók (regulátorok) működése is kíséri.

E g y é b t á p l á l ó a n y a g o k a s s z i m i l á l á s a. Kiegészítésül megemlékezünk még a növényolajok és más anyagok asszimilációjáról. A növényi

olajok a glicerín és zsírsavak vegyületei. A glicerín szénhidrátokból keletkezik, miként a zsírsavak is (az acetaldehid útján). A zsírok és olajok nagy energiájú vegyületek. Csírázáskor a lipáz nevű erjesztő hasítja őket. A hasadás termékei aztán ismeretlen módon ismét szénhidrátokká alakulnak.

Sokat foglalkoztak a foszfatidákkal, amelyek glicerínje egy helyen foszforsavval kötődik, amelyhez pl. a lecitinek esetében nitrogéntartalmú lúg (bázis) pl. a kolin illeszkedik. A foszfatidák is beleszólnak állítólag a plazmahártyák átjárhatóságába. A foszfatidákkal (lipoidák) rokonok a szterinnek, amelyek a magasabbrendű növények testében is megtalálhatók. Működésük nem egészen ismerős. Sok fontos glikozida vezethető le belőlük. (A szaponinok, a gyűszűvirág és a gyöngyvirág szívmérgei).

A vitaminok szerepe a növénytestben. A vitaminok egy része a növényekben keletkezik. Hosszú ideig csak az állatok étlettanából ismeretes jelenségek kapcsán láttuk működésüket. Természetszerűen a növénytestben is van, vagy lehet feladatuk. Az A-vitamin (antineuritikus vitamin) a karotin származéka és részese lehet a biológiai oxidációknak, amelyek ma olyan híresek. A növekedés-vitamin (B₂ vitamin) az oxidáló erjesztőkkel dolgozik össze; azonos a tej laktoflavinjával. A laktoflavin foszforsavas vegyülete, amelyet fajlagos, specifikus fehérjetest hordoz, az úgynevezett sárga lélekzészfermentum. Nagyon érdekes ez a rendszer, mert az élő szervezet egyik csodálatos berendezését valósítja meg. Ez a rendszer ugyanis megfordíthatóan (reverzibilisen) oxidálódik és redukálódik (redoxi-rendszer) és a szövetoxidációban nélkülözhetetlen. A B₂ vitamin minden növénysejtben előfordul. A C-vitamin (SZENT-GYÖRGYI aszkorbinsava) cukorszármazású és például a fehérjeanyagcserében jelentős szerepű. (Enzima aktiválás).

L) A heterotrofiás táplálkozás. A gombák és baktériumok testében nincsenek kloroplaszták, ezért nem is tudják a széndioxidot asszimilálni. A szén csak más szervezet által készített szerves vegyületekből tudják megszerezni. Tenyésztésük csak akkor sikerül, ha szerves anyagokat is adunk nekik. E szervezetek tiszta tenyésztése általában a mikológia és bakteriológia módszereivel és különösen hővel sterilizált táplálékokon történik. A heterotrofiás szervezeteknek is szükségük van természetesen vízre és szervetlen sókra, de mészre nincs szükségük. Szénüket minden körülmények között szerves szénvegyületből kell nyerniük. Az auto- és heterotrofiás táplálkozásnak ez a főkülönbsége. A baktériumok nitrogénforrása rendszerint szintén valamely szerves vegyület. Sok gomba ammóniákkal is megelégszik. A nitrátok a heterotrofiás táplálkozásban nem eléggé alkalmas nitrogénforrások. A heterotrófia, azaz a szerves anyagokra való utaltság nem mindig teljes és igen sokszor csak a táplálkozás egyik főszintézisére terjed ki.

A gombák és baktériumok a nem oldódó szerves anyagokat, fehérjéket, keményítőt, cellulózt enzímák segítségével teszik előbb oldhatókká.

A zöld növényeket az élet minden terén megtaláljuk, de gombák és baktériumok főként ott lelhetők, ahol szerves anyagok pusztulnak. Ezek a szaprofiták a szerves anyagok ásványosításával igen fontos feladatot teljesítenek a természet háztartásában.

Vannak olyan alsóbbrendű szervezetek a félheterotrófiás lények között, amelyek a nitrogén tekintetében autotrófiások és csak a szénét illetően szorulnak szerves anyagokra, mégpedig úgy, hogy ezek a mikroorganizmusok a levegő szabad nitrogénjét meg tudják kötni. Ilyen heterotrófiás baktérium például a *Clostridium Pasteurianum*, valamint az *Azotobacter chroococcum*. Ezek az egysejtű lények a talajban és a vizekben is élnek és működésükkel magasabb életrendű szervezetek számára szükséges nitrátok mennyiségét saját szerves anyagaik bomlásával szaporítják. Alsóbbrendű gombák is rendelkeznek kisebb mértékben ezzel a tulajdonsággal, sőt az is kiderült, hogy egyes kékoszatok (*Cyanophyceae*) szintén megkötik a szabad nitrogént.

Rendkívül érdekes életet élnek a húsevő zöld növények. Ezek zöldek, tehát széndioxidot asszimiláló növények, amelyek egyszersmind a szerves anyagokat is feloldják és felveszik (v. ö. 194. old. és 139—142. kép). Ezeknek a növényeknek rovarrevő készülékeiben enzímák keletkeznek, amelyek a fogságba jutott szervezetek megfelelő anyagait bontják és felszívhatókká teszik. Ezek a zöld rovarrevők ilyen állati táplálék nélkül is egészen jól élnek. Mindamellet megállapították, hogy nem túlsok állati táplálék igen előnyösen segíti növekedésüket. Úgy látszik, de ez csak feltevés, hogy e növények húsevése jól használható nitrogénvegyületek nyerését célozza. A rovarrevő növények lápokon, vizekben, a forró égvön pedig, mint epifiták más növényeken laknak. Természetesen nemcsak nitrogént, hanem káliumot, foszforsavat is nyernek zsákmányaikból. Első pillanatra úgy tűnik, mintha e növények táplálkozása nagyon hasonlítana az állatokéhoz. Mégis könnyen belátható, hogy a teljesen heterotrófiás gombák és baktériumok élete élettani tekintetben sokkal jobban megközelíti az állatokét.

A növényi paraziták. Az előbb említett epifiták főleg teher-növények, azaz nem a hordozó zöld növények testéből élnek, hanem csak laknak rajtuk. A növényi parazitáság értelme abban rejlik, hogy az élősködők élő gazdáikat kifosztják, elrabolják tőlük szerves anyagaikat. Sokszor már a táplálék-elvonás útján is megbetegítik őket, sőt mérgeikkel (ilyenek a kórokozó baktériumok) meg is ölik őket. Magasabbrendű növények között is sok az élősködő. Jellemző hogy ezek a növények csak bizonyos gazdanövénynemeken, sőt gyakran csakis egy-egy fajon élnek.

A zöld félélősködők dús lomblevélzete önálló széndioxidasszimilációra képesíti őket. Gyökérzetük rendes, de vannak szívó gyökereik is, amelyekkel különböző füvek gyökereire tapadnak. Idetartoznak a *Rhinantheák* (*Alectorolophus*, *Pedicularis*, *Euphrasia*). Hasonlóan viselkednek a szantálfa-féle; a *Loranthaceák*, köztük a fagyöngy (*Viscum album*), már egészen a gazdanövényen élnek és készülékeikkel főleg a farész vizes oldatait szívják. Valószínűleg más anyagokat is el tudnak vonni gazdáiktól (146—147. kép).

Teljesen függőviszonyú élősködők az arankák (144—145. kép). Leveleik gyöngén zöldek, vagy színtelenek; alig tudnak velük szénét asszimilálni. Csíragyökérük korai pusztulása után nincs már egyetlen földi gyökérük sem. Szívógyökereket (hausztóriumokat) bocsátanak a gazdanövény testébe és

teljesen ennek rovására élnek. Hasonló életük az *Orobanche*, a *Lathraea*, amelyek gyökereken élősködnek (143. kép). A *Balanophoraceák* és *Rafflesiák* vegetatív teste gombafonálzatszerű, micéliumalkatú lesz, azaz teljesen csökevényes. A gazdanövény felületén csak virágaik, illetőleg virágos hajtásaik törnek át.

A növények vírusbetegségei. Meg kell itt még emlékeznem az úgynevezett vírusokról is, amelyek, akárcsak a paraziták, sokféle növénybetegséget okoznak. (A dohány mozaikbetegsége, a burgonya, a lucerna, paraj vírusbetegsége és még igen sok más kór (30. kép).

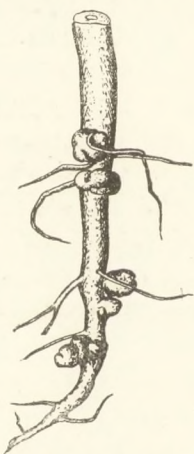
A vírusokkal szemben legelőször is az a kérdés vetődik fel, vajjon igazi élőlények-e, vagy sem. Ez a kérdés már csak azért is jogosult, mert vannak olyan kórokozó vírusok, amelyek önálló testcskéinek nagyságrendje csak 8—12 m μ körül van; ez a nagyság viszont csak a fehérjemolekulák kétszeresének felel meg általánosságban és az életfolyamatok bonyolult sokfélesége olyanéleti szerkezeteket tételez fel, amelyek ilyen kis méretben semmiként sem képzelhetők el. A vírusok éppen úgy nem bírják el a nagy hőt, mint az élőlények és már 100 C° alatt elpusztulnak, viszont egyeseket még az összes élőlényekre biztosan mérgező és ölő hatású kloroform sem tud tönkretenni. A vírusok szaporodnak a fertőzött szervezetben, de nem lehet őket mesterséges táplálótalajokon tenyészteni, mert szaporodásukhoz mindig valamely élő sejt, szervezetre van szükségük. A dohány mozaikbetegségének vírusát kristályos alakban is elő tudjuk állítani. A kristályokat fehérje alkotja és egy milliárdos hígítású vizes oldatuk egy köbcentimétere is előidézi már a mozaikbetegséget. Nagyságrendjük, „szaporodásuk“ feltételei, kristályosíthatóságuk mind azt tanúsítja, hogy a valódi vírusok nem átmeneti élőlények és nem is élő molekulák, hanem *autokatalizátorok*, amelyeknek éppen az a sajátos tulajdonságuk, hogy az élő, általuk „fertőzött“ sejtekben saját gyarapodásukat katalizálják. Ilyen autokataliziseket a szervetlen vegytanból többet ismerünk. Úgylátszik tehát, hogy a vírus, amely határozottan káros a megtámadott, különböző módon és úton „beoltott“ szervezetekre, azaz megbetegíti őket, csak olyan élő közegben tud szaporodni, amely bizonyos, a vírusállomány gyarapodásához szükséges anyagokat saját anyagcseréjéből termel, avagy pedig a rendes anyagcsere termékeit virussá asszimilálja. A vírus autokatalitikus hatása tehát a megtámadott élő szervezet részvevő munkáját is feltételezheti. Ismerünk azonban olyan vírusokat is, amelyek talán megközelítik a baktériumcéljellegét.

Az együttélés, szimbiózis. Az együttélő szervezetek közül rendszerint az egyik hetero-, a másik autotrofiás, de két autotrofiás között is lehetséges szimbiózis. Az együttélés általában igen szoros és sokszor az is megesik, hogy az egyik szervezet teljesen a másik növény sejtjében él. A szimbiózis fogalmát azért határoljuk el az élősködéstől, mert a szimbiontikus társak mindegyike haszonélvező és alapján véve nem károkozó.

A zuzmók bizonyos moszatok és gombákat szoros, legtöbbször jól körülírható telepeket alkotó, zárt életközösségei. A gombák tápláló sókat, vizes környezetet juttatnak a moszatoknak, míg ezek szénhidrátszolgáltatók. Ez a szoros

életközösség lehetővé teszi a gombáknak olyan helyeken való életét is (kövek, sziklák), amelyek heterotrófiás szervezetek számára teljesen alkalmatlanok. A legújabb vizsgálatok szerint ezekben az életközösségekben a moszat a szenvedőbb fél.

Számtalan egysejtű, gerinctelen és gerinces állat testében sokszor különlegesen előkészített és öröklődő berendezésű helyeken és szerveken élnek zöld és nem zöld élősködő növények (Zoochlorellák, Zooxanthellák l. 19. kép). Hordozóik közül megemlítem a *Paramaeciumot*, a *Stentort*, az édesvízi *Hydrát*, a szivacsokat, virágállatokat, férgek, rovarlárvákat. A rovarok, halak stb. testében is sok növény él, de viszont pl. améba él a *Biddulphia sinensis* nevű kovamoszatban és spórás véglények (*Hyalosaccus*) élnek a *Ceratium tripos* nevű tengeri egysejtű, széndioxidot asszimiláló szervezetben.



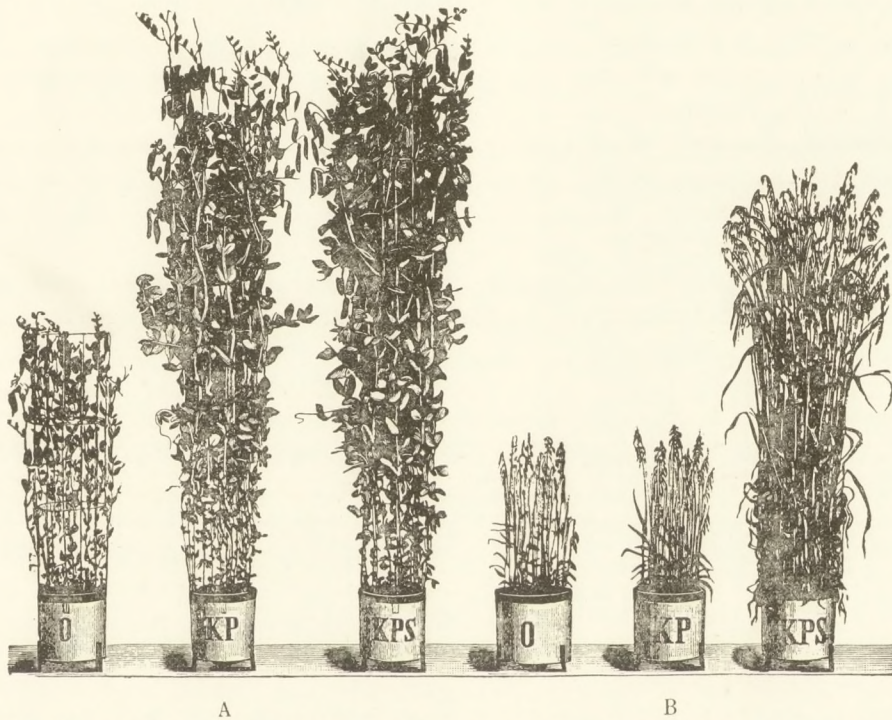
161. kép. *Bacillus*-lakásul szolgáló gyökérgumócskák a fehér csillagfürt gyökerén. (SZABÓ nyomán.)



162. kép. Fiala borsónövények, amelyeket nitrogén nélküli talajban neveltek. *A* *Bacillus radicola*-val ojtott talajban gyökérgumócskák fejlődtek, miértis a növény felhasználta a szabad nitrogént; *B* Ojtatlan talajban nem fejlődtek gumócskák és a növényke nitrogénhiányról tanúskodik. (ERRERA és LAURENT nyomán.)

A hüvelyesek (*Leguminosae*) nem szorulnak rá a talaj nitrogénjére, mert gyökérgumócskaiban (161. kép) baktériumok (*Bacillus radicola*) laknak, amelyek a talaj levegőjének szabad nitrogénjét tudják asszimilálni. Ezek a baktériumok a talajban élnek és innen vándorolnak a gyökérszőrkön keresztül növekedés, osztódás útján a gyökerek kergébe. A gyökereken daganatok, gyökérgumócskák keletkez-

nek és ezek poliploidias óriás sejtjeiben élnek tömegesen a baktériumok. Gazdájuktól szénhidrátokat kapnak, viszont ők nitrogén tartalmú anyagokat adnak a hüvelyesnek. A hüvelyesek ezért nitrogénmentes, vagy nitrogénben szegény talajon, homokon jól meg tudnak élni (Akácfaerdők), ha van a talajban bacillus. Ha a talajban ily bacillus tenyészet nincs, akkor nitrogénhiány tünetei figyelhetők meg (162. és 163. kép). Élnek a forró égövön olyan cserjék (*Ardisia*, *Pavetta*), amelyek levelein is találhatók baktériumlakások.



163. kép. A borsó és a zab táplálékigénye. A növények nitrogénben szegény (O), majd összehasonlításként kálfoszfáttal (KP) és kálfoszfát + kálisáletrom (KPS) műtrágyával javított talajban termesztettek. A kísérletből látszik, hogy a borsó (A) nitrogénben szegény talajban is erőteljesebben tenyészik, mint a zab (B). (WAGNER nyomán HARTMANN könyvéből.)

A m i k o r i z a. Nagyon sok lápos, humuszos talajon élő, valamint teher-növény, különösen az erdei növények gyökérrendszerét gombák lakják. A gombák általában a gyökérben, vagy a gyökéren élnek. Bizonyos növények, miként a *Neottia nidus avis*, meg a *Coralliorhiza* nevű orchideák, valamint a *Monotropa hypopitys* nevű virágos növény gombaszimbiózisuk olyan nagyfokú együttélést jelent, hogy ezek a növények nem is élhetnek gombáik nélkül, mert teljesen heterotrofiák lettek. Más növények mikorizája szintén igen fejlett, de a növények dúslevélzetűek és zöldek. Itt fél-heterotrofiáról van szó. A külső mikoriza esetében erősen szövött gombaköpeny fonja be a növény gyökereit és mintegy a hiányzó gyökérszőröket pótolja. A gombafonalak, a hifák, bizonyos fokig a kéregbe is

behatolnak, főleg a sejtfalak között, de innen még a sejtekbe is bejutnak. Mikorizás növények a bükk, a fenyőfélék stb. is.

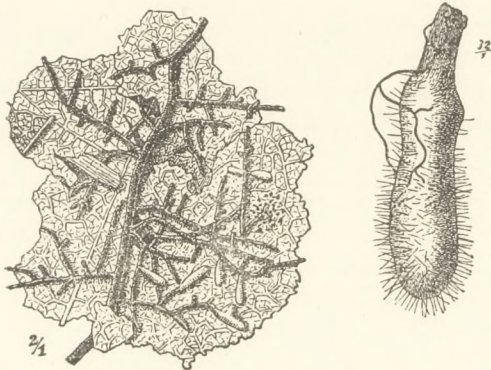
A belső mikorizára jellemző, hogy a gyökér bizonyos sejteiben a gomba teljesen a sejtestben helyezkedik el és hifáit nem, vagy csak igen kis mértékben bocsájtja a talajba. Az *Erica*-félék, *Orchideák*, az erdei fák gyökerein találunk ilyen mikorizákat (164. kép).

Előzőleg már említettem, hogy vannak autotrofiás életközösségek is. A *Cycas*-félék korallalakú gyökereiben kémoszatok élnek (*Nostoc*, *Anabaena*), a *Gunnera*

macropylla szárán keletkező járulékos gyökércsonkok is együttélő *Nostoc*-sejteket rejtenek magukban. A *Gunnera* *Nostoc*-jai a sejtekben élnek, míg a *Cycas*-okéi a sejtközöket lakják. Az *Azolla* nevezetű víziharaszt leveleiben is élnek ilyen moszatok.

Az ember is készít mesterséges szimbiózisokat; ilyen az ojtás és a szemzés is.

M) A növény munkavégző képességeinek forrásai. A zöld növény széndioxidasszimilációjának energiaforrása a napfény. Az így keletkezett szénhidrátokat a növények építés és üzemanyagnak használják. Előzően hallottuk már, hogy a növény ezeket az anyagokat, mielőtt más vegyületekbe szőné bele őket, részben szét-



164. kép. A bükkfa gyökérvégződése mikorizaképződeményekkel. A gyökerek a bomló levélmaradékok között elágaznak, azokat bevonják, csúcsuk megvastagodik és mikorizássá válik. Jobbról mikorizás gyökér; erősebb nagyítással. (MÜLLER nyomán WARMING—JOHANNSEN könyvéből.)

hasítja. A növény azonban nem csupán ilyen részleges bontásokat végez, hanem a szénhidrátok nagy részét ismét az energiában szegény széndioxidra és vízre bontja. A növény élete rendkívül sokoldalú s ezért életmunkája végzésére nagyon sok energiára szorul. Könnyen megérthetjük tehát az éppen említett bontások jelentőségét. Az energiás szénhidrátok bontásakor felszabaduló munkavégzőképesség szolgálja a növény amaz életműködéseit, amelyek a fotoszintézistől már függetlenek, illetőleg nincsenek vele közvetlen kapcsolatban. Ilyen jelenségek még a fotoszintézishez közelálló élettani folyamatokban is megfigyelhetők. Innen érthető az is, legalább jórészt, hogy a növények a széndioxidasszimiláció szőlőcukrából nem készítenek kizárólag keményítőt, hanem az más, mondjuk építő- és üzemcukrokra is elhasználdik. A közönséges értelemben vett cukrok, amilyen a szőlőcukor, amely O_2 tartalma miatt a hexózák közé tartozik, oxigén jelenlétében így bomlik el: $1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6 + 6 \text{ mol } O_2 = 6 \text{ mol } CO_2 + 6 \text{ mol } H_2O + 674.000 \text{ gr. kalória (kiskalória)}$. Ezt a szervezeti égésformát nevezzük közönségesen lélekzésnek. Az autotrofiás növények saját építésű vegyületeket, míg a heterotrofiásak idegeneket lélekzenek el. Ez a most említett égés az aërobiontikus,

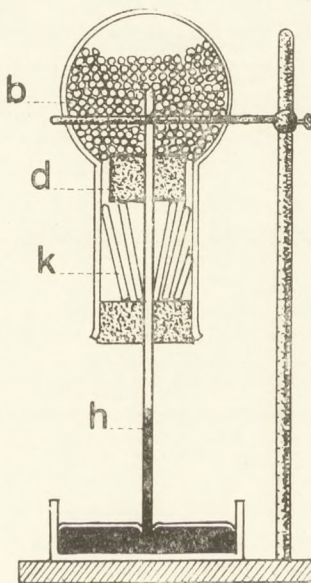
O_2 jelenlétében és hatására történő lélekzés. Ha a szénhidrátok bontódása oxigén nélkül történik, akkor erjedéssel van dolgunk. Ez a hatalmas kinetikus energiát termelő disszimiláció (a lélekzés és erjedés) végeredményben a napfény energiájára támaszkodik. Több baktérium mindazonáltal nem használja a nap építő erejét, mert munkavégző képességüket szervezetlen anyagok égetése révén szerzik.

A növények lélekzését SAUSSURE és DUTROCHET 1822–1837 bizonyították be kísérleteikkel. Később, amikor észrevették, hogy a növény oxigént is bocsát ki, megint kételkedni kezdtek ebben az állatokénál sokkal rejtettebb jelenségben. Egyszerűen nem tudták elképzelni, hogy a széndioxid kiválása (lélekzés), valamint a széndioxid felvétele és az oxigén kibocsátása egyszerre lehetséges folyamatok lennének. SACHS 1865-ben teljesen tisztázta azután a kérdést, illetőleg véglegesen biztosította az asszimilációs és disszimilációs folyamatok egyidejű lehetőségére vonatkozó nézet győzelmét.

A növények asszimilációja és lélekzése két egymás mellett történő jelenség, de csupán a zöld növények és testtagok tudnak nappal, illetőleg fényben asszimilálni. A növények zöld és nem zöld részei ellenben éjjel-nappal lélekzenek, akár csak az állatok. Az asszimiláció rendkívül nyereséges folyamat. A bab asszimilációs munkája a legjobb körülmények között egy óra forgása alatt harminc órára elégséges lélekzésanyagot termel. Ha a növényt sötét helyen tartjuk, akkor az asszimiláció csökkentése következtében igen sok értékes terméket éget el és ezért száraz súlya tetemesen megcsappan. A napfényben, ami a mondotak alapján könnyen érthető, a növény minden lélekzése ellenére is gyarapodik.

A növények huszonnégy óra alatt térfogatuk mintegy öt-tízszeresének megfelelő széndioxidot termelnek. Az árnyéklakó növények széndioxidtermelése csak két térfogatrésznyi. A lélekzés nagyságát a felvett oxigén, vagy pedig a kibocsátott széndioxid megállapításával mérjük. A 165. képen látható üvegedényt csírázó borsószemekkel töltjük meg, de ne rakjuk egészen tele. Az edény nyakába mélyen benyomott egyjáratú dugó megakadályozza a borsószemek kihullását.

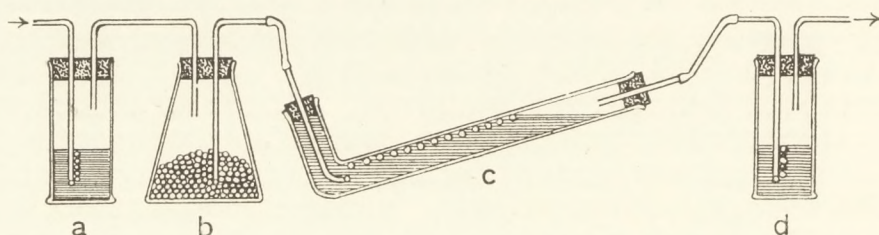
Az üveg hosszú nyakába, az említett dugó fölé kálilúg pálcákat helyezünk. Az edény száját egyfuratú dugóval zárjuk. A két dugón keresztül a borsóhalom belsejéig vékony üvegcsövet vezetünk, amelynek alsó nyílása higanytálba ér. A borsószemek oxigént nyelnek, a keletkezett széndioxidot pedig a kálilúg felveszi. Ha a kísérletet hosszabb ideig folytatjuk, azt találjuk, hogy a higanyoszlop magassága a rendel-



165. kép. A lélekzés termelte széndioxid kimutatása. Az üvegpalackban csírázó borsómagvak vannak (b), melyek lehullását dugó (d) akadályozza meg. A magvak lélekzésekor keletkező széndioxidot kálilúgpálcák (k) nyelik el. A gáz elnyelését a higanyoszlop (h) emelkedése jelzi. (A bonni tankönyv nyomán.)

kezésre álló légtér fogat egyötödének felel meg, azaz egész oxigén tartalmát felvették a borsószemek. Végezzük el kísérletünket kálilúg nélkül is, ekkor azt tapasztaljuk, hogy a csőben nem emelkedik a higany, mivel az edény gáztér fogata változatlan maradt, azaz a felvett oxigént ugyanolyan térfogatú széndioxid mennyiség helyettesíti. Ez az eredmény meg is felel a lélekzés-egyenlet követelményeinek, de természetesen csak akkor, ha a szénhidrátok maradék nélkül széndioxiddá és vízzé égnek el. A lélekzés hányadosa $\frac{CO_2}{O_2} = 1$, ha a lassú égés anyaga szőlőcukor. Másik

igen használatos, különösen mennyiségi vizsgálatokra alkalmas módszer lényege az (166. kép), hogy a lélekzésekor keletkező széndioxidot baritvizen ($Ba(OH)_2$) vezetjük át. A baritvíz hosszú, úgynevezett Pettenkoffer-csőben helyezkedik el.



166. kép. A lélekzésekor keletkező széndioxid mennyiségének kimutatása. Az *a* és *d* mosópalackban, valamint a Pettenkoffer-csőben (*c*) ismert mennyiségű baritvíz van. Az *a* palack baritvize a levegő széndioxidját, a *c* és *d* tartalma pedig a borsószemek (*b*) lélekzésekor termelt széndioxidot nyeli el, amikor báriumkarbonát keletkezik. A *c* és *d* üveg baritvizének titrálásával meg lehet határozni a kilélekzett széndioxid mennyiségét.

A kísérlet csak akkor lesz kvantitatív, azaz a *c*-csőben keletkezett báriumkarbonát ($BaCO_3$) mennyisége csak úgy adja meg a lélekzésekor valóban keletkezett széndioxid mennyiségét, ha az átáramló levegőt kálilúgos, vagy baritvizes mosópalackokon vezetjük át és így széndioxid tartalmától megfosztjuk. Nagyon célszerű dolog, ha a *c*-cső mögé még egy mosópalackot iktatunk, mert így megbizonyosodunk a felől, vajjon a *c*-cső baritvize az összes keletkező széndioxidot elnyelte-e? A növények által termelt széndioxid mennyiségét a baritvíz vizsgálata (titrálása) adja meg. A lélekzésekor keletkező vízmennyiséget nem ilyen könnyű meghatározni, de végre ez is csak kísérlet dolga.

A $\frac{CO_2}{O_2} = 1$ egyenlet csak abban az esetben érvényes, ha a lélekzés anyaga szőlőcukor, illetve szénhidrát. Ha a felvett oxigén mennyisége kisebb, mint a keletkezett széndioxid, akkor a $\frac{CO_2}{O_2}$ egyenlet értéke nagyobb az egységnél. Fordított esetben viszont kisebb. A lélekzeshányados nagyságából tehát a lélekzés anyagának minőségére vagy a bontás fájára következtethetünk.

Egyes szervezetek sóskasavat tudnak elégetni. A sóskasav dús oxigéntartalmú vegyület. Ebben az esetben a $\frac{CO_2}{O_2} = 4$.

Az olajsav ($C_{18}H_{34}O_2$) sokkal kevesebb oxigént tartalmaz, mint a szénhidrátok. Teljesen vízzé és széndioxiddá való égetésekor tehát több oxigén felvételére van szükség, mint amennyi széndioxid keletkezik. A zsírtartalmú magvak lélekzeshányadosa tényleg kisebb is az egységnél.

Ez az utóbbi jelenség akkor is bekövetkezik, ha a szénhidrát nem ég el teljesen széndioxiddá és vízzé.

A növények éjjel szokták szénhidrátjaikat szerves savakká oxidálni. Ezeknek további égetése nappal történik. Az így keletkező széndioxid azután ismét bekapcsolódhatik a szénasszimilációba. Ez a sajátos tünet olyan növények számára jelent nagy hasznot, amelyek sivataglakók s ezért a nagyfokú párolgás miatt nappal zárva tartják légréseiket.

A lélekzés nagyon bonyolódott folyamat. Ez is, mint a növények számtalan más életbevágó jelensége, összetett enzima-reakció.

A biológiai oxidáció lényege abban áll, hogy a lélekzés anyagából a szervezet hidrogént von el (azt dehidrálja). A folyamat során a lélekzés anyagához a bontás menetén többször víz kapcsolódik. A lélekzés anyagát minden esetre nem maga a még változatlan kiinduló anyag szolgáltatja, hanem pl. a cukorégetés lélekzés esetében egy, ebből az eredeti hexoszából keletkező és az oxidációra alkalmasabb termék. A dehidrázoknak nevezett enzímák a lélekzés anyagát megfosztják hidrogénjétől. Ez a hidrogén a levegő oxigénjével (ez az elfogadó, az akceptor), egyesül. Ezt a folyamatot a *lélekzés fermentumok működése kíséri* és ezek munkája következtében egyesül az oxigén és hidrogén H_2O_2 -vé. A vastartalmú *kataláz* nevű enzima ezt a H_2O_2 -t, a peroxidot, vízre és oxigénre hasítja és így az oxigénnek csak egy része marad a hidrogénhez kötve. A lélekzés anyagának szene és oxigénje mint széndioxid szabadul el. A szőlőcukor oxidatív bontását tehát rövidítve így írhatjuk: $C_6H_{12}O_6 + CO_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$.

Eddigélét két lélekzésenzimát ismerünk. Az egyik vastartalmú és hasonló a vérből készíthető heminhez, a másik a sárga lélekzésfermentum, amelynek hatékony tagja foszforsavas B_2 vitamint tartalmaz. Ez a sárga erjesztő rendkívül sokoldalú. Saját maga vagy más anyagok, az úgynevezett citokromák, segítségével végzi munkáját. A sárgafermentum és a citokromák is majd minden sejtben megtalálhatók.

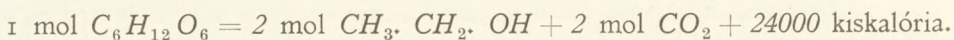
A lélekzés vegyi folyamatának részletei még nem világosak teljesen, mindamellett kétségtávol megállapíthatjuk, hogy a *lélekzés alapanyagának bontása egymásba kapcsolódó enzima-reakciók sorozata*.

A lélekzés feltételei. Minden élősejt lélekzik. A külső körülmények és az egyes szervek szerint ez a lélekzés eléggé eltérő nagyságú. Fiatal növekedő növények és szervek működése igen élénk. A növények kész tagjai sokkal kevesebb oxigént vesznek fel és széndioxidot bocsátanak ki, mint a melegvérű állatok.

A lélekzésre különösen a hőmérsékletnek van hatása. Itt is érvényesül a vegyi folyamatok gyorsítására vonatkozó törvény, amely szerint 10 fokos hőemelkedés a lélekzés nagyságát megkétszerezi, vagy megháromszorozza. Magas hő-

mérséklet nem kedvező. A lélekzés görbéjének esése nagyon meredek, azaz optimuma és maximuma majdnem egybeesnek. A levegő oxigéntartalmának emelése a lélekzés nagyságaira nincs hatással. Ebből csak az következtethető, hogy a levegő oxigéntartalma még a rendes folyamatú lélekzés számára is több a kelleténél.

Az intramolekuláris lélekzés. Nagyon figyelemreméltó tény, hogy az oxigénmentes légkörben élő kísérleti növény is bocsát ki széndioxidot. E szerint a lélekzés anyagának molekuláris megváltozása oxigén nélkül történik és így a fentebb említett egyenlet hat oxigénmolekulája hiányzik. Ezért a lélekzés, amelyet intramolekuláris (anaërobiumos, vagy anoxibiontikus) légzésnek kell neveznünk, a következő alakú:



Ez a képlet azt jelenti, hogy a lélekzés anyaga, a szőlőcukor alkohollá, széndioxiddá és vízzé bomlik. Az ilyen oxigénmentes lélekzéskor nem mindig alkohol jön létre, hanem sósavas, ecetsav, tejsav is keletkezhetik. Az intramolekuláris lélekzéskor is hőenergia szabadul fel. Ennek az energiának a mennyisége azonban sokkal kisebb, mint a rendes lélekzés esetében, amikor is 1 mol cukor 674000 kiskalóriát termel, míg itt csak 24000 kiskalória szabadul fel. A többi az alkoholban marad.

Az erjedés. A zöld növények intramolekulárisan is tudnak lélekzeni. A nem zöld növények közül egyesek teljesen függetlenek az oxigéntől, mások pedig rászorulnak arra. Azokat a szervezeteket, amelyek lélekzésükkor szabad oxigénre szorulnak, a *ë r o b i u m* oknak nevezzük. Az oxigén nélkül is működők az *a n a ë r o b i u m* ok. A fakultatív anaërobiumok oxigénes légkörben is élhetnek, de vannak olyanok is, amelyek számára az oxigén mérgező hatású. Ezek az úgynevezett obligát anaërobiumok. Ezt a két utóbb említett lélekzésformát nevezzük *e r j e d é s* nek. Ez végeredményben tehát nem más, mint intramolekuláris lélekzés.

Az erjesztő gombák levegő, illetőleg oxigén jelenlétében cukrut széndioxiddá és vízzé égetik el, míg oxigén nélkül alkohol és széndioxid keletkezik. Ez utóbbi esetben az etilalkohol két grammolekulájában még 650.000 kiskalória potenciális energia rejlik. A levegő jelenléte fokozza az élesztőgombák növekedését, tehát nem obligát, hanem fakultatív anaërobiumok. Az élesztőgomba lélekzése anyagának, a szőlőcukornak csak 2%-át használja építő anyagnak. A többi 98% a kinetikus energia szerzésére erjed el.

Az élesztőgombák a cukor bontására fajlagos enzimeket használnak. Ez a zimáznak nevezett fermentum azonban nem egy anyag, hanem több enzima keveréke, amelyek egymást támogatják. A glikoza, a szőlőcukor, miután a már említett módon megváltozott, azaz aktív cukor lett, hidrogént veszít a dehidráz működése révén. Így módon aztán piroszőlősavvá alakul.

Az élesztő kivont enzimái is erjesztenek. Az élesztő enzimái nem tudnak kiszivárogni az élő sejtekből, ezért a gombákat mindig művi úton szét kell zúznunk

és a sejtroncsokból az enzímákat ki kell nyomnunk. A toluol és az éter plazma-mérgek; a gombákat megölik, de az enzímák működését kevésbé érintik. A szublimát ellenben mindent elpusztít.

A vajsavbaktériumokat a szabad levegő károsítja. Ezek az obligát anaërobiu-mok a szénhidrátokat és magasabb alkoholokat hidrogénné és szerves savakká alakítják át. Ezek közül a vajsav sohasem hiányzik.

A vajsavas baktériumok a cellulózt is megtámadják és ismét használhatóvá teszik a benne lévő szénét. A tejsavas erjedés is nagyon fontos folyamat.

A fehérjék erejedését *rothadás*nak nevezzük. Ez a rothadás is anaërobiumos folyamat, de a levegő is oxidálhatja a fehérjéket, azaz az aërobiumos baktériumok előkészíthetik az anaërobiumok munkáját. A fehérjék rothadásában a baktériumok mindkét fajtájának munkáját megtaláljuk. A fehérjéket mindig (hidrolizáló) enzímák bontják fel és ennek a folyamatnak nyomán végeredményben a már ismert aminosavak keletkeznek. Ezeket más enzímák még tovább bont-hatják. Sokszor igen kellemetlen szagú anyagok: kénhidrogén, indol és szkatol keletkeznek, de nem szükségszerűen.

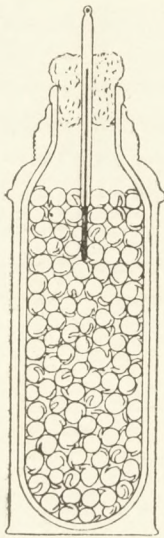
A denitrifikáció és deszulfurikáció. Egyes baktériumok olyan oxigén segítségével égetik el anaërobiumos módon a szerves anyagokat szén-dioxiddá és vízzé, amelyet oxigénben dús salétromsavas és kénsavas sók, illetve a nitrátgyök (NO_3) és a szulfátgyök (SO_4) redukciójából nyernek. Ezek a szervezettek a 2 NO_3 -t N_2 -vé, illetve az SO_4 -t kénné alakítják. Ez a munka éppen a denitrifikáció és deszulfurikáció. Ez sok energia felhasználásával jár s ezért végső energianyerességük jóval kisebb, mint azoké a növényeké, amelyek a levegő szabad oxigénjével oxidálnak.

A *kemoszintézis*. A magasabbrendű növények lélekzési anyaga főként szénhidrát, azaz szerves vegyület. Ismerünk azonban baktériumokat, amelyek szerves anyagok biológiai oxidációjából nyerik energiájukat. A talajban majdnem mindenütt előforduló nitrit baktériumok (*Nitrosococcus*, *Nitrosomonas*) a talaj ammóniáját salétromos savvá, a velük együtt található nitrátbaktériumok (*Bacterium nitrobacter*) pedig ezt az anyagot salétromsavvá égetik. Ezek a folyamatok energianyerességgel járnak. A nitrobaktériumok szerves anyagokat nem tudnak oxidálni. Az így nyert energia ($2\text{HNO}_2 + \text{O}_2 + 2\text{HNO}_3 + 43000$ kiskalória) segítségével ezek a szervezetek széndioxidot is tudnak asszimilálni. Ezek a növények tehát szintén autotrofiás szervezetek, de szerves anyaguk nem foto, hanem *kemoszintézis*, azaz egy vegyi reakció nyomán felszabaduló energiát használnak fel szerves anyagok készítésére. Igen érdekesek még a szintelen kénbaktériumok, amelyek a kénhidrogént kénsavvá oxidálják hasonló célból. Vannak olyan baktériumok is, amelyek a metánt (CH_4) alakítják át energia nyeresért széndioxiddá és vízzé. Idetartoznak a részben már említett biborbaktériumok és valószínűleg az úgynevezett vashbaktériumok is, amelyek bizonyos körülmények között azonban szerves anyagokat is oxidálnak.

A *növények hőtermelése*. A lélekzés folyamán, amint látjuk, energia, munkavégzőképesség válik szabaddá. Ennek az energiának nagyrésze

rögtön ismét szerves anyagok készítésére fordul és így újra potenciális energiává alakul. A lélekzések szabdá lett energia egy része más energiaformákká is átalakulhat és a különböző életfolyamatok fenntartására szolgál s végül is mint meleg, mint hő távozik el. A keletkezett energia egy része mindjárt hővé alakul, a nélkül, hogy abból a növénynek bármi haszna is lenne.

A növények, amint látjuk, sok hőt termelnek, de hőmérsékletük általában nem magasabb, mint a környezetüké. Ennek többek között egyik főoka a nagy párolgással járó tetemes hővesztés. Nagyobb hőtömegek szabadulnak fel a



167. kép. A csirázó borsómagvak melegfejlésének bemutatása. A termosztüvegben elhelyezett duzzasztott borsók közé hőmérő van illesztve. Hosszmetzeti kép, kicsinyítve. (KOLKOWITZ nyomán.)

gyorsan növekedő és nagy anyag- és energia átalakítással dolgozó szervekben (virágokban). Ezt a melegtermelést meg is mérhetjük, ha például termosztüvekben halmozzuk fel ezeket a szervezeteket és ily módon párolgásukat, valamint hősugárzásukat meggátoljuk (167. kép). A hőmérséklet $40-50^{\circ}$ -ra is felszáll. A kísérlet tárgyai ilyen hőfokon azután elpusztulnak, de a hőmérséklet egy ideig a működni kezdő mikroorganizmusok hatására még jobban emelkedik. Az *Araceák* erősen lélekző, virágzó virágzatában $10-20^{\circ}$ hőemelkedést is mértek. A *Victoria Regia* nagy virágjában is megfigyeltek 15° C hőemelkedést. A must erjedésekor, a trágában, felhalmozott lomblevelek tömegében is igen jelentékeny hőfejlődés tapasztalható. A nedves széna és gyapot nagy tömegei sokszor „maguktól” meggyulladnak. Ebben az esetben először a *Bacillus coli* (40° C), azután különböző penészek és baktériumok (köztük a *Bacillus caefactor*, amely a hőmérsékletet 70 fokig is felemeli) működnek közre. A széna öngyulladását különösen a mikroorganizmusok munkája révén keletkező könnyen gyulladó gázok okozzák. A dohány erjedésekor is sok hő keletkezik.

A növények fénytűneményei. A biológiai égéseket sok esetben fénytűnemények (hideg fény) kísérik. Ezt a jelenséget nevezzük a növények világításának. Nagyon szép látvány a tengeri *Peridinales*, pl. a *Ceratium tripos* világítása. Haltetemeneken, húson baktériumok (*B. phosphoreum*, *Pseudomonas lucifera* stb.) okoz szép világítást (baktériumlámpák). Az *Armillaria mellea* nevű faölő gomba micéliumai is világítanak (redves fa világítása). Sok állat világítását a sokszor velük és csak bizonyos szerveikben élő baktériumok idézik elő. A baktériumok csak oxigénben világítanak. Ezeknek a baktériumoknak fénytermelését, akárcsak egyeseknek azt a tulajdonságát, hogy csupán oxigéndús helyeken mozognak, vagy odagyülekeznek, a széndioxid asszimiláció igen érzékeny kimutatására is fel lehet használni. Az utóbb említett módszert a fény különböző hosszúságú hullámainak fotoszintetikus energiája vizsgálására is felhasználhatjuk (ENGELMANN kísérlete). Meg kell itt még említenem a Gurvitsch-féle sugárzást, amelynek létezése és természete körül még nem záródtak le teljesen az akták.

GURVITSCH és iskolája tanítása szerint előre világított, vagy teljesen sötétben tenyésztett szervezetek magosztódásuk (mitózis) alkalmával igen rövid hullámú fényt termelnek. Ez a fény a többi, közvetlenül érintkező sejteket vagy más közeli tenyészeteket is igen élénk sejtosztódásra ingerli.

Az anyagok körforgalma. Minden szerves anyagot a zöld növények és az autotrófiás baktériumok hoznak létre elsősorban a természetben. Csakis ők tudnak szervetlen anyagokból szerveset (éppen saját testüket és anyagcseréjüknek szerves termékeit) készíteni. A növények sok széndioxidot és nitrogént használnak el, úgyhogy végtére ezekben az anyagokban hiányoknak kellene mutatkoznok. Az élő világ rendkívül sokoldalú bontó munkája azonban ezeket a hiányokat ismét pótolja és újból az autotrófiás szervezetek rendelkezésére bocsátja. Nyugodtan beszélhetünk tehát az anyagok körforgalmáról.

A szén. Különösen sok szenet használnak el a zöld növények és egyes széndioxidot asszimiláló baktériumok. A levegőben aránylag igen kevés, mintegy 0,3% széndioxid van. Ezt a szabad széndioxidot semmi más vegyület (a szén-oxid sem) nem helyettesítheti. Ha nem lenne utánpótlás, akkor hamarosan megszűnnék a földön minden élet, hiszen a légkör széndioxid tartalmát csak mintegy 2100 billió kilogrammra becsülik és a szárazföld növényei évente 50—80 billió kilogrammot is elhasználnak. Szerencsére a széndioxid-asszimiláció építőmunkáját a lélekzés és égés bontó, széndioxid termelő munkája kiegyenlíti. Tízezer liter levegőben három liter széndioxid van. Ez a mennyiség körülbelül 2 gramm szénelemet tartalmaz. Ötven métermázsza száraz súlyú fában huszonöt métermázsza, azaz kétezeröt száz kilogramm tiszta szén van. Ezt a mennyiséget az illető fa körülbelül 1,200.000 köbméter levegőből tudja magábagyűjteni.

A növények és állatok lélekzése, az emberi fűtés, a gyárak, sok szenet ismét széndioxiddá alakítanak át, mégis valószínűleg a talajlélekzés pótolja a széndioxid-asszimiláció szénkötését. Beható vizsgálatok ugyanis arra a meglepő, de egyszerűsmind megnyugtató eredményre vezettek, hogy pl. a szántóföld talajában élő baktériumok és gyökerek lélekzése teljesen elegendő a szántó növényzete széndioxid szükségletének fedezésére.

A nitrogén. A nitrogén körforgalma is jelentős tényező az élet háztartásában. A zöld növények nitrogénszükségletüket csak a nitrátgyök alakjában értékesítik. A növények nitrogénszükségletét a szervezetek kiválasztó munkája és pusztuló testük fedezi. Mindezeket az anyagokat gombák és baktériumok dolgozzák fel. A természet minden egyes szerves anyagára jut valamilyen élőlény, amelynek munkája abból áll, hogy azt szétbontja. Ennek a munkának széndioxid, víz és ammóniák a főtermékei. Az ammóniákat (NH_3) a nitrifikáló baktériumok NO_3 -má tudják oxidálni. Az így megkötött nitrogént azután ismét felhasználja a zöld növény. A hüvelyesek baktériumai és a talaj nitrogénygyűjtő mikroorganizmusai szintén megkötik a levegő szabad nitrogénjét és ezt a zöld növény szolgálatába állítják. A rothadás és az erjedés, vagy pedig a denitrifikáló baktériumok munkája juttatja vissza a nitrogént a levegőbe. A növénytest többi anyagai is hasonló körforgalmon esnek át.

Amint látjuk, az anyagforgalom szerves és szervetlen testek építésében, bontásában, energiafelhasználásban és termelésben hangsúlyozódik. Ezek az egybekapcsolódó folyamatok kísérik nyomon és tartják az életet, illetve maga az élő világ gondoskodik nagyszerű berendezettségével erről az örökös dinamikus egyensúlyról, amelyben soha sincs nyugalom, hiszen az egész anyagi körforgalom energiaváltással jár mindig és mindenhol együtt. Ez nem is lehet másként, mert az összes atomközi energetikus folyamatok csakis anyagi átalakulások révén bonyolódhatnak le. A zöld növény, amikor szerves anyagait megépíti, a nap éltető erejét, energiáját, vegyi, potenciális energiák formájában halmozza fel. A lélekzés és erjedés az energiás anyagokat kevésbé energiásokká alakítják. A felszabaduló energiát arra használják a szervezetek, hogy a szükséges bontásokat (és építéseket) elvégezzék. Ezzel az örök bontással és szintézissel azonban együttjár az élet minden fejlődése, változása és mozgalmassága.

4. A NÖVÉNYEK FEJLŐDÉSE.

A fejlődés tulajdonképpen olyan növekedés, amelyet alakváltozások kísérnek. A fejlődés élettana a fejlődésfolyamatok okait kutatja.

Minden fejlődés növekedés. Ez a növekedés jól megfigyelhető a magvakon és spórákon. A magvak és a spórák különböző okokból hosszabb-rövidebb ideig pihennek. Ez a lappangó élet a nem növekedés állapota. Ennek a nyugalmi időszaknak külső és belső okai lehetnek. Az úgynevezett általános életfeltételek, amilyen a víz, hő, oxigén, bizonyos anyagok jelenléte, a legtöbb esetben megindítják az említett testek első növekedését. Ezt a legelső növekedést nevezzük csírázásnak. Sokszor azonban ezek az általános külső feltételek nem elégségesek a csírázás folyamatának megindításához. Több mag, pedig csírázásukra minden alkalmuk meg van, hosszabb pihenésre szorul. Ennek gyakran az az oka, hogy a csírák a már kész magvakban nem teljesen érettek vagy pedig nagyon nehezen duzzad meg a mag héja és így a csírá, valamint a mag egyéb tartalmát nem éri elégséges víz. A duzzadás a víz-, só-, illetve sav- és lúgtartalomtól is függ. Sok mag teljesen duzzadt állapotban sem csírázik, ha nincsenek bizonyos vegyi anyagok jelen. Más magvak csak rövidebb-hosszabb megvilágítás után csíráznak. Vannak olyan magvak is (*Amarantus*), amelyek csírázását gátolja, illetve lassítja a fény hatása.

A rügyek is nagyon sokszor tetemes pihenésre szorulnak. Pihenésük idején semmi hatásra nem csíráznak. Később már nemcsak a hőmérséklet emelésével készíthetők csírázásra, hanem a legkülönbözőbb hatók, amilyen a fagy, szárazság, fény, sötétség, sebzés, gázok stb. segítségével nyugvásszakuk igen megrovidíthetők.

A) **A növekedés általános jellemvonásai.** Növekedni csak élőlények tudnak. A kristályok növekedése kívülről befelé, illetőleg a kristálylapokra emelt függőlegesekre merőlegesen, a lapokon végigfutva történik. Végeredményben nem is ez a fontos, hanem az, hogy a kristály csak olyan anyagokat helyez önmagára

környezetéből, amelyek azonosak a kristályt már eddig is építő alkotókkal. Az élőlények növekedése megváltoztatja a felvett anyagokat és a növekedés iránya is fordított, mert belülről kifelé történik. Ezt a növekedést nem lehet megfordítani. A növekedés fontos kezdeményezője a duzzadás és az ozmózis szívas. Mindkettő jelent térfogatváltozást és nagyobbodást és bizonyos mértékig mind a kettő megfordítható, de egyik sem jelenti a felvett anyagok átalakulását és az átalakulás anyagainak gyarapodását és szerveződését. Az utóbbi körülmény jellemzi legjobban az élőlényeket e tekintetben.

B) A növekedés szakaszai. A növekedés leglényegesebb jelensége a sejtek osztódása. Általában csakis a fiatal, dúsplazmájú, vékonyfalú, vakuolumokat nem igen tartalmazó sejtek osztódnak. A sejtosztódás a mag bonyolult osztódása vezeti be (lásd 43. old.). Ezt követi a citoplazma osztódása. A két leánysejt kezdetben együttesen akkora, mint anyasejtjük volt, de később a leánysejtek eléri az anyasejt nagyságát. Rendes körülmények között a két leánysejt egyenlő nagyságú. Ezt az embrionális növekedésszakaszt a sejt hosszúságában való nyújtózó növekedése követi, amikor a plazma azonban már nem növekedik. Az élő sejt térfogatát csak a vakuolumok növelik, míg a sejtfalat magát az alkotó szénhidrátok anyagában és felületében is nagyobbíthatják, de a hosszúságbeli nyújtózó növekedés esetében fehérje nem keletkezik (28. kép).

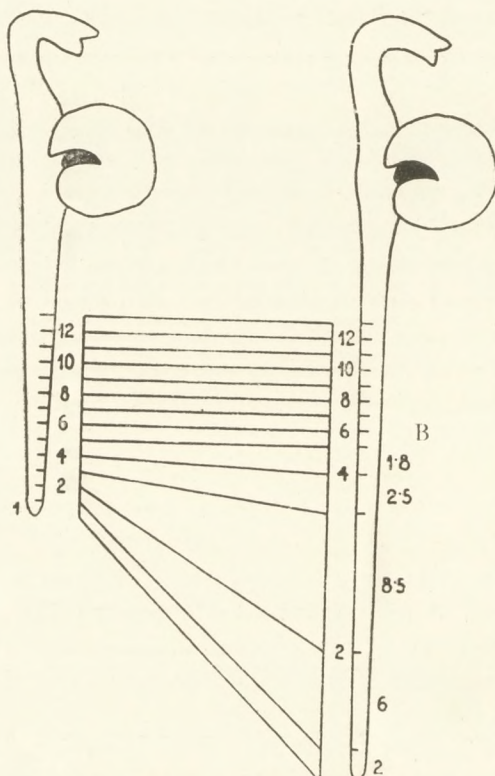
A merisztémás sejtekből keletkező és a leírt módon hosszabbodó sejtek állandósulni és egymástól különbözni kezdenek. Így jönnek létre az egyes szervek szövetei, azaz megindul a szerv belső alakulása. Az egyes sejtek nyújtózása (hosszanti növekedés) nem egyidejű és nem is egyenlő nagyságú. Feltűnő pl. a szárképletek belsejtjeinek erősebb nyúlása. A többi szövetből elválasztott bélrész meghosszabbodik. Ebből is látható, hogy az erőbben nyúló, érintetlen bélszövetet a külső, nem olyan hosszú sejtek visszanyomják. Ebből a kölcsönös nyomásból és feszítésből, a szövetfeszültségből származik a szerv tényleges hosszúsága. A levelekben, gyökerekben is kimutatható a szövetfeszültség. Az élő növények vastagságbeli növekedése keresztfeszültséget okoz. (A levágott fiatal kéreg összehúzódik). Vannak olyan sejtfaajták, amelyek, miután végérvényes nagyságukat a megnyúlásuk folytán elérték, ismét összehúzódnak. Jelentős a gyökerek rövidülése, amit a kéreg és a bél közötti sejtek ráncos összehúzódása okoz. Ez a jelenség akadályozza meg a tőleveleknek a talaj fölé emelkedését, jóllehet hordozó szárképletük hosszúságában folytonosan növekedik.

C) A növekedések mérése. A növények különböző szervei hosszúság-növekedésének mérését is eléggé könnyen elvégezhetjük. Természetesen ez a növekedés a megfigyelések rövid ideje alatt egészen csekély s ezért pl. a csírák gyökereinek növekedését vízszintes mikroszkóppal és megfelelő mikrométer léptékkel végezzük. A fényképezés is jól használható erre a célra; a mozgófényképezés még inkább.

Egy-két növény növekedése szabad szemmel is látható. A *Dictyophora* nevezetű gomba termőtestei percenként öt millimétert nőnek. A búza porzószállai-

nak növekedése percenként 1·8 milliméter. A hosszanti növekedés azonban általában percenként nem több 0·005 milliméternél.

A növények szervein kinőtt és még növekedő tájakat találunk. A növekedő tájak hosszúsága sem egységes. A legalkalmasabban úgy figyelhetjük meg ezeket a különbségeket, ha például a növekedő babnövényt a gyökerén tussal vagy egyéb módon egyenlő távolságokban finom jelzésekkel, vonalakkal megjelöljük. Bizonyos idő múlva megmérjük az egyes szakaszokat és így képet nyerünk a növekedés elosztódása felől. (168. kép).



168. kép. A gyökér növekedésének menete.
(SZABÓ nyomán.)

A növekedés helyei és ezek összes hosszúsága a különböző szerveken erősen eltérők. A közönséges gyökerek növekedésöve mindjárt a gyökércsúcs után következik és legfeljebb 5—10 milliméter hosszú. Némely léggyökér növekedésöve egy méter hosszú is lehet. Azokon a szárképleteken, amelyeken nem találunk bütyköket, egyetlenegy, mondjuk csúcsi, elég hosszú növekedésövet találunk, míg a bütykös száraz, amilyen a gabonafélék szalmaszára is, annyi növekedésövvel rendelkezik, ahány bütyök-közük, szártagjuk van. A növekedés öveit kevésbé növekedő vagy már végleges nagyságú részletek választják el egymástól. A szalmaszáraz szártagjainak alapján található a szártagbéli (interkaláris) növekedésöv. A levelek alapján is megfigyelhetjük ezt a növekedés-módot. A növekedés helyét a szövetek fiatalsága jelzi.

Megfelelő műszer, amelyet auxanométernek neveznek, a növekedés folyamatát le is rajzolja, meg is nagyítja; éppen úgy regisztrálja, mint az író barométer a légnyomás változását. A növekedés összességéből azonban nem lehet következtetni az egyes növekedések sebességére, azaz így nem tudjuk megállapítani a növekedés sebességének fizikai mértékét. (Cm. szec.) A bambuszshajtások növekedése több cm, a *Botrytis* nevű gombáé csak 0·02 mm hosszú. Az lehetséges, hogy a bambusz percenként kétszer nagyobb növekedést mutat ugyanakkora útszakaszon, mint a *Botrytis*, de ebből mégis csak az következik, hogy a bambusz sokkal lassabban növekedik. A növekedés gyorsaságának viszonylagos mértékét azok az adatok szolgáltatják, amelyek a percenkénti hosszabbodást a növekedésöv százalékában fejezik ki. E szerint a *Botrytis* növekedéssebessége 83%, a bambuszé

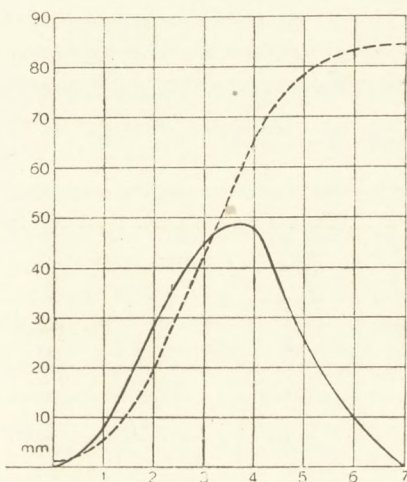
csak 1,27%. Egyes virágportömlők növekedése sebessége szintén elég nagy. Az eddig mért maximum 22%. Sok igen tekintélyesen növekedő hajtás növekedésének sebessége csupán 0,5%.

A növekedés az egész növekedésövben sem egyforma. Az öv felső és alsó szakasza lassabban növekedik, mint a középső. A naponta végzett megfigyelések azt tanúsítják, hogy egy-egy szakasz először lassan, aztán gyorsan, végül megint csak lassan nő. Ezt a jelenséget a növekedés nagy szakaszának, periódusának nevezzük. Az egyes megjelölt szakaszok annál idősebbek, minél távolabb vannak pl. a gyökér csúcsától. A gyökércsúcs közelében lévők lassan növekszenek, mivel a nagy periódus elejét élik, a középsők növekedése a legnagyobb fokú, mert a nagy periódus leggyorsabb szakában vannak, míg a hátsó övek már a periódus végét járják és alig növekszenek már. Ezt a periódusos, szakaszos növekedést minden egyes sejten is megfigyelhetjük és ennél fogva minden egyes szervben is.

A fiatal zabnövény (*Avena*) első lombleveleit jól záródó, sodrott hüvely borítja. Ezt a szervet koleoptilának nevezzük. A koleoptila fényben nem növekszik nagyra és hamar áttörik csúcsát a benne rejlő lomblevelek. Sötét helyen a koleoptila tetemesen meghosszabbodik és növekedésében jól megfigyelhető a nagy növekedésperiódus lefolyása. A mellékelt képen (169. kép) látható alsó görbe milliméterekben és félnaponként ábrázolja a zabkoleoptila növekedésének nagy szakaszát.

Azt is megtehetjük, hogy az egyes félnapok végén elért hosszúságokat is felrajzoljuk a növekedés folyamatának ábrázolása céljából. Ezeket az értékeket az alakja miatt S-görbének nevezett felső függvény ábrázolja. Az élőlények fejlődésmenetét irányító biofizikai tényezők szerepének tisztázásával nálunk különösen KOVESSI FERENC foglalkozik.

C) A külső tényezők hatása a növekedésre. A nélkülözhetetlen életfeltételek erejének változása a növekedés folyamatának nagyságbeli alakulását vonhatja maga után. A zab koleoptilája sötétben és egyébként állandó külső körülmények között rövid időközökben (5 perc) eléggé egyenletes ütemben növekedik. Az így nevelt koleoptilák megvilágítása ezt az egyenletes növekedést hullámszerűvé alakítja át. A növekedés menetének ezeket a változásait növekedésreakcióknak nevezzük. A most említett fényokozta növekedésváltozás sötétben bizonyos idő múlva újra eltűnik. A hőmérséklet, a nedvesség, a nehézségerő „változásai” (a nehézségerőre vonatkozó megfigyeléseket majd később tárgyalom) szintén reakciókat idézhetnek elő. Ezek a változások, amint látjuk, csak nagyságbeliek,



169. kép. A növekedés folyamatát ábrázoló görbék. (SIEP nyomán.)

de vannak külső hatásokon nyugvó, minőségbeli növekedésváltozások is. Ezek a külső okok a növény szerveit alakíthatják vagy pedig a fejlődés egyes szakaszainak megindulását válthatják ki.

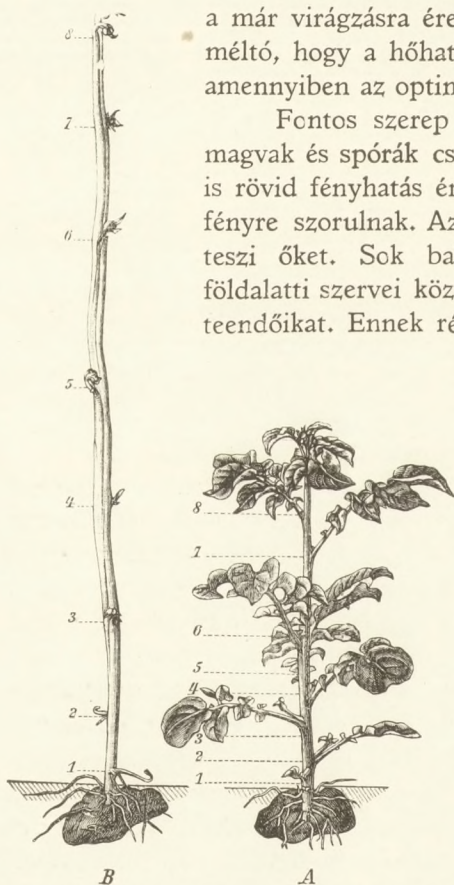
A növénytest növekedése és alakulása csak bizonyos hőmérsékleten történik. A tenyészőcsúcs sejtjeinek osztódása (embrionális növekedés) igen erősen függ a hőmérséklettől. Megfigyelték, hogy a vöröshagyma tenyészőcsúcsának embrionális sejtjei a különböző hőfokokon különböző sebességgel osztódnak. (10°: 293 perc; 20°: 241 perc; 30°: 92 perc.)

A sejtek hosszúságbeli növekedésének nagy periódusa is függ a hőmérséklettől. Az egyes éghajlati övek növényei eltérően viselkednek, sőt gyakran ugyanannak a fajnak fajtái is más és más hőmérsékletre alkalmazkodnak. A hideg- és hőálló fajták gazdasági jelentősége igen nagy. Sok délszaki növény növekedés-minimuma 10° körül van, viszont a mi koratavaszi növényeink (hóvirág), vagy a havasi tájak *Soldanellája* már kissé 0°-on túl is erőteljesen növekszenek.

A fűfélék csíranövényei jól tenyésznek olyan hőfokon, amely a már virágzásra érett, fejlett növénynek kárt okoz. Figyelemre méltó, hogy a hőhatás optimuma a hőhatás tartamától is függ, amennyiben az optimum az alacsony hőfokok felé tolódik el.

Fontos szerep jut a fénynek is a növekedésben. Bizonyos magvak és spórák csak akkor indulnak fejlődésnek, ha legalább is rövid fényhatás éri őket. A zöld növények majdnem állandó fényre szorulnak. Az örökös sötétség hatása átalakítja, pozsgássá teszi őket. Sok baktérium, gomba, mag, a zöld növények földalatti szervei közvetlen fényhatás nélkül is rendesen végzik teendőiket. Ennek részben az is az oka, hogy sok tartaléktáp-

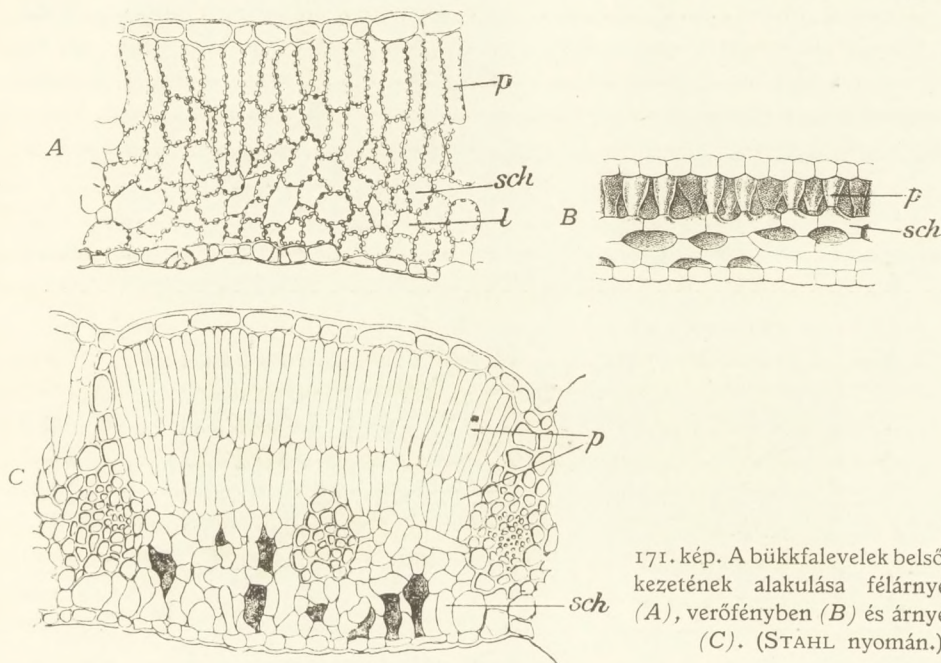
lálék van bennük, másrészt pedig állandóan érintkeznek, még pedig szerves egészet alkotva, a földfeletti zöld tagokkal. A zöld növények is kibírják bizonyos ideig a fényhiányt, de a fény teljes hiánya, vagy állandó, nagyfokú csekélyisége átalakítja őket. Egész más külseje van a sötétségben és a fényben nevelt növényeknek, minthogy a sötétség, azaz a fény hiánya, egyes szervek növekedését fokozza, másokét gátolja. A szárképletek sárgák, hússak lesznek; a levelek satnyák maradnak. Ez a megállapítás különösen a kétszikű növényekre vonatkozik, míg az egyszikűek szárának növekedése sokszor nem változik, de leveleik túlságosan meghosszabbodnak. (Lásd mindamellét a spárgát.) A kloropaszták sárga festékei fény nélkül is keletkez-



170. kép. A burgonya sarjadzása fényben (A) és sötétben (B). (PFEFFER nyomán.)

nek (idetartoznak a karotinok és a xantofill), de a klorofillfestékek képződése megáll. Ennek következtében az így elsárgult, „etioltált“ (*etiolement*) növények szárképletei fehérek, leveleik sárgák. A sejtek falai sem vastagodnak. A gombákon is megfigyelték az elsötétítés hatását.

A fénynek, amint látjuk, növekedésgátló és serkentő hatása van. A levél közepes fény mennyiség hatására is eléri végleges nagyságát. A mi szélességeinken a hajtások inkább éjjel növekednek, mint nappal. Ennélfogva nyugodtan beszélhetünk a növekedés tisztán külső körülményeken nyugvó napi periódusáról is.



171. kép. A bükkfalevelek belső szerkezetének alakulása félárnyékban (A), világban (B) és árnyékban (C). (STAHL nyomán.)

A megvilágítás erőssége szintén jelentékeny alakító tényező. A *Campanula rotundifolia* kerek, fiatal leveleinek alakját gyenge, rendes, keskeny lombleveleinek formáját pedig erős fény határozza meg. A megvilágítás erejének megfelelő csökkentésével a később fejlődő „rendes“ lomblevelek helyett ismét fiatal alakú levelek fejlődnek. A napverőn és az árnyékban élő levelek belső szerkezetének különbségeit elég jól szemlélteti 171. képünk.

Vannak árnyéklakó növények; nemcsak a szárazföldön, de a vizekben is. A vizekben, különösen a tengerekben, a fitoplankton életközösségének bizonyos jellemző formái is idetartoznak.

A különböző színű sugarak hatása eltérő, azonos erősség esetén is. A rövidhullámú fény gátolja a szárképletek megnyúlását, viszont a vörös sugarak hatása olyan, mint a sötétség. Az ultraibolya fény sokszor kártevő. Gátlóan hatnak a növények növekedésére a rádium- és a röntgensugarak is. Megfelelő kis mennyiségek viszont erősíthetik a sejtek osztódását és a növény növekedését.

Nemcsak a fény ereje (intenzitása) és minősége hat alakítóan a növényekre, de igen gyakran még a f é n y i r á n y a is. A fény a növények részarányosságát is megváltoztathatja, illetve átalakíthatja. A borostyán kúszó hajtásainak csupán árnyékos felén képződnek a járulékos, tapadó léggyökerek és ezáltal a szárképlet egyébként csavaros részarányossága dorziventrálissá válik.

A n e h é z s é g e r ő szintén hatással van a növénytest alakulására és fejlődésére. Ez az erő mindig jelen van, de r e n d e s helyzetű növényeken, vagy szerveken nem észleljük hatásait. Fejével lefelé fordított növény gyökerei és szárképletei megrövidülnek. A növény főtengelyével a nehézségerő, amely a föld-sugár mentén a föld középpontja felé irányul, szöget alkothat akkor, ha a növény főtengelye nem esik a föld-sugár irányába. Ekkor hasonló görbüléstüneteket



172. kép. Állandó szél hatása a mandulafa koronájának alakulására. (SCHILBERSZKY KÁROLY felvétele.)

tapasztalhatunk a növények növekedő helyein, mint a fény esetében. A nehézségerő a növény részarányosságát is megváltoztathatja. A nehézségerő miatt kétoldali részarányos virágok szerkezete a nehézségerő egyoldalú hatásának megszüntetésével sugarassá válik. A fenyőfélék vízszintes helyzetű ágainak alja sokszor erősebb növéssű, mint felső oldaluk (hipotrófia). Gyakran éppen ellenkező jelenséget tapasztalunk a kétszikű fák ágain (epitrófia).

Nagyobb t e c h n i k a i a k a d á l y o k sokszor teljesen megakasztják a sejtek növekedését. A növény ilyenkor alakjával az akadályokhoz alkalmazkodik. A gyökerek és gyökérszőrök sokszor úgy kitöltik a talaj hézagait, mintha az folyékony tömegként szívta volna őket magába. Egyes vízi növények, amilyen a *Chara* nevű moszat is, folyóvízben sokkal hosszabbak lesznek, mint állóban. Az állandó szél is igen jellemző módon változtatja meg a növények alakját és növekedését. (172. kép.) A növények növekedésének ereje sokszor sziklákat, szilárd felületeket hasít szét és emel föl.

A régebben mondtak nyomán könnyen megérthetjük, hogy víz nélkül nincsen növekedés, mert az életjelenségek is szünetelnek nélküle, de a hosszanti növekedés is nagy mértékben a vízfelvétel nyomán jön létre. Bizonyosfokú duzzadság tehát a növekedésnek és fejlődésnek elengedhetetlen kelléke.

Víztelen talajon, akárcsak a tápláló sók hiányában, törpék maradnak a növények. A fiatal hajtás vizét gyakran az öreg, már nem élő szervekből szerzi meg. A víztartós berendezésű növények tartalékvizük segítségével növekednek.

A légkör páratartalma is feltűnően alakítja a növény külső és belső szerveit. Nedves levegőn megnyúlnak a szártagok és a levelek nyele is. A levelek nagyok, vékonyak, nem szőrösek; szövetük szerkezete egyszerűbb. A száraz levegő erősíti, vastagítja a kutikulát, az erősítő szövetek és edénynyalábok száma is nő. A hámsejtek és a zárósejtek megkisebbednek, de utóbbiak száma megnövekedik. A nitrogén hiánya hasonló jelenségeket okoz.

A külső hatók közé tartoznak az úgynevezett mérgek is. A *Spirogyra* nevű fonalas moszatot a rézsulfát már százmilliomodos higításban is megöli. Sok mérgező anyag igen híg oldatainak serkentő, stimuláló hatása van nemcsak a növekedés, hanem a táplálékok jobb kihasználása tekintetében is. Jelentős eredményeket szolgáltat a magvak, a spórák, a virágporaszemek fejlődésének vegyi ösztökélése. Bizonyos gázok serkentően, mások gátlóan hatnak.

Némely növény virágpora már desztillált vízben is csírázik. Máskor a cukor, citromsav serkenti növekedését. Bizonyos fajok virágportömlőinek keletkezését a bibe anyagai indítják meg. Számtalan élősködő, alsóbb- és felsőbbrendű növény spórái, magvai csakis gazdanövényeik ismeretlen hatóanyagainak ösztökélésére indulnak fejlődésnek.

Nemcsak az élettelen környezet, de az élősködők is átalakíthatják a növények szervezetét. Mindenki ismeri pl. a gubacsot, amelyet leginkább darázslárvák okoznak.

Az élősködők sok esetben csak szöveti elváltozásokat hoznak létre, máskor pedig a szerveket is átalakítják, sőt, több esetben működésük új szervek serkentésére ösztökéli a növényt. Az *Uromyces pisi* nevű rozsdagomba terméketlen és magasnövésű növénné alakítja a közönséges kutyatejet; e növény levelei a gomba hatására rövidebbek és húsosabbak lesznek. Minden jel szerint az idegen élősködő szervezetek alakító hatása hormonszerű anyagok működésére vezethető vissza.

A szervezetek állandó, meg nem másítható, legfeljebb kombinálható tulajdonságait belső, örökítő fejlődéstényezők szabják meg. A sejt és sejtmegosztódás nagyszerű mechanizmusa is gondoskodik arról, hogy e tekintetben minden növényegyed minden megfelelő sejtje lehetőleg teljesen azonos értékű legyen. A növények fejlődésének, szerveződésének közelebbi fontolgatása mégis arra tanít, hogy az egységes örökségű petéből nagyon is különböző szervekkel rendelkező, különböző működésű sejtek és szövetek és ezek rendszerei alakulnak ki. Ennek elsősorban időbeli okai vannak, mert a már meglevő tagok szervező, organizáló hatást fejtenek ki a még alakulókra.

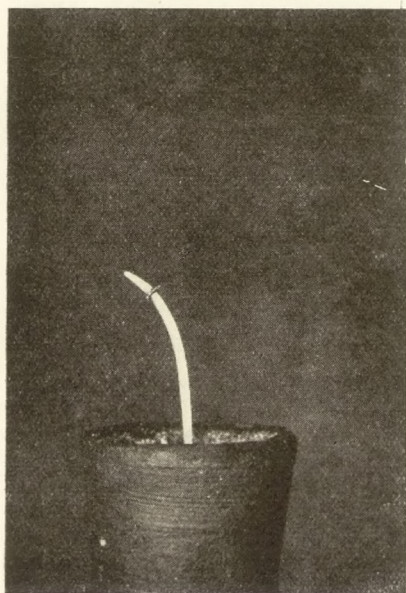
D) A sejtek osztódásának és növekedésének okai. A sejtek növekedését rendszerint sejtosztódás követi, amelyet a mag osztódása vezet be. A sejtek nagysága, térfogata, valamint sejtmagvaik nagysága és térfogata egyenesen arányosnak egymáshoz. Nagy sejtnak nagy magja, vagy több kisebb magja, kis sejtnak kis magja van. Ez a citoplazma—magplazma viszony (reláció) szabálya.

Azt szokták mondani, hogy a citoplazma-magviszony megváltozása váltja ki a sejtosztódást. Ez többé-kevésbé igaz is, de amint a csírázás jelenségei bizonyítják, az osztódások megindulását külső feltételek is ösztökélhetik. Szervetlen és szerves „külső” anyagok is kiváltják ezt a mindennél fontosabb jelenséget. A fenil- és a naftalinecetsav például ilyen hatású anyagok. Az indolil-ecetsav (β indolil-ecetsav) töményebb oldatai szintén hasonlóan hatnak. A növényi szervezetek megsebzésekor úgynevezett sebhormonok keletkeznek, amelyek szintén sejtosztódásokat eredményeznek. Ma még nem ismerjük azokat a fajlagos, specifikus anyagokat, amelyek a sejtosztódásokat kiváltják, de több ilyen hatású, nem specifikus anyagról van tudomásunk. KÖGL és munkatársai azt találták, hogy az élesztőben vannak olyan anyagok, amelyek a sejtosztódásokat kiváltják. A magasabbrendű növények osztódásaiban ezeket a hatókat bátran nevezhetjük *merisztineknek*, a sejtosztódást okozó anyagoknak.

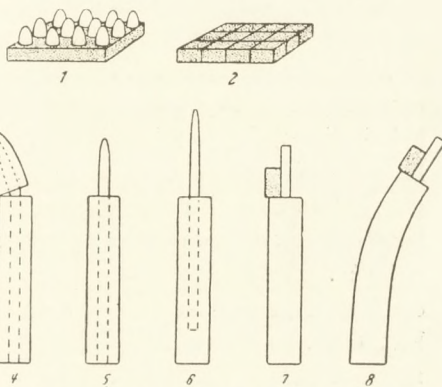
Az elmúlt évek és évtizedek vizsgálatai azt is kiderítették, hogy a sejtek szaporodásának második állomása, a sejtek hosszanti, nyújtózó növekedése, szintén ilyen anyagok jelenlétéhez van kötve. Ezeknek az *auxineknek* már igen csekély mennyisége is megindítja ezt a folyamatot. Ilyen auxinanyagokat legelőször a zab koleoptilájának csúcsában találtak. Érdeemes megjegyezni, hogy ezeknek a vizsgálódásoknak kezdetei jórészt magyar szerző, PAÁL ÁRPÁD, nevéhez fűződnek. Az auxinokat a legfelső sejtek termelik és innen vándorolnak ezek az anyagok függőlegesen lefelé és felgerjesztik a mélyebben fekvő övek sejteinek nyújtózó növekedését. Vágjuk le a fiatal zabkoleoptilána legfelső, körülbelül kétmilliméteres csúcsát. E sebzés után a sejtek hosszúságnövekedése megáll. Az újból helyére tett szeletke a csonka alsó rész sejteinek nyújtózó növekedését ismét megindítja. Ez a jelenség már magában is megengedi azt a feltevést, hogy itt anyagi hatásokról van szó. Ha a kis lemetszett csúcsot duzzadt ágártömbökre helyezzük, akkor az auxinanyagok belevándorolnak ebbe a kolloidába. Helyezzük ezeket a kis ágártömböket a csonkított koleoptilkra. Rendkívül érdekes, hogy ezek a kis tömbök ugyanolyan hatásúak, mint a visszahelyezett koleoptilacsúcsok. Más gabonaneműek, amilyen a búza, rozs, lefejezett koleoptiláit, sőt virágaiktól megfosztott kocsányokat szintén hasonló, hosszanti növekedésre serkent a zab auxinje. Ez a jelenség azt bizonyítja, hogy az auxinok nem specifikusak. Az auxinek a magasabbrendű növényeknek különösen fiatal szerveiben, tengelyképleteiben, leveleiben, levélrügyeiben vannak elterjedve. A magvak tartalék helyein is megtalálhatók és a kis csírák nyújtózó növekedéseit itt is szolgálják.

A növényekben ezek a hatóanyagok igen kis mennyiségben fordulnak elő, s ezért kimutatásuk céljából a vitaminkutatás biológiai módszereihez fordultak és így kísérelték meg jelenlétük megállapítását, mégpedig sikerrel.

A hormonkutatásokból tudjuk, hogy ezek az anyagok már igen kis mennyiségben hatásosak és nagyon sokszor meghatározott középpontokban képződnek (endokrinikus mirigyek). Az auxinok hasonló sajátosságai arra készítetnek bennünket, hogy őket is a hormonokhoz számítsuk, annál is inkább, mert az auxin gátló anyag is, amennyiben megakadályozza az oldalhajtások korai fejlődését. A növényhormonokról, illetve vitaminokról már másutt is szoltunk. A vitaminok alapforrása mindenesetre a növénytest. A növényevő állatok vizeletében minden növényhormon megtalálható. A vitaminok szerepéről a növénytestben nem tudunk még túlsokat, de megállapították, hogy a C-vitamin csírázáskor nagy mennyiségben keletkezik. Azt is megfigyelték, hogy némely orchidea B_1 vitamin nélkül, hiánybetegségben szenved.



173. kép. A zab koleoptilájának csúcsát levágva a metszés helyére kis zselatinos spanyolnád lemezkét teszünk és a csúcsot ismét visszahelyezzük. A csúcsban termelt auxinanyag bevándorol a koleoptilába és az oldalt megvilágítva, görbülten növekedik. (PAÁL nyomán.)



174. kép. A növekedési anyag hatásának kimutatására szolgáló kísérletek. (WENT nyomán.) 1. Ágár-lemezke 12 koleoptila csúccsal. 2. E csúcsok eltávolítása után a lemezt szétosztjuk 12 kockára. 3. Ép koleoptila. 4. Körülmetszett koleoptila a belsejében lévő levél csúcsával. 5. A koleoptila végének eltávolítása után az első levelet kissé kihúzzuk (6) és ennek a csúcsát is levágva, oldalához ágár-kockát helyezünk, minek következtében a koleoptila ezen az oldalon erősebben növekedvén, meggöribül. (WENT nyomán.)

Az öröklítés hordozói a kromoszómában elhelyezkedő gének. Az átöröklítés emberben, állatban, növényben teljesen azonos menetű és ezért mondhatjuk, hogy a gének hatása a tátika nevű növényben ugyanolyan, mint a muslicában, vagy az emberben.

Az öröklésről szóló fejezetben megismertük a gének hatásait. Ez mindenesetre egészen olyan, mint a hormonok működése. Arra a következtetésre kell tehát jutnunk, hogy a kromoszóma génjének hormonszerű anyagot kell termelnie, amely a hatást kifejti.

E) A sejtek visszaszerző ereje. Az élőket, tehát a növényeket is őrző és megtartó öntevékenységnek érdekes bizonyítéka a különböző fajok sejtnagyságainak állandósága. Az egyes növénytestek sejtnagyságát összehasonlítva, azt találjuk, hogy a sejtek méreteinek közepese az egyes növényfajokra jellemző és állandó.

A szervek állandósult sejtjei rendes körülmények között nem változnak meg többé. Az élet folyama azonban nem síma sodrú s nem is könnyű. Sérüléseknek, veszteségeknek minden élő test szerkezete, az öregedés természetes során is, alá van vetve. Az ember és a magasabbrendű állatok szervezhelyreállító munkája sérülések nyomán, sebgyógyulásokban nyilvánul meg. Ez az újraképző, restitúciós folyamat a növények testén igen nagy mértékben tapasztalható és pedig leginkább csonkítások után, és különösen olyan helyeken, ahol a sértetlen növényen semmiféle növekedés nem mutatkozhatnék többé. Az újraképződés helye lehet maga a sebhely (reparáció), avagy ez a folyamat távolabb fekvő helyeket is igénybevesz (regeneráció).

Az alsóbbrendű növények reparációja igen gyakori jelenség. A felsőbbrendűeken kivált a fiatal, merisztémás szövetek alkalmasak erre a feladatra. Különösen a gyökerek tenyészőcsúcsán figyelhető meg ez a jelenség, de csak akkor keletkezik újra a tenyészőcsúcs, ha a seb nincs távolabb a tenyészőcsúcs tetejétől fél milliméternél.

Hosszúságukban kettészelt gyökércsúcsok két csúccsal gyógyulnak. A szárképletek tenyészőcsúcsain az ilyen reparációs folyamatokat még nem észlelték, a levélkezdeményeken is nagyon ritkán. A regeneráció viszont a növények életében igen elterjedt jelenség. Ez a folyamat úgy zajlik le, hogy a seb közelében új szerv keletkezik a régi helyett, vagy pedig a kezdeményeiben már ott rejtőző indul fejlődésnek. Az alsóbbrendű növényeken igen sok példáját találjuk a szervek ilyen újraképződéseinek.

A virágos növények testén igen gyakori a gyökerek képződése. A *Pelargonium*-félék, a fűzfa és számtalan más növény hajtásainak leválasztása és elültetése megindítja a gyökerek képződését ezeken a hajtásokon. Némely növény szárképleteinek régebbi büttykein fejlődnek szívesen ezek a járulékos gyökerek. Az ilyen szárképlet rendszerint teljes növénygye egészül, amennyiben az esetleg már meglévő rügyek kihajtanak, vagy pedig teljesen új szártenyészőcsúcsok keletkeznek. A *Begonia* leszelt levélképletei is tudnak gyökeret verni. A levágott gyökerekből is keletkeznek egészen új növények. Indák, virágok, sőt termések is fejlődnek egészen új rügyeket (175. kép).

A virágos növények szárának eltávolított tenyészőcsúcsát a legfiatalabb levél-



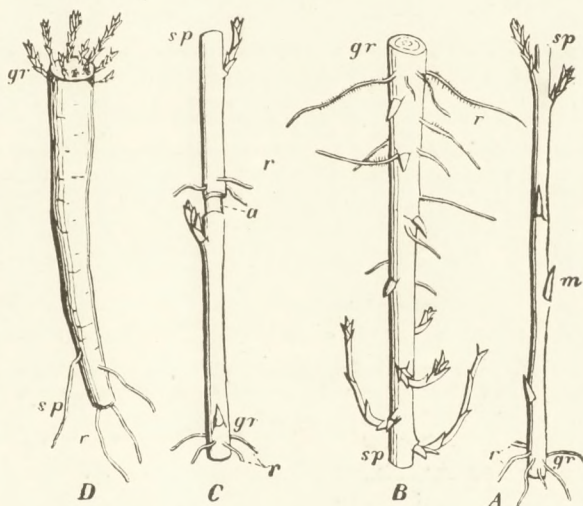
175. kép. Dugványozásra használt begónialevél, amelynek különböző részén rügyek fejlődtek és ezekből sarjak hajtottak ki. (STÖPPEL nyomán.)

kezdemény felett helyezkedő szármerisztéma újjal pótolhatja. Ez a jelenség teljesen embrionális sejtekből történő regeneráció.

Sokkal érdekesebb ennél az a jelenség, amikor az állandósult szövetek sejtjei kezdenek ismét osztódni és növekedni. Nagyon sokszor regenerációs fészkek, az úgynevezett kallus fejlődik először (regenerációs blasztéma) és teljesen ebben az egyalakú sejtet tartalmazó sarjadzásban keletkeznek azután a hajtáskezdemények. A legérdekesebb eset azonban mégis az, amikor nem keletkezik ilyen visszaszerző blasztéma, kallus, hanem az állandósult parenchima, vagy hámsejtek tenyésztőcsúcsokká sarjadzanak. A *Begonia* levelének egyetlen hámsejtje egészen új merisztémát és ebből teljesen új növényt hoz létre. A *Torenia*-félék levelein bárhol keletkezhettek új hajtások. A *Begonia* leválasztott lombleveleinek átvágott erein a sebhelyek mögött keletkeznek új gyökeres hajtások.

F) A növénysejt totipotenciája. Ezek a tények azt bizonyítják, hogy a kész növénytest kis részletei, sőt egyetlen állandósult lomblevélhámsejt is tudnak újraosztódni és teljesen egész, új növényt alkotni. Ezek a figyelemreméltó jelenségek a növénysejt totipotenciájára vallanak. A már állandósult sejtben új körülmények között fölébred az ősi, embrionális, merisztémás jelleg, azaz differenciáltsága megszűnik és új szervet, új növényt alkotni tudó, öröklött prospektív potenciája ismét a maga teljes egészében működésbe kezd. Nagyon sokat foglalkozik ezekkel a kérdésekkel az állati fejlődés kísérleti élettana is. Különösen ROUX, DRIESCH, DÜRKEN, MANGOLD, SPEMANN és még igen sok neves külföldi és hazai kutató dolgozott és munkálkodik e téren nagy sikerrel. A kertészet rendkívül nagy hasznát látja az itt egészen röviden vázolt szaporításnak. (V. ö. V. fejezet).

G) A növénytest sarkossága. Már a legsalsóbbrendű, különösen a helyhezköttött egy- vagy többsejtű növényeken sokszor igen eltérő alakú alapot és csúcsot különböztethetünk meg. A kifejezett kétcsúcsosság azonban különösen a magasabbrendű növények sajátossága. Régi kísérlet az már, hogy nedves térben, eredeti, nem fordított helyzetben felfüggesztett fűz-



176. kép. A növényi részek sarkosságát bizonyító kísérletek. A: Fűzfaág rendes felálló helyzetben, alul a gyökérpólus (gr), amelyen gyökerek (r) fejlődnek. A szár középrészén fejletlen rügyek vannak (m), felül pedig a szárpóluson (sp) a rügyek hajtássá fejlődnek. B: Erősebb ágdarab fordított helyzetben felfüggesztve. C: Meggyűrűzött ágdarab, amelyen a gyűrűn (a) felüli rész alsó pólusán gyökerek, a gyűrű alatti rész felső pólusán rügy fejlődik ki. D: Gyökér- darab normális helyzetben, felül szárpólussal, alul gyökérpólussal. (VÖCHTING nyomán, WARMING

—JOHANNSEN könyvéből.)

faágnak főként az alsó részén fejlődnek gyökerek és az esetleges ágrügyek közül különösen a felsők hajtanak ki. Fordított ágak alsó részén az ágrügyek, felső részén pedig a gyökerek hajtanak ki. Ez a második kísérlet a növények sarkosságának belső okaira utal (176. kép). Alsóbbrendű növényeken a visszaszerzéssel kapcsolatban is megfigyelhető a csúcsiság.

A magasabbrendű növények megtermékenyített petesejtje rögtön két tenyésztőcsúcsot formál. Az egyik a leendő szár, a másik pedig a gyökérképlet tenyészőcsúcsa. A petesejt csúcsisága rendszerint állandó jellegű. A virágtalan növényekben gyakran valamely külső tényező dönti el a csúcsok értékét. A zsurló (*Equisetum*) spóráinak csírázásakor a ferdén beeső fény hatására a megvilágított helyeken a felső csúcs, az árnyékos spórahelyeken pedig az alsó csúcs kezdeményei keletkeznek.

A fordított fűzfaágakon a földnehézség is beleszól még a gyökerek és hajtások keletkezésébe, amennyiben nem csupán a vessző két vége táján jönnek csak elő, hanem közben is. Vízszintes helyzetű kísérleti anyagon is megfigyelhetjük a földnehézség hatását annyiban, hogy az ágak felső (apikális) részén kihajtanak a rügyek, de a vízszintes ág felső oldalán is jelentkeznek egészen az alapi bazális övig. Görbített ágakon a legjobban növekedő hajtások a görbület csúcsán keletkeznek.

A petében már előreképzett szár- és gyökértenyészőcsúcsok különbözősége végérvényes, mégis megesis pl., hogy a *Listera cordata* gyökércsúcsai belső okokból szártenyészőcsúcsokká alakulnak át.

A gyermekláncfű gyökérdarabkáiból teljes növények fejlődhetnek. A felső sebhelyen leveles hajtások, az alsón gyökerek keletkeznek. A hajtások növekedését megakadályozhatjuk azáltal, hogy a gyökér felső részéből naponta korongokat vágunk le. Ebben az esetben a gyökerek helyén is szárképletek törnek elő.

A gyökerek felső sebet auxin tartalmú péppel burkolhatjuk. Ekkor az alsó sebhelyen gyökerek keletkeznek. Ezek a tények a kettős csúcsiság kölcsönhatásaira vallanak, azaz az egyes szervek között viszonyosság, korreláció működik. Előbb is említettem már, hogy a növénysejt totipotens. Nemcsak a petesejt ilyen, de a belőle keletkezett, már állandósult szövetsejtek is.

H) A szervek kölcsönhatása. Az a kérdés, mi az oka annak, hogy a totipotens sejtek a rendes fejlődés során prospektív potenciájuk egy részét rejtve tartják. Ez a megkötöttség mindenképen a sejtek kölcsönhatásától függ, hiszen a visszaszerző kísérletek meggyőzhettek a felől, hogy új körülmények között teljes képességeiket ismét ki tudják fejteni. Ez a teljes visszaszerzőképesség a szerveződés haladó kötöttségében mindinkább egyoldalú lesz. A szervezetek sejtjeinek kölcsönhatása végeredményben a sejtek önszabályozásának (reguláció) egyik alakja. E nélkül nem épül meg a szervezet, nincs szerveződés, amely a különböző feladatok megosztásában, összehangolásában és teljesítésében nyilvánul meg.

1. Önszabályozás. Nemcsak a sejtek hatnak egymásra kölcsönösen, hanem a már kész szervek is. Az idevágó kísérletek módszere abban áll, hogy egyes szerveket eltávolítunk és megvizsgáljuk, hogy ezek, avagy a meg-

maradt növényrészek miként viselkednek. Az az eljárás is sok eredménnyel jár, ha valamely szervet mesterségesen odahelyezünk, ahová eredetileg nem tartozott.

Egy szerv eltávolítása következtében mások megnőnek (kompenzáció). Egyes hónaljrügyek kihajtása sok más rügy nyújtózó növekedését megakasztja. A vezérhajtások eltávolítása következtében az alvó rügyek egy része gyorsan kihajt. Ezek a kölcsönhatások részben hormonális eredetűek.

A burgonya vízszintes földalatti hajtásainak csúcsrügyeiből keletkező gumók földfeletti, függőleges, zöldleveles hosszú hajtásokká alakulnak, ha az eredeti leveles hajtást idejében eltávolítjuk. Ez és még számos más kísérlet megmutatja, hogy egyes szervek minősége teljesen megváltozhatik.

A sejtek és szervek nemcsak gátolják, hanem pozitív értelemben is meghatározzák (determinálják) egymást.

A sejtmagvak helyzete hatással van a sejtfal keletkezésének helyére. A rügyek merisztémája hat a szárképlet már állandósuló alsóbb szöveteire, például a vezető pályák kialakulására. A kambiumból keletkező vezetőpályák, az edénynyalábok képződésében minden jel szerint, a rügyből eredő hormonális anyagok is részt vesznek.

2. Az átültetés. A szervek kölcsönhatását jól tanulmányozhatjuk szervátültetések segítségével is. A transzplantáció fejlett módszereinek útján könnyen sikerül valamely leválasztott részt egy másik sebhellyel összenöveszteni. A földben gyökerező alanyra ültetjük az ojtóágot. Ezek az ojtások rokonfajok között is sikerülnek. A kölcsönhatás már abban is megnyilvánul, hogy a két sebhelynek összenövése következtében az ojtványon nem keletkeznek új képződmények, hanem a két fél egymás szerveit mintegy kölcsönveszi, örökbe fogadja. A két összenőtt rész, az alany és az ojtó vessző (vad-alany, nemeság) sokféleképpen tud hatni egymásra. Az újraképződés, a visszaszerző erőn alapuló ojtás, szemzés, bujtás, dugványozás a kertészet nagy tudományának és művészetének igen értékes és rendkívül fejlett módszerekkel rendelkező területe. Az élő növényekre ojtott egyéves növénytagok élete meghosszabbodik, viszont az élettartam megrovidítése is elérhető.

Sokszor még az is megesik, hogy megfelelő alzatra ojtott levélrügy virágos hajtássá alakul át.

A különböző fajú összetevők faji tulajdonságai ojtások alkalmával a legtöbb esetben megmaradnak.

1) **A kimerák.** Igen érdekesek e tekintetben az úgynevezett ojtásos korcsok.



177. kép. Paradicsomra ojtott fekete csu-
csor. A rügyből szektorális kimerá fejlődött,
a csucsrész pontozott, a paradicsomrész
fehér. (WINKLER nyomán.)

WINKLER a fekete csucsor paradicsomra (177. kép) ojtotta. Az alany és az ojtóág összenövése után az ojtás helyét átvágta. A sebhelyen járulékos hajtások sarjadtak. A hajtások között voltak olyanok is, amelyek mind a két faj tulajdonságait viselték. A sok kísérlet során sikerült olyan kettős tulajdonságú hajtásokat (kimérákat) is előállítani, amelyek közvetlenül a két összetevő összenövés helyéből sarjadtak s ezért egyik felük a csucsor, a másik pedig a paradicsom szövetéből épült meg. Sikerült továbbá olyan kimérákat is nyerni, amelyek külsőleg egységeseknek látszottak, mégpedig olyan értelemben, mintha a két faj közötti ivaros folyamat



178. kép. A csucsor (1), a paradicsom (2), a kiméra (3) és a burdo (4) képe. (HEGI és WINKLER nyomán rajzolta SURÁNYI P.)

eredményei lettek volna. A közelebbi vizsgálódás mégis kiderítette, hogy nem hibridek ezek az alakok, hanem kimérák, amelyek a két összenőtt faj változatlan részeiből tevődtek össze. Az összenövés azonban nem hosszúságukban történt, hanem a járulékos hajtás tenyészőcsúcsának külső és belső egymást borító rétegei a két faj szöveteiből szerveződtek, külön-külön. Ezeket periklinális kiméráknak nevezzük a 177. képen ábrázolt szektorális kimérákkal szemben. A periklinális kimérák tehát úgy keletkeztek, hogy a járulékos hajtások tenyészőcsúcsát mindkét faj merisztémája építette olymódon, hogy az egymást borító rétegek közül az egyik a csucsor, a másik a paradicsom sejtjeiből keletkezett. Régebben más növények között is sikerült hasonló képződményeket létrehozni. A csucsor és a paradicsom között sokféle felépítésű periklinális kiméra keletkezik.

Több esetben sikerült olyan járulékos hajtásokat is tenyészteni, amelyeket csak az egyik faj szövetei alkottak. Ezeken nyoma sincs a másik faj hatásának.

A legérdekesebbek a sokezer kísérlet közül mégis azok a periklinális kimérák, amelyeknek hámsejtjei a csucsor és a paradicsom sejtjeinek egybeolvadásából keletkeztek. Ebben az esetben nem sejtközötti, hanem valódi, a sejtekben történt keveredésről van szó. Ezeket az alakokat burdóknak nevezzük (178. kép).

J) A fejlődés szakaszossága. A külső tényezők sokszor szakaszossá teszik a növények fejlődését, de ezek a szakaszok egyáltalán nem olyan jellemzők, mint a belső okokon alapuló váltakozások. A maga helyén már megemlékeztünk a növekedés nagy periódusáról. Itt még más jelenségeket is meg kell említenünk. Ilyen szembeszökő tünetény a nyugalom ideje. A mi tájainkon látjuk, miként viselkednek a növények télen és tavasszal. A délszaki, eléggé állandó éghajlatú esős erdőöv sok növénye időszakonként szintén megállítja fejlődését és hullatja lombzatát. A levelek képződése tehát ezeken a tájakon sem folytonos, hanem ott is van pihenés. Az év folyamán többször is kihajtanak a fák. Minálunk sem az őszi idő hidegebb szaka állítja meg mindig a növények növekedését, hiszen sok növény lombzata májusban, júniusban nem fejlődik már tovább, sőt az állandó-jellegű, délszaki évben növekedő, odaszállított, ott elültetett növényeink fejlődése éppúgy időszakos, mint idehaza. Nagyon jellemző odalent az időszakosság olyan értelmű megváltozása, hogy délszakra meghonosított fáinkon vannak lombos és lombtalan hajtások. Számos odavaló növény is hasonlóan viselkedik.

A növények alaki épületén, külső szerveződésén is szakaszosság észlelhető. A lomblevelek al- és fellevelekkel váltakoznak; a gyökértörzsek lombos hajtásokat növesztenek. Az átmenetek fokozatosak, de hirtelenek is lehetnek. Ezeket a jelenségeket élettani kölcsönhatások irányíthatják. A lomblevelek bizonyos tömegének működése pl. úgy hat a tenyészőcsúcsokon keletkező többi levélkezdeményre, hogy azok allevelekké, rügypikkelyekké változnak. A lomblevelek kora nyáron történő leválasztása, a fent mondott értelemben meghatározott kezdeményeket nem allevelekké, hanem éppen lomblevelekké alakítja. A leveles hajtások elpusztítása a földalatti szárképleteket (tőkéket) arra készíti, hogy a talaj fölé növekedjenek és ne alleveleket, hanem lombzatot alkossanak.

K) **Meddig élnek a növények?** Az ivartalanul szaporodó alsóbbrendű növények (baktériumok, egyes moszatok) szakadatlanul szaporodhatnak. Az anyasejtből általában két hasonló értékű sejt fejlődik. (Az anyasejt egyedisége kettéosztódásakor teljesen megszűnik.) Ez a jelenség ivadékok ezrei során ilyen futamú és ezért, ha a körülmények eléggé jók, az egymásból keletkező sejtek zavartalanul és akadály nélkül fejlődnek, azaz az ivadék mintegy halhatatlan. Ennek az a főfeltevése, hogy a sejtosztódás maradék nélküli legyen. Sok egysejtű szervezet anyasetjének fala mint holt rész marad vissza. A *Volvox*-félék esetében már sok faj úgy gondoskodik az utódlásról, hogy csak bizonyos sejtek lesznek leányszervezetekké, míg az anyaszervezet elpusztul.

A virágos növények közül igen érdekes a *Senecio vulgaris*. Ez a kis fészkes növény egynyári, de egész fejlődése a magvak (termések) csírázásától a magvak éréséig csak néhány hétig tart. Bizonyos termésmennyiség után a növény elhull, de minthogy magvai rögtön tudnak csírázni, egy év folyamán bármely időszakban keletkezhetnek ivadécai. Innen magyarázható, hogy még decemberben is virítanak.

Az egyszer termő növények szakadatlanul vagy pihenéssel, egy vagy több évig csak vegetálnak, de virágzásuk és a termés érlelése után teljesen elpusztulnak. Ezeknek a növényeknek életét virágzásuk megakadályozásával meg tudjuk hosszabbítani. Itt a virágzás és a zöldelés (vegetáció) kölcsönhatása eléggé nyilvánvaló. A mi élő fánk példányainak élete viszont nem függ a termés érlelésétől.

Vannak nagyon hosszú életű növények; csíranövénykéik növekedése lassú, de a növények azért folytonosan növekednek és hosszabbodnak. Bizonyos idő után már rövidülő éves hajtásaik keletkeznek. Az anyagcsere nehézségei, külső okok, betegségek következtében azután meghalnak ezek a növények is. Dugványozással e növények életét is meg tudjuk hosszabbítani, de sok olyan növényt is ismerünk, amelyek nem egykönnyen fejlesztenek járulékos gyökereket.

Az ugyanazon egyedről származó tenyészőcsúcsok halálát meg tudjuk így akadályozni, de az állandósult sejtek pusztulását nem, vagy csak nagyon ritkán; különösen akkor nem, ha a növénytest egységes marad. Az egész fa halálát a levelek hullása, sokszor egész ágak levetése előzi meg. Sok fa minden nagyobb előzetes veszteség nélkül elhal. A fák öregedő szövetei is a halál felé tartanak. A külsők levedlő kéreggé alakulnak. A farész gesztjének sejtjei elpusztulnak. Az öreg fák tenyészőcsúcsai és kambiumai élnek soká. Az állandósult sejtek előbb-utóbb szintén elhalnak. Az említett restitúciós kísérletek azt bizonyítják, hogy a már állandósult sejtek ismét merisztémássá válhatnak és így tovább is élnek. A sejtek halálát általában az okozza, hogy mások, újak fejlődnek helyettük és belőlük. Az egész halál-kérdés e tekintetben viszonyossággként fogható fel. Természetesen vannak a halálnak belső okai is. A klorofilltalan csírák elpusztulnak. Sok esetben akkor is elérkezik a növények halála, amikor nem is várjuk, vagy amikor ennek nincs külsőleg felismerhető oka. Az örökléstani kísérletek tanúsága szerint ilyen esetekben a halál oka külön örökléstényezők, az úgynevezett letális faktorok (halált-hozó gének) működésében keresendő.

Némely fa tényleg igen sokáig él. Az életkor történeti adatokból vagy az évgyűrűk számából becsülhető meg. A *Sequoia* négy-ötezer évig, a tölgyek ötszáz-ezer évig, a repkény kétszáz évig, a szőlőtő nyolcvan-száz esztendeig is élél.

Az egyes szövetek sejtjeinek élete sokkal rövidebb. A fák bélsugár-sejtjei mégis nyolcvan évig is élélnek. A kaktuszok bőrének záró sejtjei pl. még százéves korukban is működnek.

L) A **fotoperiodizmus** abban áll, hogy miként válaszol valamely növény a rövid és hosszú nappalokra. Bizonyos növények annál gyorsabban virágoznak, minél hosszabban éri őket a fény. Ezek a hosszúnapos növények. Más növényeken a hosszú megvilágítás éppen ellenkező hatású. Ezek csak akkor virágoznak korán, ha pl. naponta csak rövid, kilencórás fény éri őket. Ezek a rövidnapos növények. A mi tájainkon tehát, különösen nyáron, amikor elég hosszúak a nappalok, ezeket a növényeket időnkint sötétben kell tartani, mert a rövidnapos növények tenyész-élete hosszú fényben nagyon kitágul; a vetés és a virágzás között hosszú idő telik el.

A hosszúnaposak tenyészélete rövid nappalokon és hosszú éjjeleken feltűnően hosszú. A hosszúnapos növények zöldelésének megrövidítésére, amelyet tehát a megvilágítás tartamának meghosszabbításával érünk el, már olyan kis fényerősségek is elégségesek, amelyek a széndioxid-asszimilációt nem váltják ki. Ennél fogva a mondott, nagyon érdekes és gazdasági szempontból, valamint a növény-nemesítés tekintetében igen fontos jelenségnek nem a széndioxid-asszimiláció fokozódása az oka. A fényhatás részleteit egyáltalán nem ismerjük.

Ismerünk olyan növényeket is, amelyeknek nincs fotoperiodizmusuk, hanem semlegesek a nappal hosszúságával szemben.

A mi szélességeinken elég sok a hosszúnapos növény, míg délszakon a rövidnaposak száma túlnyomó. Gabonáink hosszúnapos növények, azaz virágbaszökkenésüket a 18 órás nappalok serkentik, míg a 9 órás nappal tenyészéletüket rendkívül megnyújtja; ilyenkor későn virágoznak. A köles rövidnapos növény, hosszú nappalokon dús a tenyészélete s nem indul virágzásnak. A tavaszi salátafélék hosszúnaposak, míg a nyáriak semlegesek.

Növényélettani szempontból különösen fontos az a megállapítás, hogy a rövid és hosszú nappalos hatást nem kell kiterjesztenünk a növény egész fejlődés-idejére, hanem elégséges fejlődésük kezdetén csak néhány napos kezelésben részesítenünk őket.

A köles tízórás napszakokon már huszonhárom nap mulva virágzik, míg 18 órás megvilágítás után csak 51 nap múltán. Ha a kölest hat napon át rövid vilá-gítás éri, azután pedig hosszú, akkor a csírázás és a virágzás között 26 nap telik el. Ez az utóhatás fordított értelemben a hosszúnapos fiatal növényeken is teljes mértékben megfigyelhető.

Ismerünk olyan növényeket is, amelyek virágzás tekintetében a nagy fényt kedvelik. A repkény csak a napos erdőrészekben virágzik, de árnyékban nem, pedig ott is kitűnően él. Ebben és más hasonló esetekben nyilván a széndioxid-asszimiláció fokozódása hat igen élenken a virágok képződésére.

5. A NÖVÉNYEK MOZGÁSA.

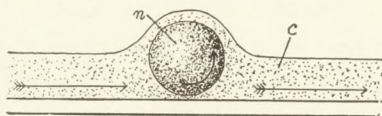
Sokan nem is hinnék, hogy a növények még mozogni is tudnak, pedig itt is mozgás, változás és mégis állandóság az élet. Az anyagcsere és fejlődés (alakcsere) minden mozzanatát mozgásjelenségek kísérik. Ezek vagy a sejtekben, vagy a szervekben folynak le.

A) **A plazma mozgásai.** A sejtek plazmájának mozgása, mint a sejt ismeretésekor láttuk (11., 12. kép), kétféle lehet. Meg kell jegyezni, hogy az egészen fiatal, vakuolumokat nem tartalmazó sejtek plazmamozgása nem könnyen észlelhető, mert a plazmamozgások nagyobb sebessége többek között általában ozmózisos terek, vakuolumok jelenlétéhez van kötve. Nagyon sokszor csak egy nagy vakuolum van a sejtekben; ekkor megindulhat, különösen biológiai, fizikai és vegyi hatások következtében az a mozgás, amelyet a plazma keringésének (rotációjának) nevezünk. A sejtben lehet több vakuolum is. Ebben az esetben a citoplazma mozgása nem egy felületen történik, hanem több plazmamesgyn vándorló és visszatérő mozgás. (Ez a cirkuláció vagy plazmaáramlás.) A két jelenség között átmenetek is vannak olyan értelemben, hogy ugyanannak a növénynek lehetnek keringő és cirkáló sejtplazmái is (*Elodea*, *Vallisneria*). A keringés és az áramlás nagyon jól megfigyelhető a sejtfalas növényekben. Meg kell említenem, hogy a sejtfalet nélküli növényekben (nyálkagombák, *Myxomycetes*) is kitűnően látható a plazma áramlása, de helyváltoztatása is (4—8. kép).

A plazmamozgások (rotáció, cirkuláció) eseteiben a sejtfalmenti határhártya nem vesz részt ezekben a mozgásokban, azaz a mozgások e neme nem hasonlítható olyan amébákéhoz, amelyek mintegy a sejtbe lennének zárva. KÜSTER szerint mindamellett bámulatosan nagy és élénken mozgó plazma-amébák keletkeznek az *Elodea densa* plazmolizált, zöld sejtjeiben.

Gombahifákban (*Rhizopus nigricans*, *Mucor* stb.) is megfigyelhető a plazma áramlása, amelynek következtében ez és a sejt nedv hullámszerűen haladnak előre. Amennyiben a plazma határhártyái is résztvesznek ebben a mozgásban, akkor itt amébás plazmamozgásról beszélhetünk. Különösen érdekesek a magtalan sejtek, vagy sejt töredékek amébás plazmamozgásai. A *Tradescantia* szárparenchimájának plazmolizált sejtjeiben néha a magtartalmú plazmarész mellett magvatlan plazmagömbök is keletkeznek, amelyek élénk amébás mozgásukkal tűnnek ki.

A sejt mag mozgása (179. kép) a keringő *Vallisneria* plazmában kétségkívül szenvedő, passzív mozgás, amelyet, akárcsak ezeknek a sejteknek klorofill-szemcse-mozgását, a plazma hőmozgása idézi elő. A „hőmozgás“ kifejezés nem azt akarja



179. kép. A sejt mag (*n*) mozgásának vázlata a citoplazma (*c*) áramlásában, melyeknek irányát nyilak jelzik. (SZABÓ nyomán.)

jelteni, hogy a keringést, vagy a cirkálást csak hő válthatja ki, hiszen a nevezett jelenséget, különösen pedig a rotációt, sebzéssel, ösztökélő anyagokkal (FITTING) is meg lehet indítani és gyorsítani, hanem azt mondja, hogy csak a szoláris állapotú folyékony plazmakolloida képes erre a mozgásra, amelynek mechanikus alapját mindenestre csakis a Brown-mozgás alkotja.

A zöld növények sejtjeinek plazmái egymással összefüggenek (plazmodezmák). A keringő plazmában a plazmahártyák összefüggése nyilván még megvan, de a centrifugált és magnétkülivé tett plazmákban ez az összeköttetés bizonyára hiányzik. Ezért lehetséges bennük a valódi amébás mozgás analógiája. A sejtmag önmaga sem helyét, sem alakját nem változtatja a plazmában.

B) A növények helyváltoztatása. A növények helyváltoztatása vagy lassú, vagy pedig eléggé gyors folyamat. Az említett nyálkagombák álplazmódiuma lassan folyik, mozog tova (ismerünk még más, „amébás“ mozgású növényeket is: *Myxochrysis*, *Chrysomonadales*). Igen érdekes egyes kékoszatok imbolygó mozgása. (*Oscillatoria*). A kovamoszatok, pl. a *Navicula*, mint kis tengeralattjárók hirtelen megmozdulással csúsznak előre is, hátra is egyenes vonalban. Az ostorokkal, csillangókkal mozgó szervezetek (sok baktérium, az ostoros növények, ivartalan és ivaros rajzók stb.) helyváltoztatása már jóval gyorsabban történik.

Az eddig említett példák is megmutatták, hogy az alsóbbrendű növények sokszor egész citoplazmájukkal elmozdulnak. Ez az amébás, ömlő, csúszó mozgás alakváltozással jár. Az amébás mozgású szervezetek, különösen a valódi amébák (állatok) alakja a környezet oxigéntartalmától is függ. A bőséges oxigén jelenlétében felületük feszültsége csökken; sok állabat bocsájtanak, míg ellenkező esetben elgömbölyödnek.

Az ostoros mozgás már nem az egész citoplaszma részvételével, hanem egy vagy több összehúzóköny, kúpfelületet leíró, igen finom plazmanyujtvány segítségével történő kúszás. Ez a mozgás néha valóban nagysebességű. A *Fuligo septica* nevű nyálkagomba kis rajzói másodpercenként egy milliméteres utat is megtesznek. Ez a távolság körülbelül hatvanszorosa testük hosszúságának. Az ostorok mozgása a szervezetek egész testét is pörgeti, néha elég nagy sebességgel (*Euglena*).

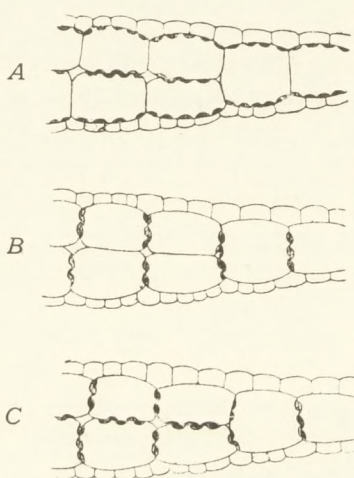
A külső tényezők a plazma mozgásaira és a helyváltoztatásokra hatással vannak. Így az általános életfeltételek határozzák meg elsősorban a mozgások jelentkezését és élénkségét. Alkalmos hőmérséklet és elégséges oxigén igen fontos tényezői e mozgások minőségének. Azok a szervezetek, amelyek oxigén nélkül nem tudnak lélekzeni (anaërobiumok), nélküle nem is mozognak. A *Nitella* nevű *Chara*-féle vízinövény oxigén nélkül is tud élni. Sejtjeinek plazmamozgása heteken át oxigén nélkül is tart. A kizárólagos anaërobiumos baktériumok oxigénben, levegőben nem mozognak, viszont azok a baktériumok, amelyek oxigén hiányában mozdulatlaná váltak, oxigénes vízben ismét mozgásba kezdenek.

Egyes szervezetek sejtjeinek különböző mozgásállapotai a nagyjából kedvező életkörülmények között mindíg megfigyelhetők. Ismerünk viszont szép számban olyan eseteket is, amikor a mozgások csakis anyagi ingerek hatására jelentkeznek.

A plazma mozgásait sokszor tanulmányozták a *Vallisneria* nevű egyszikű virágos növény különböző sejtjein. A friss, élő, de majdnem minden esetben megsebzett és vízbe tett készítmények sejtjeinek plazmája eleinte nem kering. Később a mozgás megindul és majdnem minden érintetlen sejtben kimutatható. (A keringés nemcsak a harántfalak, de az összes sejtfalak mentén is történik.

A különböző, sőt az azonos jellegű sejtek plazmamozgása nem szükségképen egyirányú és nem is egyforma sebességű.) Aminosavak már rendkívül nagy hígításban is kiváltják a *Vallisneria* plazmák mozgását. Lehetséges, hogy a sérült és holt sejtek beszívargó anyagai is meg tudják indítani az ép sejtek plazmáját, de a fénynek is van ilyen mozgást serkentő hatása. Fél luxnyi fény mennyiség hosszabb időn át hatva, már kiváltja a sötétséghez jól alkalmazkodott (nem mozgó plazmájú sejtekben) a plazmamozgásokat.

A klorofill-szemecskék is tudják helyüket változtatni. Ezek a mozgások helybéli fordulások, vagy vándorlások. Ilyen módon a fény irányától meghatározott helyzetbe kerülnek a klorofillszemek. Ezek a mozgások a legjobb lehetséges fény mennyiség kihasználásával függenek össze.



180. kép. A kloroplaszták helyváltoztatása a békalencse sejteiben szórt fényben (A), verőfényen (B) és sötétben (C). (STAHL nyomán.)

A *Mougeotia* nevű fonalas moszat (*Coniugatae*) sejtjeiben egyetlen négyszögletes lemezalakú kloroplaszta foglal helyet. Felületeinek állását a mindenkori fényerősség igazítja, azaz a kis fényvel szemben lapjával áll, míg nagy fény esetén keskeny oldalát fordítja a fényforrás felé. Közbeeső helyzeteket is el tud foglalni. Más moszatok, de a mohák és magasabbrendű növények levélsejtjeiben is megfigyelhető sok esetben a klorofillszemek vándorlása. A klorofillszemek vándorlása, eltolódása a falmenti plazmában történik. A 180. kép a *Lemna trisulca* nevű békalencse sejtjeiben található klorofillszemek helyzetét ábrázolja szórt fényben, napverőn és éjjel. A klorofillszemek nemcsak helyüket változtatják, hanem alakjukat is. Egyeseken amébás alakváltozások észlelhetők; sok klorofillszemecskének megvan az a tulajdonsága, hogy mérsékelt fényben laposodik,

míg igen erős, vagy nagyon gyenge világításban domborodó. A klorofillszemecskék mozgását külső erők hatására (földnehézség), leginkább a mozgó plazma hordozó erejére vezetik vissza vagy esetleg az amébás mozgásra képes szemecskék aktív egyéni helyváltoztató tevékenységének tulajdonítják. A főmozgató a kloroplaszták említett és még számtalan más módozatú helyváltoztatásában bizonyára maga a citoplazma. A végső szó a klorofillszemecskék mozgásának módjára vonatkozólag éppoly kevésbé hangzott el, mint a plazma egyéb, sokkal kisebb szemcséinek helyváltoztatását illetőleg.

C) Az irányított sejtmozgások. A *Lemna* klorofillszemcséinek helyváltoztatása a fény által a sejteken belül irányított mozgásjelenségekre vezethető vissza. Ilyen irányított helyváltoztatásokat külső mozgású, egy és többsejtű szervezeteken is megfigyelhetünk. Az ilyen, ingerek által előidézett mozgásokat *taxisoknak*, *taxiaknak* nevezzük.

Figyelemreméltó az egyoldalú fényhatásra jelentkező *phototaxis*, de nem szabad elfelejtenünk a bizonyos anyagok töménység-különbségein alapuló kemotaxisokról sem.

A taxisok pozitívek, vagy negatívok a szerint, amint a mozgás az ingerforrás felé tartó, vagy attól távolodó. A taxiák előjele nemcsak a mozgó élőlénytől, hanem a külső körülményektől is függ. Az úgynevezett topikus taxiákban (topos = hely) a szervezetek főtengelye az inger irányába helyeződik és pozitív, vagy negatív módon folyik le. A fobiás (phobos = félelem) taxisokat mutató szervezetek nem úsznak az inger irányában. A nyálkagombák rajzóin jól megfigyelhetjük ezt a jelenséget akkor, ha a folyadékban egyes helyeken pl. az almasav töménysége különböző. Tegyük fel, hogy valamely rajzó magasabb töménységű helyre ér. Ekkor útját irányváltoztatás nélkül folytatja, de alacsonyabb töménységű helyre kerülve, rögtön egész teste megérzi az ingeranyag telítettségének megváltozását és visszafelé veszi útját. A rajzók sokszor nagyon bonyolult pályák után az erősebb telítettség helyére jutnak és ott összegyűlekeznek. A topikus mozgású szervezetek testük egyes részeinek és az inger irányának helyzetét érzik meg, míg a fobiás mozgások alkalmával az élőlény egész testével válaszol a különböző erősségű ingerek egymásutánjára.

A *phototaxis* kitűnően megfigyelhető az *Euglena viridis* nevű (16. kép és I. tábla 13. kép) növénykén, valamint a *Volvocales* sorozat számos kisebb-nagyobb tagján, a moszatok zöld rajzospóráin stb. Az euglenás vizet rázzuk kissé össze, hogy a növénykéék eloszródása pillanatnyilag a folyadékban egyenletes legyen. Az *Euglena* szerves tartalmú vizekben néha rendkívüli tömegben található. Ha az euglenás edényt az ablakba helyezzük, vagy egy csepp euglenás vizet mikroszkópunk asztalára teszünk, akkor nagyon hamar észlelhetjük, hogy ezek a kis úszó növények mind a fényforrás felé eső oldalon helyezkednek el. A tartóedény megvilágított oldala lassankint sokkal zöldőbb lesz, mint a folyadék többi helye, sőt ezek az utóbbi folyadékrészek teljesen el is néptelenedhetnek. A mikroszkópban is könnyen megállapíthatjuk e kis szervezetek fény felé gyülekezését, azaz pozitív fototaxisát. A tartók 180 fokos megfordításakor ellentétes, tehát megint pozitív vándorlás indul meg. Igen erős fény hatására a taxis előjele megváltozik és a szervezetek az egyoldalú fényforrás irányában ugyan, de attól eltávolodnak. (Negatív fototaxis). Az *Euglenák* teste elején piros szemfolt található. Ennek így valószínűleg nincs közelebbi vonatkozása a fény felvételéhez, mert ismerünk teljesen színtelen, de mégis pozitíven reagáló ostorosokat is. A színtelen nyálkagombák plazmódiumai rendszerint még kis fény mennyiségekre is tagadólag válaszolnak.

Bizonyos baktériumok, amikor fényből sötétségbe jutnak, erre az ingerkülönbségre visszaindulással válaszolnak. Az erősen megvilágított hely tehát megfogja őket és benne pozitív fototaktikus módon felhalmozódnak, mert a fény és sötétség határán mindig visszariadnak. (Fénycsapda.) Ezt a pozitív fototaxist tehát e szervezetek fototaxiás viselkedése hozza létre.

Különböző irányú fényforrások a fototaxist úgy alakítják, hogy a szervezetek elhelyezkedése az erők prallelogrammája eredőjének felel meg.

A kemotaxist bizonyos vízben oldódó anyagok koncentrációja idézi elő. Pozitív és negatív, valamint topikus és fobiás alakjait ismerjük. Igen érdekes jelenség bizonyos mozgó baktériumok pozitív aërotaxisa, amelyet ENGELMANN a széndioxidasszimiláció erejének és a különböző színű fény összefüggésének kimutatására használt fel.

Nem minden anyag okoz kemotaxist. A pozitív kemotaktikus lényeket az illető anyag a nagyobb töménységű helyeken halmozza fel, a negatív pedig távolra hajtja őket ezektől. A baktériumokat szerves és szervetlen táplálékok, pl. peptonok, cukrok, foszfátok csalogatják, de pl. a halálos hatású éter is. Savak, lúgok negatív kemotaxist okoznak.

A kemotaxis a szervezetek táplálkozására sokszor határozottan előnyös. Az ivarsejtek egyesülését gyakran pozitív kemotaxisok támogatják. A harasztok hímivarsejtjei almasav, almasavassók hatására indulnak a petekészülékbe. A korpafűfélék hímivarsejtjeire citromsav, a lombos mohákéira nádcukor, a *Marchantia* nevű májmoha spermatozoidáira pedig fehérjék hatnak. Kemotaktikus anyagokkal telt hajszálcsovek rövidesen magukba gyűjtik a rajzó ivarsejteket vagy más, hasonló ingerlékenységű szervezeteket. Ily módon a különböző anyagok és telítettségük hatása jól tanulmányozható.

A másfajta taxisok közül megemlítem még a nyálkagombák pozitív hidrotaxisát, amelyet a környezet víztartalmának különbözősége vált ki. A plazmódiumok a spórák képzésekor negatív hidrotaxist mutatnak. A galvanotaxist elektrolízis, a termotaxist hőkülönbség, a reotaxist vízáramlás, a geotaxist pedig a földnehezség idézik elő az egyes válaszolni tudó szervezetekben.

D) A helyhez kötött növények mozgásai. A magasabbrendű növények helyüket nem tudják változtatni, de szerveik mozgásai, helyzetváltoztatásai sokszor nagyon feltűnőek.

A helyhez kötött növények jelzett mozgásai általában sokkal lassabbak, mint a helyváltoztató mozgások. Ezek a mozgások az általános életfeltételeknek megfelelő görbülésekben nyilvánulnak, amelyek igen sokszor ingerek jelenlétében folynak le. Az inger vagy csupán a görbülést váltja ki vagy pedig annak irányát is meghatározza. Nem szabad azonban azt gondolnunk, hogy a helyhez kötött növények mozgása csak külső ingerek hatására történik, mert a növényeken belső okokból származó mozgásjelenségeket is észlelhetünk.

A külső ingerlésre jelentkező mozgásokat indukált vagy paratóniás mozgásoknak nevezzük, míg a külső ingerek nélkül is megtörténőket az autonomiás mozgások fogalma alá gyűjtjük.

Az élő és holt növényrészek s egyéb anyagok görbülései többfélék.

Tegyük fel, hogy valamely egyenes, sokszögletű pálca főtengelye görbül; ennek következtében a rúd egyik oldala rövidebb, a másik hosszabb lesz. Ez a valódi görbülés. Ha a két görbült oldal hosszúságának különbségéhez még a másik két ellentétes oldal görbülései is csatlakoznak, akkor a két görbülés együttesen csavarrá alakul. A sokszögletű pálca főtengelye változatlan helyzetű is maradhat, de élei megcsavarodhatnak. Ez a torziós görbülés.

A görbülések, amint látjuk, méretváltozásokkal járnak együtt. Ezeket a változásokat az élő növénytestben növekedés (növekedés mozgások, nutációk) a turgornyomás ingadozásai (variációs mozgások) avagy pedig a sejthártyákban és a holt sejtekben levő víztartalom változásai okozhatják. Utóbbiakat h i g r o s z k ó p i á s m o z g á s o k n a k nevezük.

Az autonómiás mozgásjelenségeket jól megfigyelhetjük a gyökerek és szárképletek egyenesvonalú növekedésében. Ilyen tisztán belső okú jelenség a már megbeszélt nagy nyújtózó növekedésperiódus is. Számtalan növekedésgörbülés is az autonómiás mozgásjelenségek közé tartozik.

A szárképletek említett egyenesvonalú növekedése csak látszólagos; közelebbi vizsgálódás könnyen meggyőz bennünket a felől, hogy a növekedő szárképlet csúcsa szabálytalan görbét ír le növekedés közben; ezek a c i r k u m n u t á c i ó k.

Igen érdekes a kacsok, kúszónövények keringő nutációja, amikor a növekedés vonala meghatározott csavarmenet mentén fut végig a képleten. Ennek a növekedés-mozgásnak az illető szerv csúcsának azonos értelmű keringése, körözése lesz a következménye. Ez a mozgás teszi lehetővé azt, hogy a kúszónövények támasztékukat körülfonhassák.

A bimbók, a rügyek, a levélképletek fakadásában mutatkozó igen érdekes és változatos mozgások mind autonómiás görbülések. A bimbók és levélrügyek fakadását a fiatal levelek színének erőteljes növekedése okozza.

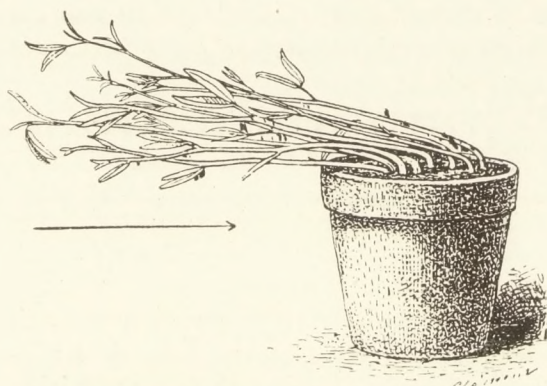
Észlelhetünk variációs autonómiás mozgásokat is, amelyek a sejtek turgorának változásán alapszanak. Ezek a mozgások leginkább a csuklósan illeszkedő lomb-leveleken figyelhetők meg. Ilyen mozgásjelenségek a hüvelyesek és a nyúlsóska-félék levelei. Ezek a mozgások azért jöhetnek létre, mert pl. a paszuly levélnyelcsuklói főként megnyúlásra képes parenchimasejteket tartalmazó vánkосok, amelyeknek közepetáján csak vékony és hajlékony szállító és erősítő vonulat foglal helyet. A csuklóban történő egyoldalú turgor-ingadozás a megfelelő helyen hosszabbodást okoz. Ez a folyamat elmozdítja a levelet eredeti helyéről.

Bizonyára minden csuklós levélen mutatkoznak ilyen autonómiás turgor ingadozások, de nem mindig feltűnőek. Nagyon szembeeső a *Desmodium gyrans* levélkéinek e mozgása. A levélké hosszú kerülékes pályát írva, egyenletesen mozognak, vagy pedig hirtelen megmozdulnak. Megfelelő hőmérsékleten (30—40° C-on) a körözés élénkül; egy forduló kb. fél percig tart. Az *Oxalis hedysaroides* levélkéinek csúcsai egy-két másodperc alatt 0.5—1.5 cm utat is leírnak. E két növény mozgásaira a fénynek nincs hatása. A *Trifolium pratense* véglevele a fényben nem, de sötétben lassan mozog. A külső körülmények igen erősen hatnak ezekre a jelenségekre. A minimum és a maximum túllépése (hideg, hő, sötétség) merevségekhez vezet. Mérgézéses merevedések is megfigyelhetők.

E) Az ingermozgások. Az indukált vagy paratonias mozgásokat mindig valamely külső tényező váltja ki. A helyhez kötött szervezetek az ingermozgások útján szerveiket működésük legmegfelelőbb helyzetébe igazíthatják. A fiatal leveles hajtás a fény felé nő, amíg a gyökér rendszerint a nehézségerő irányában, a talajba fúródik. A levelek általában merőlegesen helyezkednek a fénysugar

útjába. Ebben a helyzetben tudják a legnagyobb fény mennyiséget elnyelni. Mindezek a mozgások az ingerforrások irányától határozottan függenek, de ismerünk olyan indukciókat is, amelyek az inger irányától teljesen függetlenek. Vannak virágok, amelyek reggel a fény és hőmérséklet emelkedésével kinyílnak és este felé becsukódnak stb. Az inger irányától függő, görbülési ingermozgásokat tropizmusoknak, míg azokat, amelyeknek mozgása ingerek hatására keletkezik ugyan, de mozgásuk irányát csupán a szervek berendezkedése szabja meg, nasztiaáknak nevezzük.

A tropizmusok. A fő tengelyek (ortotropikus szervek) az ingerforrás felé görbülnek, vagy attól elhajlanak (pozitív és negatív reakció). A vízszintesen, illetőleg ferdén fekvő (plagiotropikus) szervek merőlegesen vagy ferdén helyezkednek az inger irányára. Sokféle tropizmust ismerünk.



181. kép. Egyoldalról megvilágított csíranövények fototropos görbülése. (BELZUNG nyomán.)

A fototropiás görbülések egyoldalú megvilágítás következtében jönnek létre. Az ortotropiás szárképletek a fény felé görbülnek (pozitív heliotropizmus), míg a levelek színüket merőlegesen állítják a fény útjába (transverzális fototropizmus). A gyökereken negatív fototropia figyelhető meg.

A földfeletti szárképletek fototropiája rendszerint pozitív. Ellenkezően viselkednek egyes lég- és kapaszkodó gyökerek és sok, de nem az összes földi gyökér, a tapadó korongos kacsaringók stb.

A fototropiás görbülések úgy jönnek létre, hogy a szervnek fény felé eső oldala kevésbé, míg az ellentétes helyzetű erőteljesebben növekszik egyoldalú megvilágításkor. Minden oldalról történő egyenletes világítás nem vált ki görbüléseket. A negatív fototropiás szervek növekedése éppen ellenkező. A görbülések a növekedések helyein mutatkoznak és a legnagyobb görbüléshely általában a legnagyobb növekedés helye is.

A fototropiás görbülés odavezet, hogy a szerv a fény irányába helyezkedik és ezáltal minden oldalról azonos erejű megvilágítás éri s így a fototropikus nyugalom helyzetébe kerül (181. kép).

Ne változtassuk meg a fény irányát és erejét, de gondoskodjunk arról, hogy a növényt függőleges helyzete körül óramű forgassa. Ebben az esetben a szerv minden oldalát érő fototropiás ingerek közömbösítik egymást és nem is tapasztalható rajta görbülések.

A transzverzális fototropizmus leveleken, a harsztok előtelepén, májmohák telepein, bizonyos algákon figyelhető meg. Általában ezek a szervek dorziventrálisak, azaz hát- és hasoldallal bírnak (182. kép).

Ezek a szervek merőlegesen helyezkednek ama legvilágosabb szórt fény felé, amely őket fejlődésük folyamán éri. E szerveknek megfelelő elhelyezkedését legtöbbször nemcsak egyszerű görbülések, hanem torziók is szolgálgják. Igen nagyerejű fényben a levelek színének helyzete megváltozhatik: a nagyon erős sugarakat kikerülik. Az *Iris* levelei függőlegesen állanak. Sok lomblevél úgy viselkedik a fény intenzitásával szemben, mint a *Mougeotia* klorofill-lemeze. Ismerünk olyan növényeket, amelyek igen napos helyeken és időben a délvonalba helyezkednek. E berendezkedés következtében csak a reggeli és esti fény éri leveleik színét és fonákját, míg a déli napverő csak súrolja őket. Ilyen iránytű-növény a *Lactuca scariola*, többek között.



182. kép. A levelek transzverzális fototropizmusa. (PAAL Á. nyomán.)

A fototropizmus ingerjelenység, és ezért csakis élő szervezeten figyelhető meg. A görbülések a besugárzott fény energiájának nem közvetlen folyományai. A növény belsejében rejlik a görbülésre való tehetség s ennek csak kiváltó tényezője az egyoldalú fényhatás. A növény megérzi a fényt vagy mint másképp mondják, recipiálja, perciálja azt. Ez a fényinger-recepció változásokat idéz elő a növényben, amelyek végső szakasza a növény, a szerv mozgása.

Ez a mozgás nem kezdődik meg mindjárt a megvilágítással, hanem a megvilágítás és mozgás kezdete között bizonyos idő telik el. Ezt az időt reakciós időnek mondjuk. Ez az eléggé tetemes időtartam is bizonyos, a növényben történő változásokra, belső reakciókra vall. A reakciós időben történő változásoknak egymással összekapcsolva kell lenniök és ezért ingerláncolatról beszélhetünk. A görbülés maga csupán a végső reakció.

F) Az inger vezetése. A mozgás sokszor ott történik, ahol a fényingert „észreveszi” a növény, máskor pedig az ingervétel és a mozgás helye különböző. Ez esetben ingervezetésről kell beszélnünk.

Milyen anyag okozza a görbüléseket? Közelebbi vizsgálatokból kiderült, hogy ez az anyag, amely a megvilágított és sötét oldal növekedését eltérően serkenti, ugyanaz az auxin, amelyet a nyújtózó növekedés megbeszélésekor már megismertünk.

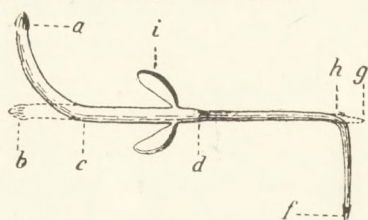
Ennek az anyagnak hatásai igen szembeszökően kapcsolódnak tehát bele az ingervétel és a végreakció ingerláncolatába. Egyenletesen megvilágított vagy sötétben nevelt koleoptilákban az auxinok egyenletesen vándorolnak a nyújtózó növekedés övébe. Az egyoldalú megvilágítás okozza azt, hogy a világos oldalban kevesebb szabályozó vándorol, mint a sötétben. A vándorlás mindig függőleges.

Az egyoldalú fénynek a növesztő, szabályozó anyagot *csökkentő* hatása megelőzi tehát az auxinhatást a görbülés helyén. Azt nem tudjuk, hogy a fény miként változtatja meg e tekintetben a koleoptilák csúcssejtjeit.

Arra a kérdésre, meddig kell kísérleti növényeinket megvilágítanunk, hogy azok meggömbüljenek, azt az érdekes feleletet adhatjuk, hogy nincs szükség állandó egyoldalú megvilágításra. Bizonyos ideig természetesen meg kell világítanunk őket (ez az expozíciós idő), de ez a tartam sokkal rövidebb, mint a reakciós idő. Az expozíciós időt változtathatjuk.

Ily módon elérhetünk olyan rövid expozíciós időt is, amelyre a sötétbe visszahelyezett kísérleti növényke már nem gömbül. Kell tehát olyan legrövidebb expozíciós időnek is lennie, amely a legkisebb görbülést váltja ki, de ezt kiváltja. Ezt a legrövidebb időt *prezentációs időnek* hívjuk. Megfelelő görbülése az *ú. n. reakciósküszöb*.

Eddig való kísérleteinkben a fényforrás ereje állandó volt. Megtehetjük azt is, hogy állandó megvilágításidőt választunk és a fény erejét addig csökkentjük, míg a görbülés éppen csak mutatkozik. A fényerő és az expozíciós idő szorzata állandó. Ezt a bizonyos körülmények közt érvényes törvényszerűséget nevezzük az *ingertömeg törvényének*. A görbülések, az ingerreakciók nem arányosak az ingertömeggel.

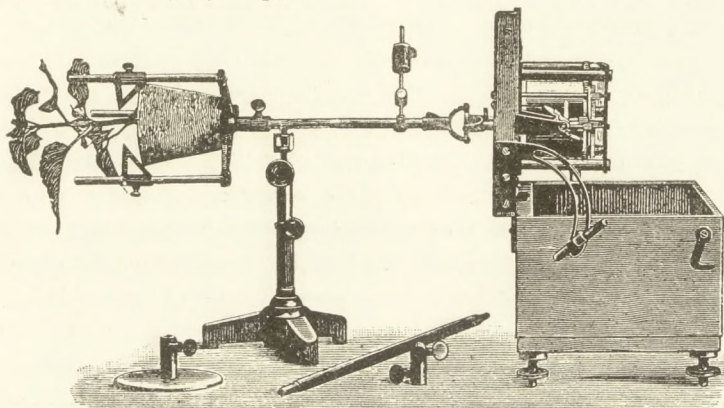


183. kép. Vízszintesre fektetett csíranövény vázlatos képe utólagos növekedés után. A csíranövény sziklevelei (*i*) középen helyezkednek el, balra fejlődik a hajtás, melynek csúcsi része (*b—c*) negatív geotroposan felfelé görbült (*a*); a jobbra fejlődő gyökér (*d—g*) pozitív geotroposan lefelé görbült (*h—f*). (BELZUNG nyomán.)

G) A geotropizmus. A fiatal csíranövények főtengele (szára és főgyökere) mindig függőlegesen és pedig a földsugár irányában növekedik. A szár felfelé, a gyökér pedig a föld középpontja felé nő. Fordítsuk növényünket vízszintes helyzetbe (183. kép). Ez az ingerlés (a nehézségerőt nem tudjuk megváltoztatni) a gyökér ismét lefelé, a szárképletet pedig felfelé növeszti. Két ellentétes irányú görbülés, azaz az ellentétes oldalak növekedéskülönbsége jelentkezik. A görbülés nem a szár és gyökér találkozási helyén mutatkozik, tehát mindkét képlet bizonyos hosszúságú darabja vízszintes marad, azaz nem gömbül. Ez a kísérlet is igazolja azt, hogy a főtengele ortotropiáját a nehézségerő egyenletes hatása határozza meg.

A NÖVÉNYEK MOZGÁSA

Nagyon a lényegbevágó kísérleteket végzett SACHS (1874), aki kísérleteiben vízszintes tengely körül forgó berendezést használt. A folytonos forgatás teljesen kiküszöbölte a nehézségerő egyoldalú hatását és ezért a gyökerek és hajtások megmaradtak eredeti helyzetükben. Ezeknek a kísérleteknek fontos eszközét klinosztátnak nevezzük (184. kép).



184. kép. A PFEFFER-féle klinosztát. (BENNECKE—JOST nyomán.)

A geotropizmus az a belső okokon nyugvó tulajdonsága a növényeknek, hogy szerveik a földnehézség hatására bizonyos helyzetbe jutnak és ebben növekednek tovább. Nemcsak ortotropiás, de a nehézségerő irányára merőlegesen, vagy ferdén helyezkedő szerveket is ismerünk. (Plagiotropia.) A teljesen vízszintes helyezésű szervek tranzverzotropizmusáról szoktunk beszélni. Az összes szervek tényleges állását nagy mértékben a geotropizmus szabályozza. Természetesen az összes más mozgások és működések is együtt játszanak ezzel a rendkívül fontos tényezővel.

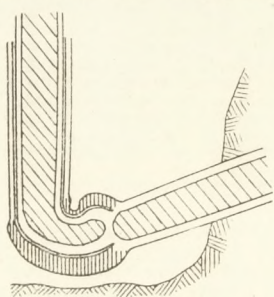
A függőlegesen felfelé növekedő hajtások, levelek (*Iris*), virágok, virágzatok, léggyökerek geotropiája negatív.

Ezek a szervek, ha helyzetükből kimozdítjuk őket, ismét a földsugár irányában görbülnek fel, ha még tudnak növekedni. A negatív geotropiát az okozza, hogy a földhöz közelebb eső oldal erősebben növekszik, mint az ellenkező.

Nem teljes sötétben nevelt növényeinket helyezzük vízszintesbe. A csíranövények legerősebben a sziklevelek mögött nőnek. Itt mutatkozik a legelső görbülés. A görbülés fokozatosan az alapi tájak felé terjed és megáll a növekedés alsó határán. Az alapi részek görbülése a csúcsi tájakat túlgörbíti. Ennek a túlgörbülésnek az is az oka, hogy a geotropiás ingerület nem szűnik meg rögtön az ortotropikus helyzet elérésekor, mert utóhatása van. Ez a túlgörbülés ismét megszűnik, minthogy a túlgörbült részben új, az eddigivel ellentétes görbülésnek kell bekövetkeznie. Más oka is van még ennek az érdekes tümenénynek. Általánosan elterjedt jelenség, hogy a növények növekedő részei, amelyek előzően növekedéssel görbüléseken estek át (a különböző ingerek hatása nyomán), az inger megszűntével ismét kiegyenesednek.

A görbült gyökerek egyenesedését összehúzóadás is okozhatja. Mechanikus módon görbült tagok is kiegyenesednek. A meggörbült szerv főként belső okokon nyugvó ama törekvéseit, hogy egyenesedjék, a *u t o t r o p i z m u* snak nevezzük. Ez a jelenség is belejátszik tehát a negatívan és pozitívan geotropikus szervek kiegyenesedésébe.

A negatív geotropizmus állandósult szövetű szerveken is megfigyelhető, szóval olyan tagokon is, amelyek hosszúságukban már nem növekszenek. A geotropikus inger arra ösztökéli a kambiumot (ez növeszti pl. a szárképleteket szélükben — vastagodás —), hogy a fekvő szár alsó oldalán levő kambiumsejtek hosszúságban növekedjenek és így a szerv lassankint ismét felemelkedjék. Ez a folyamat annál lassúbb és kisebb mértékű, minél nagyobb a szenvedőlegesen, mechanikusan meggörbítendő szövetek ellenállása. A fűneműek szalmaszárának



185. kép. A rozs könyök-szerűen meggörbült szár-bütykének hosszsmetszeti képe, nagyítva.
(KOLKWITZ nyomán.)

bütykeit is új növekedésre készíti a geotropiás inger. A lefeküdt gabonaszár alsó oldala egyoldalú ingerlődés következtében növekedni kezd, míg a másik oldal szenvedőn összenyomódik (185. kép és X. tábla 2. kép).

A klinosztát vízszintes tengelyével párhuzamos szalmaszár bütykein is előidézi a geotropikus inger a növekedést, de a forgó klinosztáton ez az inger minden oldalról egyformán hat s ezért a bütykök parenchimasejtjei egyenletesen, de mégis növekednek. Ebben az esetben az élő szalmaszár egyenes marad.

A gyökerek geotropizmus a rendszerint pozitív. Ez az ingermozgás is növekedésmozgás, amely nagy munkát fejt ki, amikor a gyökér befúródik a talajba. A gyökerek munkavégzőképességére jellemző, hogy saját súlyuknál sokkal nagyobb ellenállást győznek le.

Görbüléskor a gyökerek felső oldala sokkal jobban növekedik, mint az alsó.

A legtöbb ág és oldalgyökér plagiotropikus és ezért csak akkor vannak nyugalmi helyzetben, ha egyéni tengelyük a függőlegessel meghatározott szöget alkot. A tőkék és indák geotropiája vízszintes. Rendes helyzetükből kimozdított tőkék fel vagy lefelé irányuló mozgással (növekedéssel) megkeresik azt a mélységet, amely vízszintes növekedésük helye. Sok ág és gyökérág egyáltalán nem geotropiás.

A kimondottan dorziventrális szervek, amilyenek a lomblevelek és a kétoldalasan részarányos virágok, szintén *plagiotropiás* ak.

A kúszó növényeknek, vagy liánoknak nincsenek tapadókorongjaik s ezért hajtásaik kígyózó mozgásokkal erősítik testüket az aljzatra és így növekednek felfelé. A kúszó növények első, fiatal szárképletei rendszerint még függőleges helyzetűek. Későbbi növekedésük során szabad csúcsuk aktív módon (ferdén vagy vízszintesen) oldalvást görbül. A hajlott csúcs ugyanakkor, mint az óramutató, keringeni kezd. A keringés addig tart, míg a képlet növekszik. A keringés

iránya rendszerint állandó és felső nézetben általában az óramutató járásával ellenkező. A komló fordítva kúszik és kering. Különböző változatok is lehetségesek.

A csúcs keringése (nutációja) még nem biztosítja a kúszást, mert ez csak akkor valósul meg, ha a kúszósár többé-kevésbé függőleges és nem vastag támasztékra akad. A kúszónövények aljzatukat először nagyon lapos csigavonalban futják körül; ezek a pályák később meredekebbek lesznek. A balra keringő növények balra is kúsznak, míg a jobbra keringők jobbfelé.

A tőkék vízszintes geotropizmusa rögtön pozitívvá válik, ha csúcsukat fény éri. Ez a reakció ismét a talajba süllyeszti a tőkét. Ebből látható, hogy bizonyos szervek geotropizmusát a fény hatása megváltoztathatja.

A geotropizmus mint ingerjelenség. Az ortotropiás szervek helyzetváltoztatása, tehát nyugalomuk helyzetének megváltoztatása alkalmából a szervekre a földnehézség hatása ingerként hat. Az ingervétel után, akárcsak a fototropiában, a növénytestben ingerláncolat szövéődik, amelynek végső, látható szakasza a geotropiás görbülés. A reakciós idő nagyon különböző hosszúságú. A zabnövénykéék közepes reakciós ideje 32 perc. Egyesek már 14 perc multán is görbülnek, míg más példányok csak jó 49 perc múlva.

Ismerjük a geotropiás ingervezetést is. A *Panicum*-félék koleoptilája már nem tud meggömbölni, de az ingert mégis veszi és az alább helyezkedő, úgynevezett mezokotil szárrészebe vezeti, amely még növekedőben van.

A geotropiás ingervezetés szintén szabályozó anyagok szállításával kapcsolatos. Az inger hatására a vevőszerv alsó és felső oldalán a szabályozó anyag különbözőképpen osztdódik meg. A hajtás alsó felére több auxin jut és ennek következtében ez a rész gyorsabban is növekedik, mint a másik. A szárképletek ezért felfölbőlnek. A vízszintes helyzetű gyökerekben szintén különböző lesz a két ellentétes oldal auxinmennyisége. A hosszanti, vagyis a nyújtó növekedésre igen nagy hatása van az auxinanyagok mennyiségének. A gyökerek növekedését olyan töménység fokozza, amely a szárképletek növekedésére nem lenne optimális, míg a szárképletek növekedését szabályozó anyagok magasabb töménysége a gyökerek nyújtó növekedését gátolja. A vízszintes gyökerek alsó felén az auxinkoncentráció túl van az optimumon és ezért ott kisebb a növekedés mértéke, mint a csökkent auxintartalmú felső oldalon; a gyökér tehát lefelé görbül.

Már a régi kutatók is gondoltak arra, hogy a földnehézség „megváltozott” irányának első hatása nyomásban nyilvánul. Ez a nyomás úgy jön létre, hogy bizonyos anyagok, melyeknek fajsúlya nagyobb, mint az ingert megérző plazmáé, a nehézségerő egyoldalú hatása következtében nyomást gyakorolnak a plazmára és ez a növekedés folyamatát a nehézségerő szerint irányítja. Arra gondoltak, hogy a nyomást kifejtő anyagok keményítőszemcskék (sztatolitikeményítő), amelyek elég gyorsan süllyednek a plazmában és ezért mindig az „érző” sejtek alsó falán helyezkednek el. Ezek a keményítőszemek a szár keményítőhüvelyében és a gyökérsüveg sejtjeiben találhatók (186. kép). Azt tartják, hogy csak az így fel-

szerelt sejtek érzékelik az ingert és ez az inger belőlük jut tovább. Nemcsak a keményítőszemeket tartották és vélik ma is ilyen ingerközvetítőknak, hanem a plazmának azokat a mikroszómáit is, amelyeknek más a fajsúlya, mint a hialoplazmáé.

A geotropiás gombákban nincs keményítő; bennük tehát más anyagoknak kell hasonló működéssel bírniuk. Nagyon szép elmélet ez, amit eddig a „nyomásra“ vonatkozóan előadtunk, de a hatás következtében létrejött sejtbeli és egyéb változásokról semmit sem tudunk.

Megfelelő ideig vízszintesen tartott és azután ismét függőlegesbe állított gyökerek tovább görbülnek. A geotropikus ingernek is van utóhatása. A geotropiás prezentációs idő 10–20 perc, sőt még hosszabb idő. Az inger-tömeg törvénye a geotropiára is érvényes.

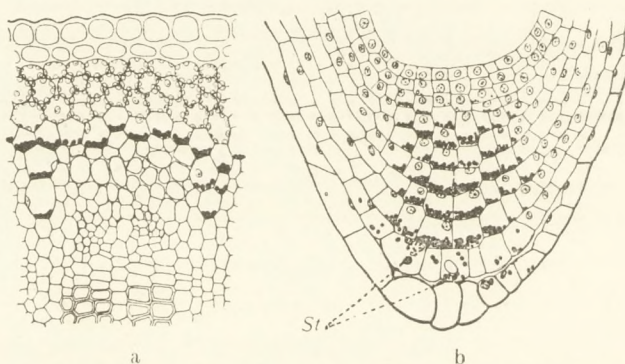
H) A kemotropizmus. Ezt a jelenséget a környezet hatóanyagainak egyenlőtlen elosztása szólítja elő. A kemotropiás mozgásokat különösen a gombákon és pollentömlőkön figyelték meg.

A növény életterének egyenetlenül elosztott vízgőzére vagy gázaira is

válaszol, tehát ilyen körülmények közt is jól vizsgálható ingermozgásokat végez. E vonatkozásban hidro-, valamint aëro-tropizmusról szoktunk beszélni. Sok pollentömlő, gyökér, leveles hajtás aërotropikus. A hidrotropiát többek közt gyökereken és penészgombákon figyelték meg. Sok gyökér pozitíven hidrotropikus, míg a *Mucor*-félék spóratartóinak efajta mozgása negatív.

Érdekes jelenség a traumatotropizmus is, amely különösen gyökereken észlelhető akkor, ha a gyökér tenyésztőcsúcsának egyik oldalát megsebezük. Az ingerlés után a csúcs felett levő növekedésövben a sebhelytől távolodó (negatív) görbülés jelentkezik. Ebben a jelenségben is jól tanulmányozható az ingervezetés tüneménye.

A kacsok különböző eredetű, valódi kapaszkodószervek. A „valódi“ kacsok teljesen a kapaszkodásra módosult szervek. Ha a kacsok egyoldalúan szilárd testekkel érintkeznek, akkor ez az érintkezés az aljzattal ellentétes felükön gyors növekedést okoz. A növekedés még a kacs középvonalában is tetemes, viszont az érintkezés helye felé lassan elenyészik. A kacs érintett oldala homorú lesz és a támasztékot így megfogja (132., 187. kép).



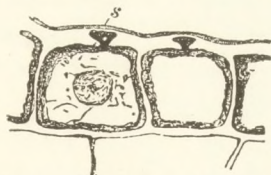
186. kép. A sztatolit keményítő elhelyezkedése a föld felé néző sejtfalakon; a: a len szárának keresztmetszetében, b: a kányafű gyökerének hosszsmetszetében. (HARTMANN könyvéből.)

A kacsok csak akkor görbülnek, ha valamely szilárd test egyenetlen felületét érintik. Nagyon sok kacson érzőgödörkéket találunk. Ezek a gödörkéek plazmával vannak tele és alakjuk is egészen jellegzetes (188. kép).

A legfejlettebb kacsok nem csupán a közvetlenül ingerelt helyen görbülnek és így a görbülés tovább terjed, amit még az a körülmény is támogat, hogy az aljzat körülfogása következtében mind újabb és újabb helyek ingerlődnek. Az öregedő és támaszték nélküli kacsok bekunkorodnak és elpusztulnak. Rajtuk csak egyetlen csavarmenet figyelhető meg. A támasztékra csavarodott kacsokon két egymásnak futó, fordulóponttal elválasztott csavarvonalat találunk. Ez a csavaros sodródás nem csupán a kapaszkodó növény szárképletét vonja az aljzathoz közelebb, hanem a képletet rugalmasan ki is feszíti s ezáltal a hirtelen, erőszakos leszakítás veszélyét csökkenti.

A kúszónövények csak függőleges aljzatra másznak, míg a kacsosak bármilyen helyzetű támasztékot kiválaszthatnak. A kacsok kisméretű görbülései miatt a kacsos növények inkább a vékonyabb szerveket és növényeket másszák meg (187. kép).

Ismerünk szép számmal tapadókorongos kapaszkodókat is. A tapadókorongok szövetsarjadzások, amelyek már eleve kifejlődhetnek vagy pedig csak az érintés ingere hozza őket létre. Fiatal, lágy állapotukban rátapadnak még a falakra is és úgy összenőnek vele, hogy inkább a kacs szakad el, de a tapadókorongok nem válnak le (133. kép).



188. kép. A tökcakskaringó ézősejtjeinek metszete. A sejt felső falában ézőgödör (s) van. (A bonni tankönyvből.)



187. A szőlő kacsos hajtása, felül fiatal, középen kapaszkodó, alul csenevész kaccsal. (MIEHE nyomán.)

Még számtalan más tropizmust is ismerünk, de azok tárgyalásával már nem foglalkozunk, mert reméljük, hogy az eddig megbeszélt jelenségek alapján is világos képet alkothattunk magunknak a tropizmusok élettana és jelentősége felől.

I) **A nasztiás mozgások** nem függenek az inger irányától, mert kizáróan a szórt, általános ingerek hozzák létre őket. A mozgás irányát a válaszoló szerv szerkezete szabja meg. Számtalan lomblevél és virág más nyugalmi helyzetű nappal, mint este.

Az este jelentkező mozgások (niktinasztíák) oka a hőmérséklet és a fény változása. Azokat a mozgásokat, melyeket csak a fény hatása vált ki, fotonasztíáknak, míg a hőmérséklet változásai nyomán keletkezőket termonasztíáknak nevezzük. Ismerünk még kemonasztikus, szeizmonasztikus (ütés, rázás) és traumatonasztias mozgásokat is. Mindezek a mozgások vagy növekedés vagy pedig turgorváltozás útján jönnek létre.

A tulipán, sáfrány, fehér madártej, őszi kikerics virágainak nyílása, csukódása termonasztias jelenség. E virágok szíromlevelei hőemelkedésre bizonyos ideig növekednek. A növekedés a szirmok színén a legnagyobb. (Nyílás.) Lehűlés



189. kép. A nagyvirágú paszuly leveleinek helyzete nappal (baloldalt) és éjjel (jobboldalt). A levélkék alapi részén ízületi párna látható. (KOLKWITZ nyomán.)

éppen a fordított tűneményt eredményezi. A sáfrány érzékeny virágai már félfokos hőkülönbségre is válaszolnak, míg a tulipán 2—3 C-fokos különbségre reagál.

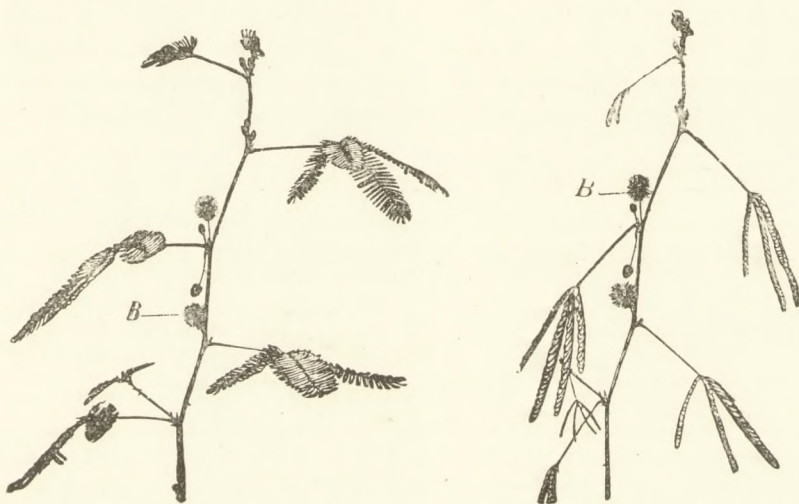
Számtalan növény virágai fényhatásra (fotonasztia) nyílnak, sötétedéskor csuknak. (*Nymphaea*, kaktuszfélék). Ellenkező módon viselkednek az esti mécsvirág, a *Victoria regia* és egyes fészkes növények virágai.

Sok növény lombleveleinek niktinasztíáját inkább a fény, mint a hő ingadozása okozza. A szekfűfélék, nebántsvirágok, fészkesek eme mozgásai növekedésmozgások, míg a hűvelyesek, nyúlsókafélék párnás, csuklós lombleveleinek mozgása variációs, turgoringadozás okozta jelenség.

A növekedéses nasztíák rövidéletűek, a variációs nasztíák ellenben hosszú időn át megfigyelhetők. A niktinasztíát a levelek és virágok alvásának is nevezzük (189. kép). A levéllemezek alvász helyzetét függőleges állásuk jellemzi, míg a levélnyelekét a duzzadó vánkös, a csukló fel vagy legörbülése és ennek megfelelően vagy a levéllemez fonáka vagy a színe fordul kifelé. Nappal a levéllemezek helyzete vízszintes. Ezekhez a tűneményekhez a fototropiának nincs

köze. A levelek nappali állása akkor is bekövetkezik, ha színüket avagy a fonákukat világítjuk meg erősebben, vagy mindkettőt azonos világítás éri. Az elsötétítésre vonatkozóan ugyanez a tapasztalat.

Túlsok fény vagy magas hőmérséklet hatására a lomblevelek megváltoztatják nappali állásukat és új helyzetbe kerülnek s ez a jelenség külsőleg olyan, mint az éji levélállás vagy pedig annak éppen az ellenkezője. A mi akácunk összetett leveleinek levélkéi éjjel lecsapódnak. Szórt fényben laposan állanak, de napverőn felfelé merednek. Ez a nappali alvás. Az éjjeli és nappali alvás turgorjelenség. A nappali alvást a levélvankos, a csukló, mindkét oldalának ernyedése,



190. kép. A *Mimosa pudica* hajtása balról nyugalmi helyzetben, jobbról rázkódtatással ingerelten
B: virágzat. (BENNECKE—JOST nyomán.)

míg a valódi alvást a turgor megfelelő növekedése okozza. Azok a levelek, amelyek hosszabb időn át a nappal és éjjel szabályos váltakozása miatt rendszeres niktinasztias mozgásokat végeztek, ezt az ütemet akkor is megtartják, ha állandó fényre vagy sötétbe kerülnek.

A harmafű tentákulumai vegyi izgatás (kemonasztia) után a levéllemezek közepe felé görbülnek. A tentákulumokat fehérjék, foszfátok ingerlik, de közömbös és mérges anyagok is. Sokszor egészen kis mennyiségük elegendő, de mindig a tentákulumok fejét kell érniök, mert csakis ebben az esetben növekedik a tentákulum alja. Az ingervezetés tehát itt is fontos szerepet visz.

A Vénusz légycsapója (*Dionaea muscipula*) lombleveleinek két fele ingerlésre felfelé összecukódik. Az ingerek vegyiek, de mechanikusak is lehetnek. Minden ütés, érintés ingerként hat, tehát az eső munkája is. Az ilyen megrázódtatás, rengés okozta mozgások a szeizmonasztikák.

A legérdekesebb szeizmonasztikus növény a mimóza (190. kép). Ez a délszaki félcsérje a hüvelyesek közé tartozik. Nagyon sok ingerrel szemben rendkívül érzékeny. Tenyeresen és szárnyasan összetett leveleinek páros levélkéi vannak.

Az elsődleges és másodlagos levélgyekek illeszkedése helyén, valamint a levélkékek alján vánkösök, csuklók találhatók. A levelek nyugalmi helyzetben szépen kiterülnek. Ha a levelet megrázkódtatás éri 20—30° C hőmérsékleten és nedves térben, akkor minden része gyors mozgásokat végez. A levélkékek felfelé és előre összecukódnak és a négy másodlagos levélgyekek oldalvást előre záródik és a főlevélgyekek lesüllyed. A nyugalmi helyzet azután nemsokára ismét visszatér.

A mimóza levelei alszanak is. A levelek helyzete és mozgása ebben az állapotban külsőleg teljesen hasonlít a most leírt jelenségekhez. A mozgást mindkét esetben turgoringadozás okozza, de a csuklók duzzadásállapota mégis különböző, mert az alvó leveleket mechanikus hatásokkal is lehet ingerelni. A szeizmonasztiai a falnyomás csökkenése és a homorúvá váló csuklófelekben keletkező petyhüdés okozza. A főlevélgyekek csuklójának csupán az alsó része ingerelhető szeizmonasztiaian és itt a petyhüdés jól megfigyelhető. A sejtekből folyadék lép ki a sejtközökbe.

A sebzés is hasonló mozgásokat okoz. Ezek a traumonasztiaik a szeizmonasztiaikhoz hasonlóan történnek. Elektromos ütés, hirtelen hő és fényváltozás, vegyi ingerek a megrázkódtatáshoz hasonló jelenségeket hoznak létre. Az ingerület egyetlen levélkékből a szárban is, akár 50 cm távolságra, továbbterjedhet és e szakasz többi leveleit is hasonló mozgásra készíti. A megsebzett gyökérből a levelekbe is juthat az inger. A sebzésinger terjedésének sebessége több cm, de bizonyos körülmények közt több méter is lehet mp-kint.

Rendkívül érdekes és fontos az a megállapítás, hogy az inger vízzel telt üvegcsövek közbeiktatásával is terjed. Ebből az a következtetés vonható, hogy az ingerület anyagvezetés alakjában terjed. Tényleg sikerült a mimóza, de más hüvelyesek leveleiből olyan hormontermészetű anyagokat elválasztani, amelyek már egy milliomodos hígításban is hatékonyak. A legújabb vizsgálatok szerint ez az anyag a C-vitaminhoz nagyon hasonló szerkezetű test, amely minden jel szerint azonban egy aminocsoportot is tartalmaz. Ez az anyagvándorlás nem egyedüli oka az inger terjedésének.

Más hüvelyeseken, azonkívül a nyúlsóskán (*Oxalis acetosellán*) is tapasztalhatók szeizmonasztiaik, de ezek távolról sem olyan szembeszökők, mint a mimóza mozgásai. A nyúlsóska szeizmonasztiaját csak több mechanikus ingerlés idézi elő, míg a mimózáknak egy is elég. A mimóza a legkisebb hatékony ingerlésre is a legnagyobb mozgással felel, míg a többi hasonlóan, de kisebb mértékben érzékeny növény ismételt ingerlése az eredményt, a reakció fokát is emeli.

A mimóza 15° C alatti hőmérsékleten nem mozog. Ha a levegő hőmérséklete 40° C-on felül van vagy pedig sokáig sötétben volt a növény, akkor szintén nem végez mozgást, megmerevedik. Légüres térben, éternarkózisban szintén nem mozog a mimóza. Nem nagyon hosszú ideig tartó éteres narkózisból „felébred”.

A sóskaborbolya (*Berberis*), a *Mahonia* pozószálai szintén szeizmonasztiaik, de csak aljuk belső fele ingerelhető. Ezen a helyen megrövidülnek a porzószálak és ily módon a portokok a bibéhez símulnak.

A NÖVÉNYEK MOZGÁSA

Számos más példát is említhetnénk még a növények bonyolult mozgásjelenségei köréből, de elégedjünk meg az eddig leírt jelenségek értelmezésével.

*

Ha röviden össze akarjuk foglalni a növények mozgásjelenségeit, akkor legelőször is az tűnik szemünkbe, hogy az élő növény aktív mozgásokat végezhet. Ezek a mozgások vagy az egész növény helyváltoztatására szolgálnak vagy pedig a helyhez kötött növény különböző szerveinek görbüléssel helyzetváltoztatásában nyilvánulnak meg. A hely és helyzetváltoztatás rendszerint külső ingerekre történik, de ismerünk autonómiás görbüléseket is. Az ingermozgások a külső inger irányától függenek (taxisok és tropizmusok) vagy pedig a „szórt“ ingerek esetében a növény szerkezetétől függő módon történnek (nasztikiák). Az összes görbüléseket a növekedés vagy pedig az illetékes szervek sejtjeinek duzzadásváltozásai okozzák. A legtöbb ingermozgást hormonális, tehát anyagi tényezők is szabályozzák.

A higroszkópiás mozgások a sejtfaalak és a nem élő sejtek víztartalmának ingadozásával függenek össze.

A higroszkópikus mozgásokat duzzadásváltozás vagy összetartó erő, kohézió okozhatja. A duzzadásmozgások működésének a vízetfelvevő sejtfaalak hosszabbodása és a vízetvesztő hártvány zsugorodása az oka. A lombos mohák spóratokjainak száját övező fogakat ilyen különböző fokban és módon duzzadó és zsugorodó sejthártvány működése nyitja ki és zárja be. A zsurlóspórák külső falán négy szalagszerű képződménynek, az eláteráknek, igen érdekes higroszkópiás mozgása figyelhető meg mikroszkóp segítségével.

A magasabbrendű növények termései a száradó termőlevelek különböző fokú és módozatú összehúzódásai következtében nyílnak fel. A jerikói rózsza (*Anastatica hierochuntica*) alacsonytermetű, keresztesvirágú növény. Termésérés idején a növény ágai száradni kezdenek és pedig úgy, hogy a szárképletek alsó és felső oldalának eltérő összehúzódása következtében a növény szabad gömbbé alakul. Vízhöz jutva ismét kiterül az egész növénytest és ilyenkor nyílnak fel a termések is. A magvak tehát csak akkor szóródhatnak, ha csírázásuk is lehetséges.

Sok növény termése nemcsak higroszkópikus görbüléseket mutat, hanem csavarodik is. Igen érdekes e tekintetben a gémmorrfélék részterméseinek és az árvalányhaj termésének viselkedése. A termések egyes részei száraz állapotban erősen csavartak. Nedvesen kicsavarodnak és a talaj ellenállásával kapcsolatban jelentkező forgó mozgás a terméseket a földbe fúrja.

A kohéziós higroszkópikus mozgások úgy keletkeznek, hogy a nem élő sejtek belső tere vízvesztés következtében megkisebbedik. Így történik a harasztok sporangiumának kinyílása.

6. A NÖVÉNY- ÉS ÁLLATÉLET JELENSÉGEINEK ÖSSZEVETÉSE.

Fejtegetéseink vége felé járunk. Láttuk, miként táplálkozik, fejlődik, szaporodik, érez és mozog a növény. Álljunk meg még egy kissé a mozgás jelenségénél.

Ismerünk növényeket, amelyek helyüket éppenúgy változtatják, mint az állatok, sőt a helyhez kötött növényeken is a legérdekesebb mozgásokat figyeltük meg. A régi, arisztotelészi tan azt vallotta, hogy az állatokat a növényektől éppen mozgásuk különbözteti meg. Amint láttuk, ilyen gyökeres és egyszerű különbség, sajnos, nincs az állatok és a növények között! Mi tehát közöttük a különbség és van-e? Erre a kérdésre nem nehéz feleletet adnunk akkor, ha a napraforgót a nappali pávaszemmel hasonlítjuk össze, de hogy a mozgás fogalmát ismétlem újra, mit vélünk akkor a helyhez kötött életű állatok természete felől? Növények-e a virágállatok? Ma már mindenki tudja, hogy az ilyen kérdéseket nem kell komolyan venni, mert az „állat“-ságnak sok más ismertetője is van még a mozgás tehetségén kívül.

A hársfa gyönyörű, „zöld“ növény. Minden tekintetben „valódi“ növény, mert teljesen az általunk fő növényjellegnek tartott módon él, azaz a napfény energiájának felhasználásával szervetlen anyagokból építi fel szerves testét.

E tekintetben is felvethető azonban az ellenkérdés, vajjon növények-e a gombák, amelyek egészen biztosan nem tartalmaznak klorofillt, tehát nem is élhetnek a zöld növényekéhez hasonló autotrofiás életet. Ezek a szélsőséges példák nem döntenek el a kérdést már csak azért sem, mert a mozgás és a táplálkozás fontos jelenségein kívül még más jellemvonásokat is figyelembe kell vennünk, ha adott esetben bizonyos szervezet növényi, vagy állati tulajdonságait meg akarjuk állapítani.

Üssünk fel valamely nagyobb növény- és állatrendszertani művet és nézzük át azokat a fejezeteket, amelyek a legegyszerűbb növényekkel és állatokkal foglalkoznak. A növényrendszertanok elején a baktériumokat, a kékmoszatókat és az ostoros növényeket (*Flagellatae*) tárgyalják a szerzők. Az ostoros növények közt megemlítik pl. a tiszta zöld színű *Euglenákat* is, amelyek a széndioxid-asszimiláció látható termékeként a keményítőhöz hasonló paramilumot termelik. A *Volvocales*-rendben megtaláljuk a *Chlamydomonasok* leírását is és annak említését, hogy kloroplasztájuk keményítőt tartalmaz, sőt azt is látjuk, hogy a nem csupasz *Volvocalesek* sejtfala főként cellulózából épül meg. Mindezek a jellegek teljesen növényi vonások.

Az állatrendszertanok a véglények körében foglalkoznak az ostorosokkal és köztük az *Euglenákkal* és a *Volvox-félékkel*. Még azt is tárgyalják ezek az állattani művek, hogy az állatokhoz hasonló ostorosokon kívül vannak teljesen növényiek is, sőt még arra is rámutatnak, hogy a szerkezetileg igen közel álló (rokon) alakokon állati, illetve növényi táplálkozásmód figyelhető meg. Az *Euglena viridis* kitűnően asszimilál, de nagyon szívesen és tömegesen él szerves eredetű anyagokat tartalmazó, szennyezett vizekben.

Még érdekesebbek bizonyára azok a megfigyelések, amelyek szerint az *Euglena*-félék kloroplasztái, ha a növénykéket szerves táplálótalajon tenyésztjük, eltűnnek, illetve több, egymástkövető nemzedéksorban igen szerény méretű leukoplasztákká alakulnak. A folyamat meg is fordítható, amennyiben cukortalan tenyészetben a színtelen egyedek ismét megzöldülnek. Még fontosabb az a megállapítás, hogy azokból az *Euglena*-félékből, amelyekben egy vagy csak kevés kloroplaszta van, az osztódás nyomán színes és színtelen leánysejtek keletkezhetnek. Sok érdekes példát említhetnék még, de úgy vélem, hogy ez a pár adat is elégséges arra, hogy megértsük, milyen nehéz különbséget tenni növény és állat közt. Úgy látszik, mintha a „rendszer“ és a „tanítás“ épületeinek rongálása nélkül a határkérdéseket nem is lenne szabad tárgyalnunk. Nem lehetünk azonban annyira konzervatívok, hogy a kényesebb kérdéseket ne feszegezzük, már csak azért sem, mert tudjuk, hogy csakis a tudomány nehézségeinek bogozása és feltárása vitte előbbre ismereteinket.

A növényi és az állati szervezet fejlődésében láthatunk bizonyos ellentéteket. A növény sohasem kész; valahol mindig növekszik. Azt mondhatjuk DRISCH-sel, hogy a növények „nyílt alakok“, míg az állatok, minthogy bizonyos idő múltán már nem növekszenek, nagyságuk nem változik, „zárt formák“. Sajnos, ez sem teljes és éles különbség, mert pl. a halak egész életükön át növekszenek. Ilyenek a teknősök és sok más csúszó-mászó állat is. Igaz, hogy a növénynek mindig újszervei is keletkeznek, amit a most említett állatokról nem a állíthatunk. Ne feledkezzünk meg azonban a galandféregről, amely mindig „nyílt alak“ marad és nem csupán hosszúságában növekszik, hanem állandóan új szerveket is készít.

A növénytest „nyílt“ és az állatszervezet „zárt“ alakjának tehát megint csak nincs döntő jelentősége. A nyílt alakuság mindenesetre olyan következményekkel járhat, ami az állatorszámban egyáltalán nem fordul elő és ez a jelenség némely növény hihetetlen nagyságában nyilvánul meg. Az ausztráliai *Eucalyptus*ok 150 méter magasak, gyökérrendszerük méreteit nem is számítva. A tengerek barna moszatai 300 méternél is hosszabbak lehetnek.

Ilyen terjedelmekkel sem a régi, sem pedig a most élő állatvilágban nem találkozunk. Az ősgyíkok is csak törpék e növényekhez képest.

Ismerünk állatokat, amelyek igen hosszú ideig élnek, de mi ez a növények életkorához képest! Az amerikai ma élő mammutfenyők közül sokan már a fáraók korában sem voltak egészen fiatalok és még ma sem teljesen öregek. Mindezek a látszólagos különbségek a „nyílt alak“ kérdésével függenek össze, ez azonban, mint fentebb láttuk, nem igazi különbség a „növényiség“ és „állatság“ fogalmi meghatározásában.

Az állat és a növény testét is sejtek alkotják, s most megint végletekben akarok beszélni: tehát a bálnáét és a liliumét is! Talán lehetetlennek látszik az, amit mondunk, de mégis úgy van, hogy az „összehasonlított“ szervezetek sejtjeinek alapvonása nagyon is megegyező s így a sejtek általános szerveződése tekintetében nincs is valami mélyreható különbség. Gondoljunk csak „a sejtek“ citoplazmájának

és sejtmagjának egyező vonásaira, a sejtosztódás és öröklítés hasonlóságára, hogy ne mondjam, azonosságára.

Mégis találunk itt is különbségeket! Nem lehet mindenre kitérnünk, de azt meg kell említenem, hogy a növénysejtet sejtfal burkolja és e miatt nagyon jól meg tudjuk a növénytest egyes protoplasztiszait különböztetni, amit az állatokról ilyen általánosságban nem mondhatunk el. A növénysejt fala biztosítja a növények alakját és szilárdságát, míg az állatok testét más természetű külső, illetve belső vázrendszerek támogatják és erősítik. Nem figyelhetünk az összes, megint csak megmutatkozó eltérésekre, de rá kell mutatnom arra, hogy számtalan olyan alacsonyabbrendű, de biztosan növénytermészetű szervezetet ismerünk, amelyeknek soha sincs sejtfaluk.

Ezek az örökös ellentmondások azt tanúsítják, hogy nagyon nehéz a valódi „növény” és a valódi „állat” fogalmának meghatározása. A hiba bizonyára bennünk van. Mindenáron és mindenütt éles határokat akarunk vonni. Csak a belső és külső élettani jellegekről beszélek én most, mert a létezés egyéb kérdéseit és vonatkozásait még érinteni sem akarom.

Ismerünk számos olyan növényt, amelyek sejtjei időnként levetik falukat és a kilépő plazma, miként valami állat, él és mozog, hogy aztán ismét sejtfalas, növényi életbe kezdjen. Ezeknek a rajzóknak csupán zöld színe emlékeztet növényiségükre. A szintelen gombák rajzói hasonló módon cselekszenek, de amikor ismét megtelepszenek, megint tisztán növényi, bár heterotrofiás életmódot és alakot mutatnak. Itt sem található éles különbség, hiszen nagyon jól tudjuk, hogy vannak állatok, amelyek életük elején nagyon mozgékonyak, de később megtelepszenek és a többiek közt olyan mozgásokat is végeznek, amelyek a helyhez kötött növények mozgásjelenségeinek felelnek meg. Kevés a kilátásunk, hogy e tekintetben biztos különbségekre építhessük élesen rendszerező s bizonyos értelemben mindent egyszerűsítő törekvéseinket. Az alak és a fejlődés fogalmi tárgyalása sem ad biztos útmutatást arra nézve, hogy hol van az éles határ, amely a növényt az állattól megkülönbözteti.

Talán nem lesz érdektelen, ha vizsgálatainkat még a növény és állat táplálkozásának kérdésére is kiterjesztjük. Az bizonyos, hogy minden állat heterotrofiásan él, míg a növények közt igen sok az önellátó, de nem kevés a heterotrofiás alakok száma sem. E kérdést illetőleg általános értéke megint csak az állat fogalma biztos meghatározásának lenne, de ez nem sikerült.

A zöld, jobban mondva, az autotrofiás növény nagyon különbözik az állattól, mert szervetlen anyagokból építi fel szervezetét, míg az állat kész szerves táplálékra is rászorul.

Amikor növényről és állatról beszélünk és a kettőt rangsor szerint értékeljük, mindig az állatnak adjuk az elsőbbséget. Minden tévedés elkerülése céljából meg kell mondanunk, hogy tárgyalásaink folyamán sohasem óhajtottam érinteni a pszichikai kérdést, de azt is meg kell jegyeznünk, hogy természetszemléletünk elkerülhetetlenül antropomorfiás jellege miatt tartjuk az állatokat előbbrevalóknak,

jöllehet a folyton halmozódó új ismeretek arról beszélnek, hogy a szervezetek alapvonásai nagyon sok tekintetben hasonlóak, sőt egyezők.

Nem tagadható, hogy az autotrofiás növény olyan teljesítményekre képes, amelyeket egyetlen állat sem tud végbevinni. Az így keletkezett anyagok, neki is, de az állatnak is szükségesek.

A zöld autotrofiás növény igen jól értékesíti a fény energiáját s így dús-energiájú, az állat számára is feltétlenül szükséges, nagyobb mennyiségű „égő” anyagokat készít, de olyanokat is, amelyekre neki is, meg az állatnak is szintén, bár mindkettőjüknek csak kis mértékben, van szükségük. Ezeket az anyagokat, ezeket a táplálékokat, a vitaminokat, illetőleg a provitaminokat csak növény tudja elkészíteni és ezért így is alapvetőbb munkát végez, mint az állat.

Tekintsük át röviden az energiagyűjtő folyamatokat. A növény azzal a nagyszerű képességgel rendelkezik, hogy három életbevágóan fontos elemet, energiátlan, jobban mondva teljesen oxidált alakban, magába tud venni. Ezeket az elemeket a növény redukálja, és így őket vegyileg nagyon tevékenyekké teszi. Ez a három elem a szén, a nitrogén és a kén. Ezek az elemek redukált alakjukban az élet legfontosabb építőköveinek, a fehérjéknek alkotórészei, de résztvesznek a lipoidák s részben a szénhidrátok megépítésében is, és mint szénsav, illetőleg salétromsavas és kénsavas sók kerülnek a növény testébe és így dolgozód-
nak fel.

A szén átalakulása általában szénhidrátok képződésével jár együtt, míg a nitrátion aminocsoporttá alakul és a szulfátion is az úgynevezett kénhidrilcsoporttá redukálódik.

Újabban az is kiderült, hogy az állat is fel tudja dolgozni a nitrogént, mindenestre azonban csak az erősen redukált ammóniák alakjában.

A növény sokkal nagyobb mértékben képes a vegyi redukcióra, mint az állat. Amint látjuk, a jelen esetben is csak azt tudjuk mondani, hogy „szokkal jobban” tud redukálni a növény és így megint csak hiányzik az éles határ. A növény a foszfátiont oxidált alakjában, redukció nélkül is bele tudja dolgozni a fehérjébe és a lipoidákba, de az állat is meg tudja ezt tenni.

A redukció képessége sok energiát követel. Ezt az energiát a növény vagy maga termeli vagy kívülről kapja.

A szénsav redukciója minden szerves élet alapja. Ezt a munkát a tárgyalásaink folyamán már érintett, úgynevezett kemosztintétikus baktériumok is elvégzik. E baktériumok szerves anyagokat: hidrogént, kénhidrogént, ammóniákat, salétromossavat lélekeznek, oxidálnak és az így felszabadult energiát arra használják, hogy a szénsavat redukálják. Ezek a növények tehát szervesen lélekeznek. Ha szerves anyagokat, mondjuk szénhidrátokat égetnének el, akkor a legjobb esetben is csak annyi szabad energiájuk lenne, amennyi éppen elégséges az ekvivalens mennyiségű szerves anyag képzéséhez, azaz nem lenne energiatartalékuk és nem tudnának növekedni, ami pedig ellentmond a szervezetek élete legfontosabb törvényeinek. Ezeket a szervezeteket

nyilván nagyon terheli energianyerő készülékük és ezért a magasabbrendű növény-élet fejlődésének alapjait sem szolgáltathatták. Ez a dús fejlődéslehetőség csak akkor következett el, amikor olyan növények keletkeztek, amelyek képesek voltak a környezet szabad fényenergiájának felhasználására. Ezt az energiát vegyi energiává kell átalakítaniok és ez szolgál a szénsav redukálására. A szénsavredukció végtermékei tehát fotoszintézis útján keletkeznek. Az energia átalakítására a legtöbb esetben a nap színképének látható része szolgál és erre a célra, erre az energia-átalakításra a fényt megfelelő módon elnyelő anyagot, a klorofillt használja a növény.

A klorofill vegyi szerkezete hasonló a vér heminjeihez, bár a két anyagcsoport éppen ellentétes működésű, hiszen a klorofillok a redukciót, míg a vérfesték heminjei éppen az oxidációt katalizálják. A klorofillmolekulában két hidrogén-atommal több van, mint a heminben és a klorofillmolekula közepatomja nem vas, hanem magnézium. A fotoszintézis kizárólagos helye a kloroplaszta. A fotoszintézis lényegét nem ismerjük. Tudjuk, hogy szénhidrátok keletkeznek és ekvivalens mennyiségű oxigén szabadul fel, sőt arról is van tudomásunk, hogy az egész folyamat két részből áll. Az első a fény, a másik pedig a sötétségreakció, amelyhez már nem kell a fény. Ezt a második folyamatot a vas katalizálja.

A fénnel dolgozó készülék, a kloroplaszta nagy hasznossággal működik és az elnyelés eredménye nagyon egybevág az egyes színképtartományok fénykvantumenergiájával.

A fotoszintézis vegyi folyamatát, valamint a klorofillfestékeket kísérő egyéb anyagok munkáját illetőleg alig tudunk teljes biztosat. Különösen a karotinokra vonatkozik ez a megállapítás.

Lehetséges, hogy a magasabbrendű növények fotoszintézise a baktériumok birodalmában gyökerezik. Tudjuk, hogy vannak vörös és zöld, fotoszintézissel dolgozó baktériumok. Ezekben a szervezetekben is megtalálhatók a karotinoidákon kívül a klorofillokkal rokon festékek. Ezeknek a baktériumoknak fotoszintézise mégsem olyan nyereséges, mint a magasabbrendű növényeké, mert a szénsavredukció alkalmával keletkező oxigén nem szabadul fel, azaz nem jut ezeknek a fotoszintézises baktériumoknak a környezetébe, hanem még a sejtben magában történő reakciókba is bekapcsolódik, amennyiben többek közt kénhidrogén, zsírsavak vagy pedig molekuláris hidrogén oxidálására fordul. Ezek a növények sem dolgoznak sok fölös energiával. Az autotrofiában is megtaláljuk tehát az átmenetet a nagyon és kevésbé energiás táplálkozás között. Az biztos, hogy a valódi állat teljesen heterotrofiás, de az autotrofiás, önellátó növénycsoportok élettüneményeiben is vannak olyan jelenségek, melyek a teljesen egységes alapvetést még itt is megnehezítik, nem is szólva a heterotrofiás növények táplálkozásáról. Sehhol sincs teljesen tiszta fogalmi bizonyosság.

A növények nitrátredukciója független a fénytől. A szervtenyésztés módszerei arra tanítanak bennünket, hogy pl. a legkisebb gyökérdarabkból is tetszészerinti mennyiségű gyökértömeget nevelhetünk sötétben és erre a célra csak szénhidrátokra és nitrátokra van szükségünk. A gyökerek fehérjeképződését

a nitrátok maguk is biztosítják és a redukcióhoz szükséges energiát egyedül a cukor elélezése szolgáltatja. Ennélfogva a nitrátnitrogén redukciója a lélekzéssel kapcsolt reakció formájában történik meg. Érdekes, hogy a nitrát- (és szulfát)-redukció nincs szükségszerűen összekötve a szénsavredukció képességével. A gombákat igen jól tudjuk nitrátnitrogénnel, illetve szulfátkénnel táplálni. A *Saprolegnia* nevű gombának (*Phycomycetes*) mindenesetre redukált (hidrált) kénre van szüksége.

A növények, ha az eddig mondottakat összegezzük, kétféle anyagcserét űznek. Az egyik nem fordul elő az állatországban és ezt a folyamatot az energiapotenciál emelkedése jellemzi. A növény maga készíti magának azt a táplálékot, amelyet az állatnak kívülről kell felvennie. A növénynek ez az autotrofiája, a szénsav redukciója, általában a fény energiájának felhasználásával történik meg. A nitrogénredukció mindenütt egyazon célt szolgálja: az életet hordozó állomány megtartását és gyarapodását. Ezt a megegyező vonást aláhúzza még az a tény is, hogy e redukcióhoz szükséges energiát ugyanaz a forrás, a lélekzés energiája biztosítja.

Ezen az alapon nagyon jól érthető, hogy a biokémiai történelemnek ebben a részletében a növény- és állatéletnek sok megegyező vonása van s különösen ezt a folyamatot katalizáló enzímák rendszerében jelentkezik a közösség. Mind a növény-, mind pedig az állatélet lélekzésenzimáinak hatékony alkotórészei a heminek. Egy másik lélekzésfermentum mindkét esetben a nikotinsav amidját tartalmazza, mint hatékony tényezőt. Az erjedés enzimái nemcsak az élesztőben, hanem a magasabbrendű növények és állatok testében is megtalálhatók.

A fehérjék keletkezése is — a legújabb vizsgálatok szerint — közös vonalú. Az aminosavak az állati szervezetben, a baktériumokban, az élesztősejtekben és a magasabbrendű növényekben enzímák hatásával kapcsolatosan úgy keletkeznek, hogy legelőször is egy aminogyök (NH_2) helyettesíti valamely ketokarbonsav (lásd ott) ketooxigénjét ($-CO-$) és ez a ketokarbonsav mindkét esetben a szénhidrátok bontódásakor keletkezik. Az újabb vizsgálatok szerint a fehérjék keletkezésében az aszparaginsavén kívül a glutaminsav szerepe látszik nagyon fontosnak.

Mindenütt találunk egyezéseket, de a különbségek jeleivel is találkozunk. Az élettani jelenségeknek kettős arca van: egyezés és különbözés. A különbségeket a plazma építőköveinek fajlagossága, viszont a megmutatkozó egyezéseket az alapterv egysége magyarázza meg.

A mindig bontó és a mindig építő emberi szellem ezeknek a nagyon végletes, de sokszor mégis összeférő ellentéteknek harmóniáját a teremtés egységében találhatja meg.



1942 SZEP. 19.

A kiadásért felelős: Dr. Gimesi Nándor.

39-479. — Királyi Magyar Egyetemi Nyomda Budapest. (F.: Thiering Richárd.)