

.....
12.236

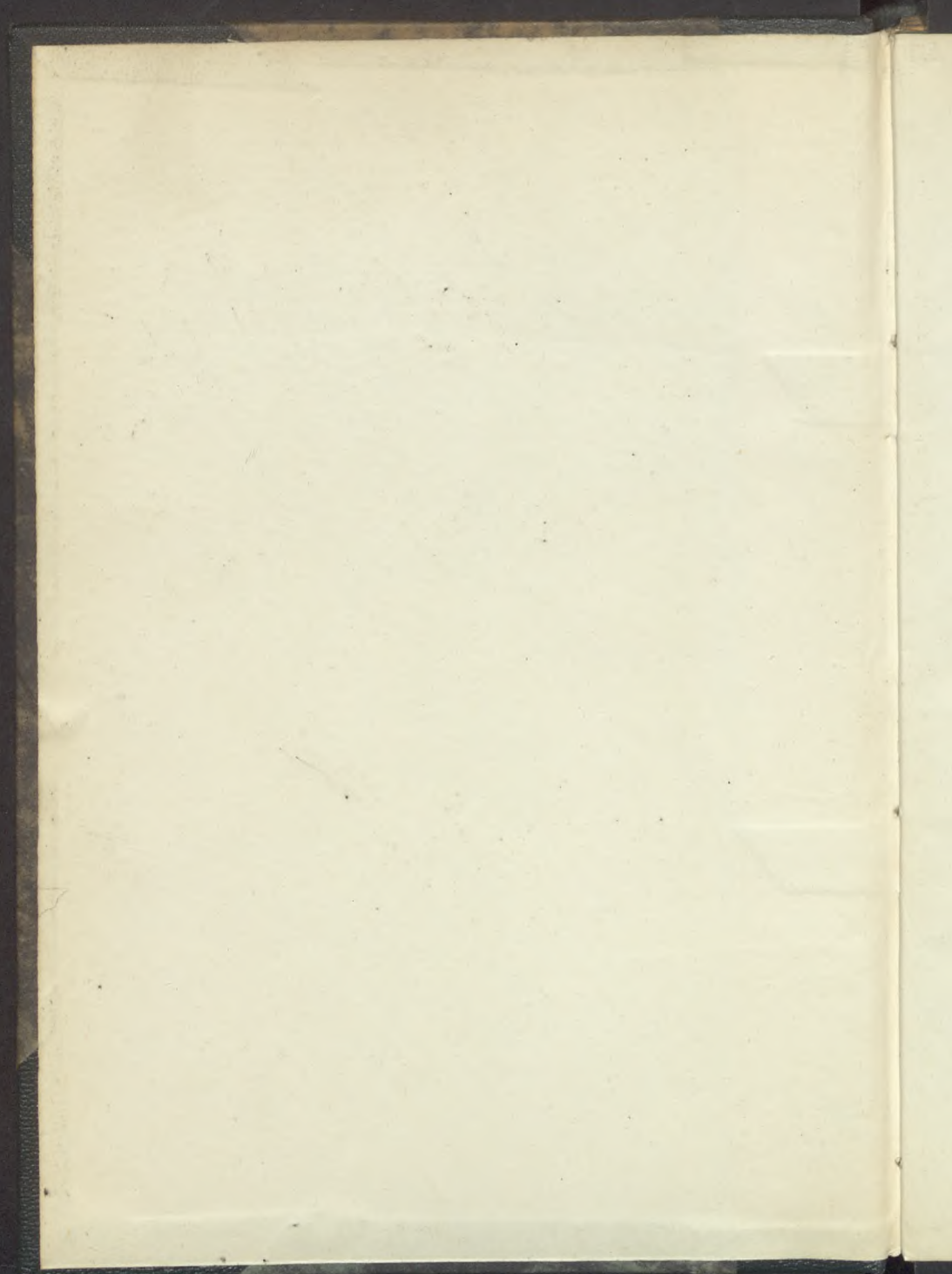
12.

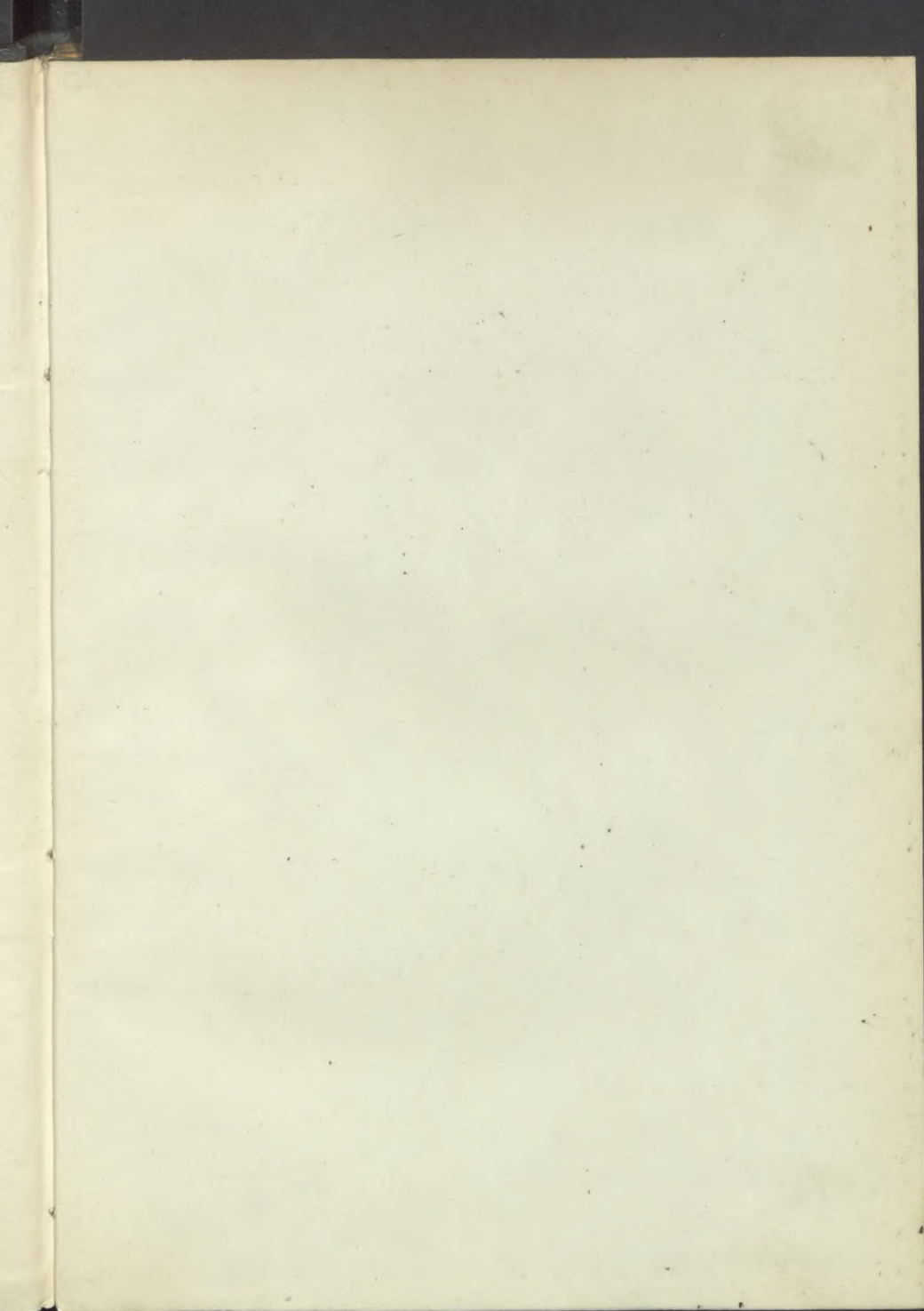
OSZK

A
természettud.
elemek

12

N.M.





A
E

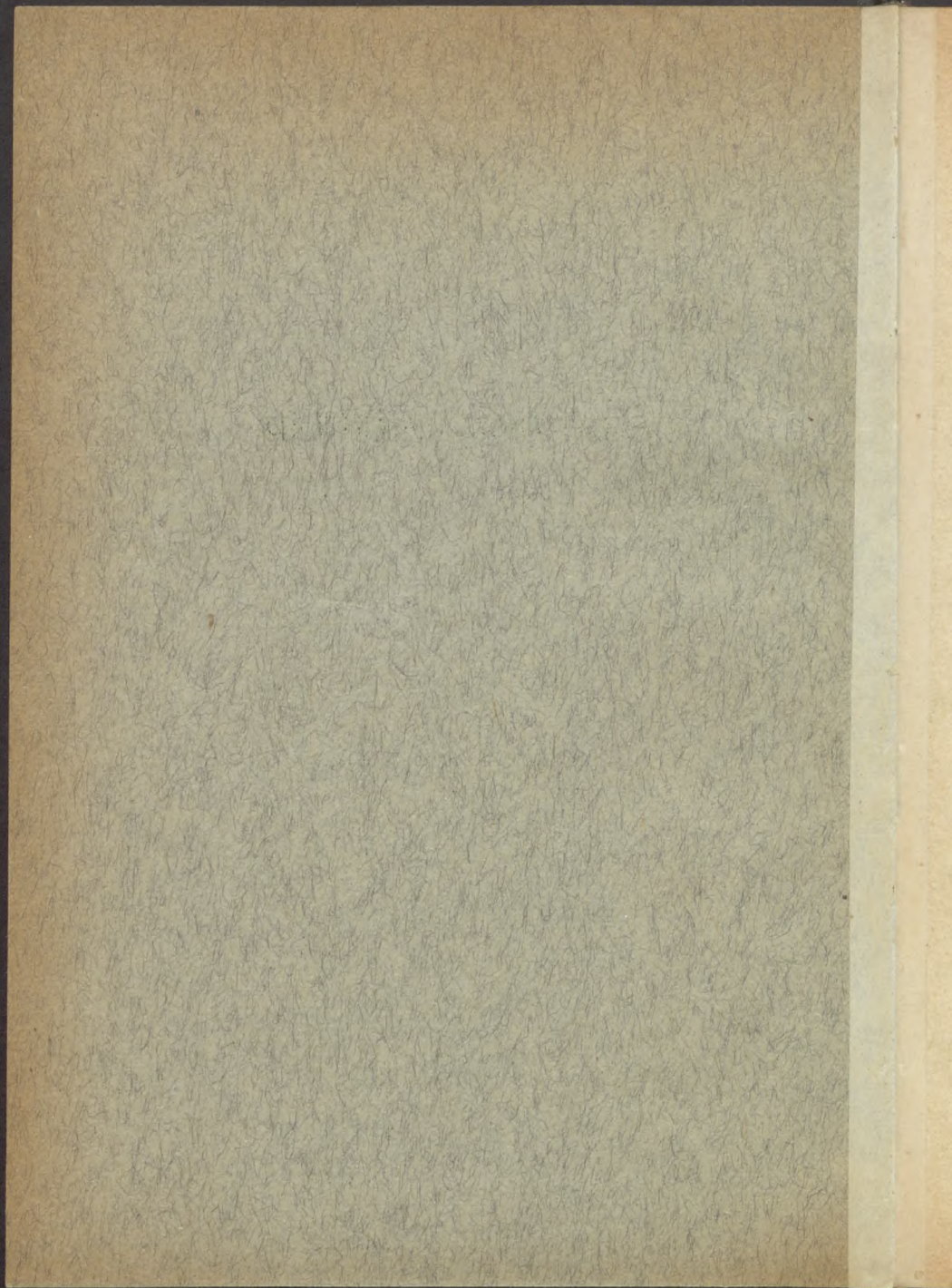
K
TE
TU
TA

12280
42.
**A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK
ELEMEL**

RAPAICS RAYMUND

**A NÖVÉNYI
VITAMINOK ÉS HORMÓNOK**

**K.M. /
TERMESZET-
TUDOMÁNYI
TÁRSULAT**



A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK ELEMEI

12.

A NÖVÉNYI
VITAMINOK ÉS HORMÓNOK

IRTA

DR. RAPAICS RAYMUND

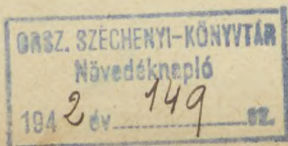


KIADJA A KIRÁLYI MAGYAR TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT
BUDAPEST, 1942.



12236/12

Sylvester. Rt., Budapest. — Felelős vezető: Schlitt Henrik.



I. Az életjelenségek hatóanyagai.

Az élettani kutatások folyamán a múlt század vége felé olyan szerves vegyületeket kezdtek megismerni, amelyek rendkívül kis mennyiségben igen nagy hatást fejtenek ki az élőlényekben s mindinkább kiderült, hogy az életjelenségeket irányító, szabályozó tényezők részben ezekre a kismennyiségű, de nagyteljesítményű hatóanyagokra vezethetők vissza.

Az élet eme, eleinte rejtélyesnek látszó, különleges hatóanyagai közt legelőször sikerült bizonyos mértékig elkülöníteni az *enzímeke*t. Már *Lavoisier* felismerte, hogy alkoholos erjedés közben a cukor alkoholra és széndioxidra bomlik s ennek alapján *Gay-Lussac* azt vitatta, hogy az erjedés előidézője az oxigén. Mások azonban kimutatták, hogy élő szervezetek nélkül nincs erjedés. Még *Pasteur* és *Liebig* is szemben állt egymással e tekintetben, *Liebig* egyszerű kémiai folyamatnak tekintette az erjedést, *Pasteur* kimutatta, hogy az erjesztő szervezetek a levegőtől kerülnek az erjedő folyadékokba. A mikroszkóp nem juthatott tovább az erjesztő szervezetek kimutatásánál s a kutatás egy időre megakadt. Végül *Buchner Eduard* 1897-ben kimutatta, hogy az erjedéshez nem szükséges az élő szervezet, elég hozzá a benne működő hatóanyagot tartalmazó anyag s a hatóanyagot *enzímn*ek nevezte el. Az enzimek a szervezetekben lefolyó kémiai reakciókat serkentik, de maguk látszólag nem vesznek részt bennük. Nagyon bonyolult vegyületek, amelyek kémiai szerkezetéről csak legújabbán kezd lehullani a lepel. Két összetevőjük van, alapananyaguk valamely fehérje, a másik összetevő a

koenzím. Eleinte azt vélték, hogy könnyen vándorolnak a szervezetben, újabban azt tartják, hogy szorosan kapcsolódnak a plazmához s csak kivételesen vándorolnak, mint pl. a rowarevő növények mirigyeiből kiválasztódnak, ugyanígy egyes baktériumokból. A növény és az állat mindenféle anyagcseréjében fontos szerepet játszanak, főként pedig a bontásokban. Az egyes enzimeket működésük szerint különböztették meg s nevezték el.

Buchner felfedezése úttörő jelentőségű volt, megkapta érte a Nobel-díjat. Mindazonáltal a nagyközönséghez nem jutott el az enzimek ismerete, csak az erjedési ipar értékesítette. Annál hirhedtebb lett két más hatóanyag, a vitamin és a hormon. Tulajdonképpen a vitaminokra vonatkozó kutatások előhangját is *Pasteur* és *Liebig* korában kell keresnünk, mert a biosz, az élesztőgombák különleges hatóanyaga, szintén a vitaminok közé tartozik s felfedezésének története azzal az ellentéttel kezdődik, amely *Pasteur* és *Liebig* közt merült fel az élesztőgombák tenyésztése tekintetében.

A vitaminok közelebbi felfedezése azonban más körben végzett kutatások eredménye s a vitamin név 1912-ből ered. Kezdetben csupán az állat- és az emberélettanban használták olyan anyagok jelzésére, amelyek hiánya jellegzetes betegségeket okoz, az ú. n. hiánybetegségeket. Minthogy a vitaminok szoros kapcsolatban vannak az ember egészségével és táplálkozásával s mindnyájunk mindennapi életében fontos szerepet játszanak, nevük és — legalább felületes — ismeretük futótűzként elterjedt. Szerencsére a tudomány is hamarosan hozzájuk férkőzhetett s ma nemcsak sokféle vitamint ismerünk, hanem élettani szerepüket, kémiai összetételüket is eléggé felderítették.

A vitaminokkal szinte a legutóbbi időig csak az ember- és állatélettan foglalkozott. Ez annál különösebb, mert elejétől kezdve tudták, hogy az ember eme védőanyagokat, amelyek megóvják az avita-

minózisos betegségektől, főként növényi táplálékokban veszi fel, sőt rövidesen az is kiderült, hogy a vitaminokat, vagy legalább a provitaminokat, a növények készítik testükben. Csak a legújabb idők vívmánya annak ismerete, hogy egyes vitaminok a növény anyagcseréjében is nélkülözhetetlenek, benne fontos szerepet játszanak, hiányuk épúgy avitaminózisokat okoz egyes növényekben, mint az emberben és az állatokban, továbbá, hogy egyes, már régebben ismert jelenségek a növények táplálkozásában, különösen bizonyos gombák tenyésztésében, különleges növényi vitaminokra vezethetők vissza.

Szintén új keletű a hormonok ismerete is, e nevet u. i. 1906-ban alkották meg bizonyos hatóanyagok megjelölésére, amelyek az ember és az állatok szervezetében a belső elválasztású mirigyekben keletkeznek s a véráramban vándorolnak rendeltetési helyükre, ahol különleges serkentő, gátló, szabályozó hatást fejtenek ki. Felfedezésük körülményei, különösen a megfiatalítás problémájában elképzelt mindenható szerepük, nagy hírnevet szerzett nekik a nagyközönség körében s ez azóta époly kevéssé csökkent mint a vitaminoké, mert a hormonok idővel bevonultak a klinikák leghatékonyabb orvosságai közé.

A növénytanban is hamarosan ember- és állatélettani szerepük felismerése után sikerrel indult meg a hormonkutatás. Ma már több növényi hormont ismerünk, sőt a növények megtermékenyítésében szereplő ivari hormonok ismerete a legújabb években mintaszerű eredményekkel járt. Ugyanekkor azonban azt sem hallgathatjuk el, hogy sok növényi hormon még csak elképzelés, tudományos feltevés, de ezek jelentősége sem lekicsinyelendő, mert rejtélyük felderítése értékes kutatásokra ösztönöz, amelyek bizonyosan meghozzák a maguk remélt vagy meglepetésszerű eredményét.

A vitamin- és a hormonfogalom ma sem tekinthető véglegesen meghatározottnak, különösen sok nehézségbe ütközik növénytani használatuk. Viszont

azonban ugyanekkor e fogalmak növénytani meghatározása több tekintetben lehetővé tette teljes biológiai körü meghatározásukat. Az enzimekkel szemben, amelyek főként keletkezési helyükön fejtik ki hatásukat, a vitaminok és hormonok többnyire elvándorolnak keletkezési helyükről, más sejtekbe, más szervekbe jutnak s ott fejtik ki hatásukat. *Brown-Séquard* egyenesen hírnökökhöz, sürgönyhordókhoz hasonlította ezeket az akkor még csak sejtett hatóanyagokat. A vitaminok és a hormonok közt kezdetben az ember és az állatélettan azt a különbséget tételezte fel, hogy a hormonokat a szervezet maga termeli, ellenben a vitaminokat kívülről a táplálékokkal kapja. Ez a megkülönböztetés azonban abban a pillanatban megdőlt, mielőtt kiderült, hogy a növényeknek is vannak vitaminjaik, amelyek saját szervezetükben fejtik ki hatásukat. Az az ismeret is tévesnek bizonyult, hogy a hormonok minden esetben belsőelválasztású mirigyekben keletkeznek. A növényi hormonok egyáltalában nem mirigyek termékei s ma már tudjuk, hogy az emberi és az állati szervezetnek is vannak olyan hormonjai, amelyek nem belsőelválasztású mirigyekben keletkeznek. Mindez, különösen a növénytan számára, szükségessé teszi a vitamin- és a hormonfogalom pontosabb meghatározását. Legcélszerűbb s a növénytanban egyedül lehetséges elhatárolás a biológia két fő életjelenségével kapcsolni össze e két fogalmat, a vitamint az anyagesere, a hormont a szerveződés — növekedés és fejlődés — vándor hatóanyagának tekinteni.

A három megismert hatóanyag közt a kutatások haladásával számtalan élettani kapcsolat, kölcsönösség és hatás mutatkozott. A vitaminokról kiderült, hogy hatásukat mint koenzímek fejtik ki. A növekedés hormonjai csak akkor fejthetik ki hatásukat, ha vitaminhiány nem akadályozza a növekedést. A növekedés hormonjai kiválthatják egyes fejlődési hormonok akcióját. A hormonok is kapcsolatban vannak bizonyos enzimekkel.

II. A növényi vitaminok.

1. Vizsgálati módszerek.

Hogy a testet felépítő tömeganyagokkal nem mérült ki a növény kémiai ismerete, azok a kutatók kezdték sejteni, akik mikroorganizmusokat vagy gombákat mesterséges táptalajon vagy tápoldatban igyekeztek tenyészteni. Az erre vonatkozó megfigyelések a múlt század közepéig visszanyúlnak, mint a biosz felfedezésének történetében részletesebben elmondjuk. A hiányokon eleinte úgy segítettek, hogy növényekből készült nedvet vagy zuzadékat, (antolizátot), esetleg tenyésztési maradékokat keverték a tápanyagba. Újabban a szerves kémia haladása lehetővé tette, hogy a szükséges szerves pótanyagokat meglemezzék, részekre bontsák és a hatóanyagot kiválasszák.

Az olyan szerves vegyületet, amelyet a növény nem nélkülözhet, nyilván maga nem tudja elkészíteni, ezért ilyen tekintetben heterotróf táplálkozású. Azokat a növényeket tehát, amelyek vitaminra szorulnak, vitamin-heterotrófoknak nevezzük. Ilyen a legtöbb baktérium és gomba általában a legtöbb klorofilltalan növény. De nem minden vitamin-heterotróf növény szorul minden vitaminra s hogy mely vitamin tekintetében heterotróf, csak kísérletekkel dönthető el.

A zöldnövényeket eleinte úgy tekintették, hogy anyagszerájukban nem szerepelnek vitaminok, helyesebben a zöldnövényekben keletkező vitaminokat anyagszerájuk melléktermékének minősítették. Újabban azonban egyes esetekben sikerült megállapítani, hogy egyes zöldnövényeknek is szükségük van bizonyos vitaminokra, most tehát azt kell tartanunk, hogy a zöldnövények anyagszerájában is szerepet játszanak a vitaminok, s növényélettani jelentőségüket a zöldnövények anyagszerájában eddig csak azért nem sikerült felismerni, mert a zöldnövények vitaminok

tekintetében nagyrészt önellátók, vitamin-autotrófok. A vitamin-heterotróf növények táplálkozása vitaminok tekintetében hasonló az ember és az állatok táplálkozásához.

A zöldnövények vitaminszükségletét csak kis mértékben lehet egyszerű víz- vagy talajkultúrákkal kimutatni, többnyire szükséges ehhez a szerv- vagy szövettenyésztés, amely az újabb idők vívmánya. A növényi szövettenyésztés úttörője *Ha-berlandt*, aki a kalluszképződés tanulmányozására kezdett növényi szövetek tenyésztésével foglalkozni. A növényi szervtenyésztés megalapítója *Robbins*, aki 1922-ben tenyésztett eredményesen gyökéresűcsokat. A növényi szerv- és szövettenyésztés legnehezebb feladatát, a tápanyag összetételének megállapítását *White* oldotta meg s e tenyészetekhez szükséges tápoldatot azóta *White*-féle tápoldatnak nevezzük. A vízkultúrákból ismert sókhoz *White* még szerves vegyületeket adott az oldatba, üzemanyagnak cukrot, literenként 20 g glukózt, vitaminnak pedig 20 kem élesztőfőzetet. A nevezett cukor és a vitamin természetesen helyettesíthető más anyagokkal is, glukóz helyett más cukor is használható, élesztőfőzet helyett pedig 1938-ban maga *White* ajánlotta a B₁-vitamint és több aminosav keverékét.

A vitamin-heterotróf növények vitamintalan táp-talajon azzal árulják el vitaminszükségletüket, hogy rövidebb-hosszabb tengődés után elpusztulnak. Hogy tengődésük oka valóban vitaminhiány (avitaminózis), nyomban kiderül, mihelyt megfelelő vitamint juttatunk táplálékukba. Erre u. i. a tengődés megszűnik, a növény egészségesen gyarapodik. Az eredmény mértékéül szolgál a növény szárazanyagtartalmának meghatározása. Ebből egyszersmind az is következik, hogy növényi vitaminnak tekintünk minden olyan szerves és rendkívül kis mennyiségben szükséges anyagot, amely lehetővé teszi a növények száraz-anyagának előnyös gyarapodását. E meg-

határozással egyszersmind kellő határvonalat húztunk a növényi vitaminok és hormonok közt.

A növényi vitaminok természetesen épügy koeenzímek módjára fejtik ki élettani hatásukat, mint általában a vitaminok. Vajjon minden olyan anyag, amely az emberben és az állatokban vitamin, egyszersmind vitamin-e a növényekben is, egyelőre megoldatlan kérdés és vitatható. Mindenesetre tény, hogy vannak olyan növényi vitaminok, amelyek állatélettani szerepe ismeretlen. Ilyen pl. a biosz, amely egyes növények legfontosabb vitaminja. Viszont azt is tudjuk, hogy a növényélettan felfedezett olyan növényi vitamint is, amelyről később kiderült, hogy emberi és állati vitamin is. Ilyen a nikotinsav.

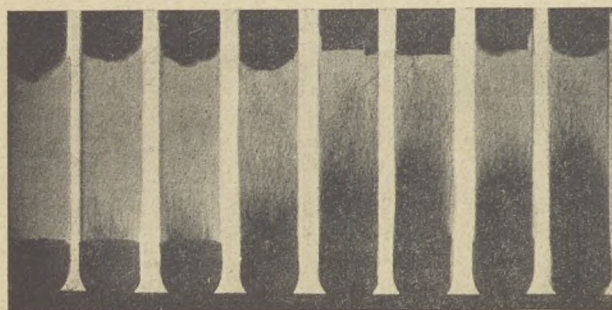
2. Az aneurin.

Az ember- és az állatélettanból közismert vitaminok közül a növényélettanban legfontosabb a B₁-vitamin, más nevén aneurin, amelynek hiánya emberben a beri-beri, baromfiakban a polineuritisz néven ismert betegséget okozza. A növényekben eléggé elterjedt. Legtöbb aneurin van a sörélesztőben, a rizs aleuronrétegében és a búzacsírában. Nagyobb mennyiségben fordul elő a parajban, sárgarépában, paradicsomban, salátában, borsóban, csiperkében. Utóbbiakban 15—30, előbbieken 100—150 patkánynövekedési egység van.

Gombák táptalajába szerves tápanyagul többnyire szőlőcukrot és aszparagint adnak. Azonban sok gomba ezekkel nem elégedik meg, hanem szerves anyagokat tartalmazó táptalajon is tengődik. Ezekben az esetekben a gomba többnyire avitaminózisban szenved s nyomban erőteljes testgyarapodás mutatkozik, mihelyt megfelelő vitamint, főként aneurint keverünk tápoldatába.

A moszatgombák általában könnyen tenyésztethetők mesterséges táptalajokon, egyesek azonban nem.

Utóbbiak közé tartozik pl. a *Phycomyces nitens* és *Blakesleeanus*, amelyek a természetben kenyéren, malátán fordulnak elő. Mesterséges táptalajon csak akkor tenyésznek, ha élesztő vagy zöldnövény nedvét keverjük bele. Vizsgálatok kiderítették, hogy e nedvekkel aneurin jut táptalajukba, ez a nélkülözött tényező. Az aneurin legelőnyösebb mennyisége 25 kem szilárd táptalajban 0.4–0.5 γ , ennél kevesebb nem elegendő, viszont ennél több fölösleges, mert nem gyara-



0 0.01 0.02 0.1 0.2 0.4 0.8 1.6 γ
1. kép. Az aneurin hatása a *Phycomyces Blakesleeanus* általános növekedésére (Schopfer nyomán).

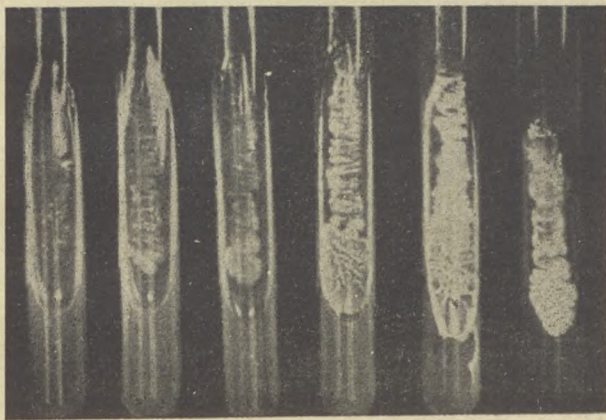
pítja többé a micélium szárazanyagmennyiségét (1. kép). Érdekes, hogy a spórákban ugyan van annyi aneurin, amennyi csírázásukhoz szükséges, de ez nem elegendő a micélium gyarapodásához. E rokonsági körben még sok olyan fajt ismerünk, amely aneurinra szorul.

A peronoszporák rokonsági körében is sok aneurin-heterotróf fajt ismerünk, ilyen pl. a *Phytophthora cactorum*, *cinnamomi*, *capsici*, *parasitica* stb. Az elsőről megállapították, hogy testgyarapodásához 0.01 γ aneurin kevés, ellenben 1 γ annyira előnyös, hogy a micélium 60 nap alatt 112.9 mg súlyt ér el.

Az élősködő gombák közt különbözőképen visel-

kednek a táptalajokon az üszöggombák is. Legnagyobb részük könnyen tenyészthető mesterséges táptalajon, pl. a közismert búza-, árpa-, zab- és kukorica-üszög, mások ellenben aneurin nélkül avitaminózisban szenvednek. Utóbbiak közé tartozik a fehér mécsvirág üszöggombája, az *Ustilago violacea*, amely a porzókat támadja meg s a termős virágok csökevényes porzóit kifejlődésre készíti, de e portokokban is sötétibolya színű spórákat termel. Eleinte a kereskedelembe kapható szaponinnal sikerült e gomba tenyésztését biztosítani mesterséges táptalajon, később kiderült, hogy nem a szaponin a szükséges tényező, hanem a szaponin szennyezésében szereplő aneurin. A legelőnyösebb mennyiség, ha a spórák száma kevés, 10–20 m γ (2. kép), ha sok a spóra, 4 m γ , azért aránytalanul kevesebb, mert ekkor a sok spórával sok aneurin jut a talajba.

A táplógombák közt is sok aneurin-heterotróf fajt



0 1 4 8 20 m γ agar
2. kép. Az aneurin hatása a fehér mécsvirág üszöggombájának (*Ustilago violacea*) általános növekedésére. Az első öt üvegben a táptalaj kimosott agar a fent jelzett mennyiségű neurinnal, a hatodik üvegben közönséges agar 1% Wander-maltinnal (Schopfer és Blumer nyomán).

ismerünk. Kísérletileg pl. a *Polyporus abietinus*- és *adustus* táplóról mutatták ki, hogy táptalajukban nem nélkülözhetik az aneurint. Az alábbi táblázat mutatja, hogy 0.1 γ a legelőnyösebb mennyiség.

Aneurin-mennyiség	Hígítás	A micélium szárazanyagának súlya mg-okban
Növekedési tényező nélkül	—	0.5—0.0
0.0001 γ aneurin . . .	1 : 250,000,000,000	1.1—0.0
0.001 „ „ . . .	1 : 25,000,000,000	2.9—0.3
0.01 „ „ . . .	1 : 2,500,000,000	6.5—0.6
0.1 „ „ . . .	1 : 250,000,000	20.0—0.8
1 „ „ . . .	1 : 25,000,000	19.8—0.4

A természetben az aneurinra szoruló táplógombák kísérleti megállapítások szerint baktériumoktól kapják a testgyarapodási tényezőt. Már régebben megfigyelték, hogy a fatestben élő táplógombák olyan helyeken telepednek meg, ahol bizonyos szaprofita baktériumok elszaporodtak. E baktériumok kultúrájával kevert mesterséges táptalajokon a legigényesebb táplógombák is sikerrel tenyészthetők. Itt találkozzunk először a vitaminok növényyszociológiai jelentőségével s látni fogjuk, hogy növényyszociológiai szerepük igen széleskörű.

Az aneurin-asszimiláció ismerete lényegesen bővült, amikor sikerült az aneurin kémiai összetételét megállapítani, majd a bonyolult összetételű vegyületet összetevőire bontani. Mint $C_{12}H_{10}N_4OS$ képlete mutatja, kéntartalmú s kéntartalmáról tiaminnak is nevezik. Két összetevője egy tiazol és egy pirimidin. Az összetevők ismerete alapján felmerül az a kérdés, milyen szerep jut a növényekben az egyes összetevőknek? Kísérleti vizsgálatok alapján hamarosan kiderült, hogy a növények különféleképpen viselkednek e tekintetben. 1. Egyes növények kész és teljes aneurinra szorúlnak, ilyenek pl. a *Phytophthora cinnamomi* és több más *Phytophthora*. Ezek tehát nem képesek még arra sem, hogy a két összetevőből maguk

kapcsolják az aneurint. 2. Más növények megelégednek külön a két összetevővel, de mind a tiazolt, mind a pirimidint megkívánják a táptalajban. Ilyen pl. a *Phycomyces nitens*, *Blakesleeanus*, *Ustilago violacea* stb. Ezek tehát képesek a két összetevőt maguk kapcsolni. 3. A pirimidin-heterotróf növények csak a pirimidin-összetevőre szorulnak, ezt nem képesek felépíteni, ellenben a tiazolt maguk készítik és maguk asszimilálják tovább. Ilyen a *Phytophthora fagopyri*, *Rhodotorula rubra* stb. Ultrapirimidin-heterotrófnak nevezhetők azok a növények, amelyek számára nemcsak szükséges a táptalajban a pirimidin, hanem annyira nélkülözhetetlen, hogy az aneurin sem pótolja teljes mértékben. Ilyen az *Absidia ramosa* és a *Parasitella simplex*. 4. A tiazol-heterotrófok tiazolra szorulnak, a pirimidint maguk készítik el. Ilyen a *Mucor Ramannianus*, a fenyőerdők talajának párányi moszatgombája.

Az ember- és az állatélettan ismeri a vitaminok gátló hatását is, a hipervitaminózisokat. A növényélettan másféle jelenséget ismer, amely a vitaminok gátló hatását mutatja. Az aneurinnal végzett kísérletek közben kiderült, hogy egyes esetekben ez a vitamin gátló hatást fejt ki. Ez a hatása szorosan összefügg a faji plazmakülönbségekkel. Legjellegzetesebben *Rhizopus*-fajokon figyelték meg, egyes *Rhizopus*-fajokra közömbös, másokra pedig egyenesen gátló hatású, mint az alábbi táblázat mutatja.

A micélium súlya mg-okban
aneurin nélkül 20 γ aneurinnal

<i>Rhizopus nigricans</i>	49	46
„ <i>maydis</i>	17	17
„ <i>oryzae</i>	95	67
„ <i>chinensis</i>	21	14
„ <i>bovinus</i>	6	3
„ <i>tritici</i>	88	43
„ <i>tonkinensis</i>	86	31
„ <i>nodosus</i>	90	48
„ <i>suinus</i>	63	28
„ <i>japonicus</i>	70	31

Arra a kérdésre is sikerült bizonyos mértékben megadni a feleletet, hogy az aneurin miképen fejti ki hatását. Azt már tudjuk, hogy a vitaminok mint koenzimek, vagyis az enzimek szabályozó összetevői működnek. A baktériumokkal és gombákkal végzett kísérletek azt mutatják, hogy az aneurin különböző enzimekben lehet koenzim. Pl. *Staphylococcus aureus*-ban és az élesztőgombákban karboláz, a *Bacillus Delbrückii*-ben dehidráz, szintén a *Staphylococcus*-ban még diszmutáz koenzimje. A növény- és állatvilágban való nagy elterjedése alapján valószínű, hogy még más enzimeknek is lehet összetevője.

Mindeddig klorofilltalan növényekben vizsgáltuk az aneurin szerepét. A zöldnövényekben is, különösen a klorofilltalan vagy klorofillban szegény részek, pl. a gyökerek, alkalmasak aneurin kimutatására. Ezek természetesen a zöld részekből kapják szerves anyagaikat s ha a zöld részekről elkülönítve, szerv- vagy szövettényészetben vizsgáljuk őket, lehetővé tesszük, hogy megállapítsuk az aneurin szerepét a zöldnövényekben. Ilyen módon több virágos zöldnövényben sikerült az aneurin szerepét kimutatni. Sőt az is kiderült, hogy egyes növények gyökerei épúgy különbözőképpen viselkednek az aneurinösszetevőkkel szemben, mint a baktériumok és gombák. Pl. a borsó gyökere megelégedik a tiazollal és pirimidinnel, a két összetevőt maga kapcsolja. A paradicsom gyökere a szervtenyészeti vizsgálatok szerint tiazol-heterotróf, a pirimídit maga készíti s a felvett tiazollal teljes aneurinná kapcsolja. E kísérletek alapján az állatokban is vizsgálni kezdték az aneurin-összetevők jelentőségét s kiderült, hogy az állatok aneurin-heterotrófiája is különböző fokú, pl. a patkány nem nélkülözheti a kész aneurint, ellenben a galamb számára elég külön-külön a két összetevő, mert ezeket maga képes kapcsolni.

3. A többi vitamin.

Sajnos, az ember- és állatélettanban szereplő többi vitaminról növényélettani tekintetben sokkal kevesebbet, akárhányról semmit sem tudunk.

Az A-vitamin, mint ismeretes, nem fordul elő a növényekben, hanem csak provitaminjai, a karotinoidok, tartoznak a növényi anyagok közé. A karotinban és karotinoidokban gazdag virágosnövények közismertek, de a virágtalan növények körében sem ritkaság a különféle karotinoid, pl. a *Mycobacterium phlei*-ben α -karotint, β -karotint, kriptoxantint, luteineszt, zeaxantint és azafarint mutattak ki, a *Rhodotorula Sanniei*-ben nyolc karotinoidot, a penészgombákban főként β -karotint, a kovamoszatok közt a *Nitzschia closterium* tűnik ki karotinoid-tartalmával. A növényekben azonban a karotinoidoknak valószínűleg az asszimilációban van szerepük s bizonyos tekintetben a klorofill munkáját egészítik ki vagy helyettesítik.

A B₂-vitamin vagy laktoflavin, a virágtalanok közül különösen egyes tejsavbaktériumokban, pl. a *Bacillus Delbrückii*-ben és vajsavbaktériumokban, pl. a *Clostridium butyricum*-ban fordul elő nagyobb mennyiségben. Úgy látszik, hogy más növényi vitaminokhoz kapcsolódva szerepel eredményesen egyes tejbaktériumok táplálékában, pl. a biosszal és a tej más, még ismeretlen vitaminjaival együtt. Ilyen baktérium a *Streptobacterium plantarum*, *Bacterium bifidum*, *Streptococcus glycerinaceus*, *Thermobacterium lactis* stb. A virágos zöldnövények főként leveleikben tartalmazznak laktoflavint. A magvakban többnyire kevés a laktoflavin, de pl. a borsómagban jelentékeny. Csírázás után azonban megnövekedik a csemete laktoflavin-tartalma. Mint ismeretes, ez a vitamin az oxidációs folyamatokban játszik szerepet.

A B₆-vitamin vagy a dermin szintén a tejben található s egyike azoknak a tejben szereplő vitaminoknak, amelyek a tejbaktériumok táplálékában sze-

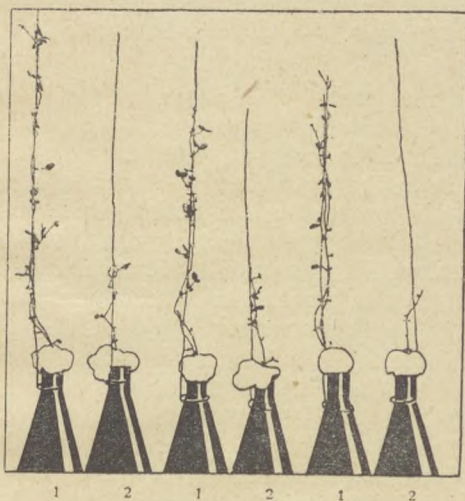
repelnek. Gyökértenyésztési kísérletek azt mutatják, hogy valószínűleg vitaminhatást fejtenek ki a zöld-növényekben is, de egyes növényeknek nemcsak zöld, hanem klorofilltalan részei is képesek elkészíteni, pl. a borsógyökér.

A B-vitaminkomplexumhoz tartozó nikotinsav, amelyet az emberélettanban PP-tényezőnek, pellagra preventivumnak neveznek, több baktérium számára nélkülözhetetlen vitamin. A szabad levegőn, v. i. aerobiotikusan tenyésztett *Staphylococcus aureus* táptalajába nikotinsavat vagy nikotinsavamidot kell keverni. Ugyancsak nélkülözhetetlen e vitamin a *Bacterium proteus* táptalajában is. Zöldnövényekben épúgy gyökértenyészetekkel mutatták ki jelentőségét, mint az előbbi vitaminét s ugyancsak valószínű, hogy egyes gyökerek maguk képesek elkészíteni, pl. a paradicsomgyökér.

Általában a B₆-vitaminra és a nikotinsavra jellemző, hogy teljes hatásuk kifejtéséhez támogatásra szorulnak, hatásuk csak akkor mutatkozik teljes értékben, ha egymáshoz és a B₁-vitaminhoz kapcsolódhatnak, némely esetben pedig még az alább tárgyalandó biotinhoz is. Igen erős pl. a nikotinsav hatása az említett *Staphylococcus*-ra, ha aneurint és biotint keverünk vele együtt a táptalajba. A zöldnövényekben pedig a gyökértenyészetek eredményei szerint valószínűleg B₁- és B₆-vitamin kapcsolódik a nikotinsavhoz a teljes eredmény eléréséhez, azonban, mint már említettük, egyes gyökerek a B₆-vitamint, mások meg a nikotinsavat képesek maguk készíteni, tehát a gyökértenyészet tápadatából adott esetben a megfelelő vitamin elmaradhat.

A C-vitamint vagy aszkorbinsavat a szakismeretekben járatlan közönség legtöbbet emlegeti s általánosan ismeretes, hogy virágos növényekben nagyon elterjedt, különösen a húsos gyümölcsökben és a levelekben gyakori jelentékeny mennyiségben. Több aszkorbinsav-heterotróf növényt ismerünk, több olyat is, amelyek fejlődésüknek csak bizonyos szaká-

ban értékesítik előnyösen a táplálékukban levő aszkorbinsavat. Egyes flagelláták táptalajában nélkülözhetetlen. A zöldnövények közül előnyösen értékesül ez a vitamin pl. a borsó több fajtájának táplálkozásában, de csak a növény bizonyos fejlődési szakában. E borsók a táptalajból kimutathatólag felveszik az aszkorbinsavat s aszkorbinsavtartalmuk kétszeresre gyarapodhat azokéval szemben, amelyek táptalajába nem juttattunk. Ha fiatal borsócsemeték aszkorbinsavhoz jutnak, növekedésükben előnyös hatás mutatkozik. Az érett borsómagban majdnem teljesen hiányzik az aszkorbinsav, a csirában u. i. rendkívül kevés van, a sziklevelekben pedig hiányzik. Ellenben csirázás közben a sziklevelekben jelentékeny mennyiségben képződik. Ha tehát korán megfosztjuk a borsócsirát szikleveleitől, megakadályozzuk, hogy aszkorbinsavat készítsen. Ha vízbeáztatott borsómagva-



3. kép. A hetedik napon csíraleveleüktől megfosztott aszkorbinsavas (1) és aszkorbinsavtól mentes (2) tápoldatban nevelt borsónövények (Hausen nyomán).

kat a hetedik napon megfosztunk szikleveleiktől, azután egyeseket aszkorbinsavval trágyázott, másokat aszkorbinsavtól mentes tápoldatban tartunk, előbbieket elérik rendes magasságukat és virágzanak, utóbbiak egy ideig tengődnek, satnyák maradnak és virágzás nélkül elpusztulnak (3. kép). Idősebb, 9—10 napos sziklevek már annyi aszkorbinsavat juttatnak a csirának, hogy aszkorbinsavtartalmú táplálék nélkül is tovább fejlődhet.

Az aszkorbinsav növényélettani szerepéről annyit tudunk, hogy közvetítő a peroxidáz-rendszer által végzett oxigénátvitelben. Azokban a növényekben, amelyek nem mutatnak változást szárazanyaggyarapodásukban az aszkorbinsavat tartalmazó táplálék hatására, kezdettől legelőnyösebb mennyiségben van aszkorbinsav, v. i. kifejezetten aszkorbin-autotrófok, de ezekben is szerepel.

4. A biosz és a különleges növényi vitaminok.

Miként már említettük, az ember- és állatélettanból ismert vitaminokkal nem merül ki a növényi vitaminok sora, több olyan anyagot ismerünk, amely a növények számára vitaminnak tekintendő, mert bár rendkívül kis mennyiségben szükségesek, mégis nélkülük egyes növények nem gyarapodnak szárazanyag-tartalmukban, satnyák maradnak. E különleges növényi vitaminok közt legfontosabbak és legérdekesebbek a bioszanyagok.

A biosz felfedezésének története *Pasteur* és *Liebig* korában kezdődik. *Pasteur* már 1858-ban megállapította, hogy az élesztőgombák sikeresen tenyésztethetők olyan mesterséges táptalajon, amelyben az élesztő hamualkatrészein kívül cukor és ammonium-só van. Később *Liebig* is foglalkozott ezzel a kérdéssel, de nem sikerült ilyen táptalajon élesztőgombát eredményesen tenyésztenie, ennél fogva 1871-ben nyilvánosan kétségbe vonta *Pasteur* megállapítását. Erre

Pasteur meghívta *Liebig*-et, hogy nála személyesen győződjék meg kísérletei eredményéről. Am az öregedő *Liebig* nem vállalkozott az útra s a kérdés megoldása az utódokra maradt. Csak három évtized múlva foglalkozott ismét e kérdéssel *Wildiers*, aki megállapította, hogy mindkét kutatónak igaza volt. *Liebig*-nek azért, mert kevés élesztősejtet hiába tesszünk a szóbanforgó mesterséges táptalajba, nem erjesztenek és nem szaporodnak. *Pasteur*-nak meg azért, mert sok élesztősejtet tett át a természetes táptalajról, a malátáról, a mesterséges táptalajba s ezekkel annyi vitamint juttatott oda, hogy az élesztősejtek nem szenvedtek szükségét ezekben az akkor még ismeretlen, rendkívül kismennyiségű hatóanyagokban. Ezzel a jelenséggel különben később is találkoztak a mikroorganizmusok kutatói. Említettük, hogy a fehér mécsvirág üszöggombája sokkal több aneurint kíván a mesterséges táptalajban, ha kismennyiségben telepítjük, mint akkor, ha nagymennyiségben. *Wildiers* 1901-ben az élesztőgombák sejtjeinek rendkívül kis mennyiségben szükséges, egyelőre még ismeretlen anyagot biosznak nevezte el, ezzel is kifejezni akarván fontosságát. Biosz u. i. az élet görög neve.

A bioszra vonatkozó kutatásokban az első fontos eredmény *Copping* megállapítása, hogy nem minden élesztőnek van szüksége bioszra, hanem csak azoknak a rasszoknak, amelyek a hosszú domesztikáció következtében elvesztették bioszképző tehetségüket, ellenben a gyengén vagy egyáltalán nem erjesztő, de élénken lélekző rasszok nem szorulnak bioszra mesterséges táptalajon sem. Nyilván maguk építik fel szervezetükben. A következő fontos lépés volt, mikor 1923-ban kiderítették, hogy a biosz nem egységes vegyület, hanem vegyületkomplexum. Idővel hat összetevőre sikerült bontani, de talán még ezzel sem merült ki a bioszanyagok sora.

Lucas 1924-ben alkoholos baritoldattal, majd bázikus óllmacetáttal két frakcióra választotta szét a bioszt. Amely a csapadékba jutott, az I. biosz, amely

a filtrátumba, a II. biosz nevet kapta. *Eastcott* aszszony később kínai tea porából vonta ki az I. bioszt és megállapította, hogy mezoinozitol. Ez a vegyület mind állatokban, mind növényekben elterjedt. Nemcsak élesztőgombák számára vitamin, hanem több más mikroorganizmus számára is, de önmagában alig vagy egyáltalában nem hatékony, csak a többi bioszanyaggal, főként a bitoinnal együtt. Hatása 200.000-szeres hígításban kimutatható.

A II. bioszt amerikai kutatók szintén két részre bontották szénfiltrálással, majd legújabban sikerült kimutatni, hogy a II/a biosz aminosavak vegyülete, amelyek közt legfontosabb a β -alanin. Az alanin önmagában is hatékony, még hatékonyabb azonban aszparaginsavval együtt.

A II/b bioszt *Kögl* biotinnak nevezte el. Ez a bioszanyagok közt önmagában a leghatékonyabb, hatása 400 milliárdszoros hígításban kimutatható az érzékeny élesztőrasszokon. *Kögl* és *Tönnis* a tojássárgájából kristályosította. E célra 250 kg kínai kaesa tojásának szárított sárgáját szereztek be s bár számításaik szerint ebben 80 mg biotinnak kellett lennie, mindössze 1.1 mg-ot kaptak. A kristályos anyag valószínűleg a biotin metilesztere, $C_{11}H_{18}O_3N_2S$. Az állat- és növényvilágban nagyon elterjedt. Hatását kimutatták zöldnövényeken is.

Kögl és *Van Hasselt* a biosz szénfiltrátumában negyedik bioszanyagot is kimutatott, ez a III. biosz nevet kapta.

Farell megfigyelései szerint a *Saccharomyces cerevisiae* jobban gyarapodik olyan táptalajon, amelyben az I., II/a és II/b bioszon kívül paradicsomlé is van, s a paradicsomlének az élesztőgombára hatásos vitaminját V. biosznak nevezte el. Az V. biosz nélkülözhetetlen a *Saccharomyces Hanseniaspora valbyensis* számára, ellenben sok más élesztő számára nem.

Devloo még egy tényezőt különített el a bioszkomplexumból, egy bioszterolt. A bioszban min-

den biotin-egységhez tíz bioszterol-egység járul. Helyettesíthető ergoszterollal és kalciferollal, v. i. D₂-vitaminnal.

Mindezek az összetevők kettesével, hármasával sokkal hatékonyabbak, mint külön-külön, a nyers biosz pedig a kombinációkat is felülmúlja, éppen ezért benne még más hatóanyagokat is sejtenek, sőt kismennyiségű elem-táplálékokat is. A bioszkomplexum mértéke az élesztőegység. A vitaminokat általában kismennyiségű szerves növekedési tényezőknek szokták nevezni, mert a szárazanyag gyarapodása természetesen növekedéssel jár, bár a növekedésnek csak egyik feltétele. Az egysejtűek növekedése korlátozott, bizonyos testnagyság elérése után sejtosztódás következik, ami egyszersmind szaporodást is jelent. A biosz mértéke, az élesztőegység tehát legkönnyebben a sejtek számának növekedésére alapítható. *Kögl* megállapítása szerint egy *Saccharomyces*-egység az a bioszmennyiség, amely az előírt tenyésztési feltételek közt öt óra alatt kétszeresére, v. i. 100%-kal növeli a sejtek számát. Biosz nélkül ugyanakkor csak 20–40%-kal emelkedik ez a szám.

Noha az állatokban elterjedt, s különösen jellegzetes a biosz előfordulása a kutya petetüszőjében, amelynek biosztartalma a fejlődés folyamán egyre gyarapodik, állatélettani szerepe eddig ismeretlen. Az élesztőgombákon kívül más gombákat is ismerünk, amelyek nem nélkülözhetik a bioszt, ilyen pl. a *Ne-matospora gossypii*, a gyapotnövény tömlősgomba-élősködője. Több gomba számára csak aneurinnal hatékony. A zöldnövények körében különösen magvakban gyakori, ami arra mutat, hogy a csírázásnak valamely tényezője. A kukoricamagvakban a csírában és a pajzsalakú sziklevelben, a búzában a táplálószövetben is jelentékeny mennyiségű. *Dagys* kimutatta, hogy a kocsányos tölgy és a csörögefűz rügye és levele biosztartalmú s a rügyekben fakadáskor a biosz mennyisége megnövekedik. A kambiumban is van biosz s mennyisége a működő kambiumban ép-

úgy megnövekedik, mint a fakadó rügyben. Hogy azonban e szövetekben is vitaminhatású-e, nem tudjuk.

A bioszon kívül több más különleges növényi vitamint ismerünk a mikroorganizmusok körében. Fentebb volt szó róla, hogy a *Staphylococcus aureus* aerobiotikusan tenyésztve nikotinsavra szorul. Ugyanez a baktérium anaerobiotikusan, levegőtől elzárva, bréne-szőlősavat és úracilt (2—6-dioxipirimidint) kíván a szárazanyaggyarapodáshoz. Levegőn ezeket is termeli a *Staphylococcus*, ezért baktérium tenyészetének hígított anyagával is pótolhatók. A *Corynebacterium diphtheriae* különleges vitaminja a pimelinsav, amelyet eleinte májkivonattal juttattak tápoldatába, később a tehén vizeletében is megtalálták, ebből sikerült elkülöníteni, vegyileg meghatározni s ezen az alapon mesterségesen készíteni. Tíz kem tápoldatban 0.5 γ pimelinsav hatása kimutatható.

5. Különleges hatású tápanyagok.

A vitaminoktól némileg különböző, de vitamin-szerű anyagok a növény különleges hatású szerves tápanyagai. Ezeket az különbözteti meg a szorosabban értelmezett vitaminoktól, hogy kissé nagyobb mennyiségben szükségesek, tehát összekötő tagnak tekinthetők a tömegtápanyagok és a vitaminok közt. Ilyen pl. a B-rizopin. *Nielsen* kimutatta, hogy olyan malátás tápoldatok, amelyeken *Rhizopus sinensis* vagy *Absidia ramosa* tenyésztett, különleges szerves anyagot tartalmaz, amelyet rizopinnek nevezett el. A rizopin jelentékenyen növeli az *Aspergillus niger* micéliumának gyarapodását, de nagyobb mennyiség szükséges belőle a kimutatható hatáshoz, mint általában a vitaminokból. Nem egységes vegyület, idővel sikerült két összetevőre bontani, A-rizopinra és B-rizopinra. Az A-rizopinról kiderült, hogy β -indolil-acetsav, v. i. a heteroauxin, jelentősége tehát más kör-

be tartozik. Ellenben a B-rizopin vitaminszerű tényező, amelynek hatása az *Aspergillus* micéliumának szárazanyaggyarapodásában mutatkozik. A B-rizopin tanulmányozása kiderítette, hogy szintén két összetevőre bonthatjuk, B₁- és B₂-rizopinra. A B₁-rizopint az állati szén adszorbeálja, hatása főként élesztőn mutatkozik, a B₂-rizopint az állati szén nem adszorbeálja, s csak valamely más vitaminnal kapcsolatban fejt ki hatását, amely főként az *Aspergillus niger*-en jellemző.

6. A vitaminok törzsfelföldéstani és szociológiai szerepe.

A vitaminok jelentőségét a fentebb elmondottakkal nem merítettük ki, mert túlterjed az egyéni élet határain, törzsfelföldéstani és növénytársulási körbe is átnyúlik. Törzsfelföldéstani tekintetben nyilvánvaló, hogy a vitamin-heterotróf szervezetek vitamin-autotrófoktól származnak, mint pl. a bioszra szoruló domesztikált élesztőgombákról kimutatták. Szociológiai tekintetben pedig a vitamin-heterotrófia a növények társulásának egyik fontos szabályozója.

A mikroorganizmusok körében régóta ismeretes, hogy két mikroorganizmus gyakran testükből a táptalajba szivárgó anyaggal befolyásolja egymást. Davis, aki ezt a jelenséget a hemofil baktériumok társulásában figyelte meg, szatellitizmusnak nevezte el. A szatellitizmus a vitaminok törzsfelföldési és társulási jelentőségéhez az első lépcső. A penészgombák körében jellemző példa a szatellitizmusra a következő. Ha *Phycomyces* penészt mesterséges tápoldaton tenyésztünk, felszíni micéliuma gyengén fejlődik. Amint azonban tápoldatába *Penicillium glaucum*-ot telepítünk, e körül nyomban erős gyarapodásnak indul a *Phycomyces* micéliuma, mert a *Penicillium* micéliumából olyan vitaminok szivárognak ki a tápoldatba, amelyeket a *Phycomyces* nem képes

elkészíteni. Élesztőgomba ugyanezt a hatást mutatja.

A szatellitizmustól egy lépés az együttéléssig, amelynek magyarázatát alábbiakkal példázhatjuk. Ha az említett *Nematospora gossypii*-t mesterséges táptalajon együtt tenyésztjük a *Polyporus adustus* táplógombával, mindkettő élénken tenyészik, mert előbbi aneurint készít s juttat a talajba, utóbbi pedig biotint, viszont az előbbi biotinra, az utóbbi meg aneurinra szorul. Kölesönösen lehetővé teszik mesterséges tápoldaton a tenyésztést külső vitaminadagolás nélkül a tiazol- és pirimidin-heterotróf szervezetek, pl. a tiazolt készítő *Rhodotorula rubra* és a pirimidint készítő *Mucor Ramannianus*. Ilyen tenyészetben a *Mucor Ramannianus* gombafonala áthatol a *Rhodotorula* sejtjein és olyan szövetet alkot, amely élénken emlékeztet a zuzmók telepszövedeire. Nem kérdéses, hogy a lichenizmus sokkal bonyolultabb hatásokon alapul, mint eddig vélték és vitaminok is szerepet játszanak benne.

Közelebb jutottunk ezen az alapon a kosborfélék és bizonyos gombák szimbiózisának magyarázatához is. *Burgeff* kimutatta, hogy gombákkal együttélő forróövi kosborfélék tenyészetében a gombák nélkülözhetők, ha a tápoldatban a gombát gombakivonattal vagy élesztőkivonattal helyettesítjük. A kosborfélék e gyarapodási tényezője olyan hatékony, hogy pl. az élesztőkivonatból kem-ként 300 γ kimutatható hatású. Ez a vitamin magvakban is megtalálható, sőt a megzöldült *Phalaenopsis*-ban is, ami azt mutatja, hogy a gombával együttélő kosborféléknek csak az első, szaprofita állapotukban van rá szükségük, mert különben ilyenkor időleges avitaminózisban szenvednek.

Kétségtelen, hogy az élősködésben is fontos szerepet játszanak a vitaminok. Mint a fehér mécsvirág üszöggombája megtanított rá, egyes paraziták nem nélkülözhetnek bizonyos vitaminokat s csak olyan mesterséges táptalajon tenyészthetők, amelyből ezeket megszerezhetik. A legspecializáltabb élőskö-

dők, a rozsdagombák, egyáltalában nem tenyészthetők mesterséges táptalajon, ezek táplálkozásához tehát még a vitaminok mai ismerete sem adja kezünkbe a kulcsot.

III. A növényi hormonok.

1. A növény szervképző hatóanyagai.

Mindenki természetesnek tartja, hogy a kristály alakját sikerült anyagának tulajdonságaiból levezetni, mert a kristály homogén test, minden részecskéje ugyanazon anyag, amely az egészet is alkotja. Ezzel szemben az élőlények rendkívül bonyolult összetételű, heterogén anyagokból álló testek, amelyek alakjait még ma is nagyon sokan nem tartják levezethetőnek anyagi tulajdonságaikból, sőt egyesek azt vitatják, hogy éppen alakjuk határozza meg anyagi összetételüket (Ganzheit-elmélet). Élőlények anyaga és alakja közt a viszonyt azonban új megvilágításba helyezte a hatóanyagok ismerete, amely lehetővé tette, hogy a metafizikai alakító erőket (entelechiákat) igen nagy mértékben természettudományi módszerekkel kutatható tényezőkkel helyettesítsük.

Hogy a növény alakja, v. i. szerveződése, szervképzése a növényben székelő tényezők függvénye, *Sachs Julius* már 1880-ban megállapította, mikor bizonyos kísérleteinek eredményei alapján arra a következtetésre jutott, hogy a virágképződés valamely különleges virágképző anyagra vezetendő vissza. Más kísérletei alapján gyökérképző anyagot tételezett fel a növényben. Később mások a növények sejtnövekedésében is feltételeztek kísérletek alapján különleges hatóanyagot. Ugyanekkor ember- és állatélettani kutatások is azt a nézetet keltették, hogy az élő test szerveződése, részeinek szabályozott összefüggése nemcsak az idegrendszerrel függ, hanem bizonyos hatóanyagoktól is és *Brown-Séquard* csakhamar megalapította a szervképződés hatóanyag-elméletét,

majd a szervképző hatóanyagok hormon néven váltak egyre ismertebbé. Az ember- és állatélettan hormonkutatásainak eredményei alapján *Went*, holland kutató, 1928-ban hormónnak minősítette az időközben a zab csirahüvelyének fényrehajlásában kimutatott sejtnövekedési növényi hatóanyagot és auxinnak nevezte el. Mikor pedig *Kögl* 1931-ben kémiailag is meghatározta az auxint, a növényi hormónkutatás biokémiailag is olyan alapot kapott, amelyen tovább lehetett kiépíteni a növényi hormónok tanát.

Ezen az alapon csákhamar maga *Went* is több más hormont tételezett fel a növényi szervképzés hatóanyagaként, *Haberlandt* is belekapcsolódott a kutatásokba, *Wiesner* nyomán különösen a sebhagedést tanulmányozta, s így mind szélesebb körre terjedtek ki a növénytani hormónkutatások. *Went* és *Kögl* eredményei után végül legújabbban *Moewus* és *Kuhn* a moszatok ivari hormónjainak ismeretét alapította meg olyan részletesen, hogy bizonyára minden növényhormónkutató igyekezni fog példájukat követni.

Az eddig elért eredmények alapján bizonyosra vehető, hogy a növényi test megalakulása, szerveződése első fokon hormónokra vezethető vissza. Ez egyszerűen meghatározza a növényi hormónok osztályozását is. Először két főcsoportba sorozzuk a növényi hormónokat, a növekedés és a fejlődés hormónjainak csoportjába, majd a növekedés hormónjai között megkülönböztetjük a sejtnövekedés, turgorváltozás és sejtosztódás, a fejlődés hormónjai közt pedig a csirázás, differenciálódás és megtermékenyítés hormónjait.

2. A sejtnövekedés hormónjai.

Mint említettük, az auxint a fényrehajlás tanulmányozása közben fedezték fel. A fényrehajlás (fototropizmus) közismert növényi életjelenség, már az ókorban naprahajlóknak, napraforgóknak (heliotró-

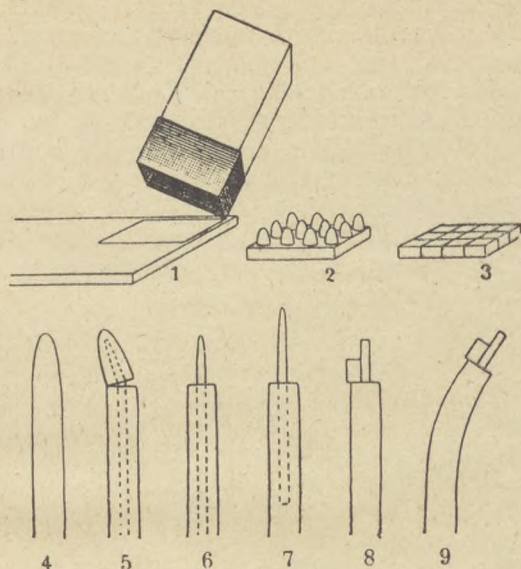
poknak) neveztek egyes növényeket s ma mindenki ismeri az ablakokban egyoldalról megvilágított és levelük színét a fény felé fordító muskátlikat. A fototropizmust tudományosan először *Knight* tanulmányozta a múlt század elején. Kutatásait főként a borostyánszőlő negatív heliotróp kacsáival végezte s vizsgálatai eredményeként megalkotta a fototropizmus első mechanikai magyarázatát, amely szerint a megvilágított kéregrészt pozitív heliotrópizmus esetében összehúzódnak, negatív heliotrópizmus esetében pedig kiterjed. Másfél évtizeddel később *Dutrochet* megalapította a növényi mozgások ingertanát, amely szerint a külső erő, heliotrópizmus esetében a fény, csak mint inger hat a növény érzékeny részére, amelyben bizonyos belső életfolyamatot vált ki. A múlt század későbbi éveiben is élenként tanulmányozták a fototropizmust s különösen alkalmasnak bizonyult erre a célra a pázsitfélék, pl. a gabonák csirahüvelye (*koleoptilja*), amely erősen hajlik a fény felé. *Darwin* is foglalkozott több gabona, pl. a kanáriköles, zab csirahüvelyének fényrehajlásával s kimutatta, hogy az ingert a hüvely csúcsa fogja fel, onnan vezetődik az inger az alább eső hajlási zónához. Ha a hüvely csúcsára sztaniolsapkát borított, a hajlás elmaradt.

Abban az időben nem ismerték az ingervezetés más módját, csak az idegrendszert s már *Dutrochet* olyan életfolyamatokat tételezett fel a növényben, amelyek az állati idegműködéssel állíthatók párhuzamba. Ennek mintájára keresték a csirahüvely fényrehajlásában mutatkozó ingervezetés magyarázatát is. *Darwin* egyenesen az agyműködéshez hasonlította a csirahüvely csúcsának szerepét. Természetesen merészebb képzeletű kutatók találni is vélték a növényi szövetek közt idegvezetékeket. Mások azonban ugyanekkor — mint tudjuk — különleges hatóanyagokkal igyekeztek megmagyarázni a növényi alakváltozásokat s végül *Boysen-Jensen*, dán kutató, zab csirahüvelyén 1910-ben kísérletileg bebizonyí-

totta, hogy a fényrehajlási növekedés anyagterjedésen alapszik. A hatóanyag a hüvely csúcsában székel, ha a csirahüvely csúcsát levágjuk, a fényrehajlás elmarad. E vizsgálatokat később többen, így *Paál Árpád* is megerősítették és tovább fejlesztették, amivel végleg megdőlt a növényekben feltételezett bármiféle idegrendszer elmélete. Végül *Söding* 1923-ban azt az elméletet állította fel, hogy a zab csirahüvelyében kimutatott hatóanyag nemcsak a fényrehajlást okozza, hanem általában a sejtnövekedés hatóanyaga, amit *Went* egyrészt kísérletileg megerősített, másrészt — mint tudjuk — e hatóanyagot ezen az alapon növesztőnek, *auxinnak* nevezte el s hormónnak minősítette.

Hogy az auxin élettani tanulmányozását lehetővé tegye, *Went* bizonyos mértékegységet alapított a zabteszttel. Sötétben csiráztatott zab csirahüvelyé 2—2.5 nap múlva 2.5—3.5 cm magasságot ér el. Most levágjuk a csirahüvelyek csúcsát és agarlemezre helyezzük. A hüvelyesúcsokból az auxin hamarosan az agarlemezbe szivárog, ekkor a lemezt meghatározott nagyságú kockákra daraboljuk fel. Az agarból az auxin könnyen visszaszivárog a sebfelületen át a növénybe s ott újra megindítja a sejtnövekedést. A csirahüvelyből a csúcs helyén kiálló első levelet kitépjük s az agarkockát a csirahüvely sebhelyén féloldalt helyezzük el. Minthogy csak a féloldal jut auxinhoz, csak ez az oldal növekedik s a féloldali növekedés következtében a csirahüvely arra az oldalra hajlik, amely nem jut auxinhoz (4. kép). Azt az auxinmenyniséget, amely ily módon a zab csirahüvelyét tíz fokkal meghajlítja, *Went* fiziológiai egységnek választotta. A zabegység később is használatos maradt, de más olyan növényeket és növényrészeket is kerestek, amelyek auxinra érzékenyek és jellegzetesen reagálnak. Így került használatba a borsóteszt s legújabban a kukoricateszt. A kukorica gyökere u. i., ha csúcsa fölött auxintartalmú anyagot fecskendezünk bele, növekedésében megbénul és csúcsán megdagad.

A kukoricateszt u. i. sokkal érzékenyebb, mint a zabteszt, mert a benne levő auxinmennyiség gyarapítása gátló hatást kelt.



4. kép. Az auxin kivonása és meghatározása zabteszttel. 1. Agarlemez kivágása. 2. A levágott zabcsírahüvelycsúcsok elhelyezése az agarlemezen. 3. Az auxinnal megivódott agarlemez felvágása kockákra. 4. Zab csírahüvelye. 5. A csírahüvely csúcsának levágása. 6. A csírahüvelyen levő első lomblevél. 7. Ennek kihúzása. 8. Az auxinos agarkockát a kihúzott levélre erősítjük. 9. Az agarkockából a csírahüvelybe szivárgó auxin hatására az agarral érintkező oldal az erősebb sejtnövekedés következtében görbülést okoz (Went nyomán).

A tesztek megállapítása lehetővé tette, hogy a teszteken a növényvilágot széles körben átkutassák auxin kimutatására s hamarosan kiderült, hogy ez a növényi hormon mind az egyszikűekben, mind a két-szikűekben kimutatható és nagyon különböző növényi

részekben jelen van, így a szárakban, levelekben, hím-porban, gyümölcsben, magvakban, gyökerekben, rügyekben. Egyes növényi részekben kevesebb, másokban több az auxin, pl. nagyon kevés a gyökerekben, sok a rügyekben és zsenge növényi részekben, ennél fogva auxinban nagyon gazdagok a zöldségek s ezek közt is talán leggazdagabb a kalarábé. Ugyanazon növényben és növényrészben is ingadozik az auxintartalom, pl. kihajtáskor erősen megnövekedik, így a csirázó burgonyagumóban 35%-kal több, mint a nyugvóban. Érdekes, hogy egyes betegségek rendkívül megnövelik a növények auxintartalmát, pl. a burgonyaperonoszporával fertőzött burgonyagumóban 170%-os auxingyarapodást mutattak ki.

Az auxin kivonására később folyadékokat is felhasználtak az agar helyett, pl. vizet, alkoholt, kloroformot stb. Előnyösen lehet kihajtani az auxint magvakból elektromossággal, 4–10 voltos áram hatására az auxin a magon kívül fekvő pozitív sarokra áramlik. Az auxinos oldatból idővel sikerült auxinkenőcsöt készíteni, oly módon, hogy lanolinba keverték. Az auxinos oldatok és kenőcsök lehetővé tették az auxinnal végzett élettani vizsgálatok nagymértékű kiterjesztését s így az auxin szerepének megvilágítását a növényi életjelenségekben.

Miképen *Went* auxinos agarral a zab csirahüvelyén mutatta ki, hogy az auxin a sejtnövekedés különleges hormónja, azonképen kimutatták később auxinkenőccsel ugyanezt sok más növényen s az auxin élettani szerepének megvilágításában ebből a megállapításból kell kiindulnunk. Egyenletes nagyságú, növekedésben levő, fiatal növényrészek csúcsára auxinkenőcsöt kenünk s az auxinnal kezelt növénykéek jobban meghosszabbodnak, mint társaik. Vagy ha pl. napraforgó egy cm magasságú csiranövénykéjének csúcsát a két sziklevéllel együtt levágjuk, a csiraszár elmarad növekedésben, ha ellenben csonka csúcsára auxinkenőcsöt juttatunk, egy ideig lépést tart

az ép csira szárának növekedésével s két cm hosszúságot is elér (5. kép).

A sejtnövekedés fontos eleme a sejtfal területi növekedése s mikor *Heyn* kimutatta, hogy a csúcsától, tehát auxinjától megfosztott zab csirahüvelye szinte teljesen elveszti plasztikus és elasztikus nyújthatóságát, az auxinhatás mechanizmusának magyarázatát főként a sejtfal területi növekedé-



5. kép. Három egyenlő korú napraforgócsemete: a baloldali sziklevelekkel, a jobboldali a csúcs levágása következtében elmaradt növekedésében, a középső a levágott szár csúcsára kent auxinkenőcs hatására megnövekedett (*Amlong és Naundorf* nyomán).

sének mechanizmusába igyekeztek bekapcsolni. Eleinte közvetlen hatást, a sejtfalmicellák számának közvetlen gyarapítását tételezték fel, mikor azonban kiderült, hogy ehhez az auxin hatómenyisége kevés, hiszen egyetlen auxinmolekula jut 20 micellára, közvetett hatáselméletét dolgozták ki. E szerint az auxin elszakítja a sejtfalmicellák cellulózekapcsolatait, erre a sejtfal területileg kitágul a mindig terjeszkedésre törekvő turgor következtében, mire a plazma új micellák beépítésével gyarapítja a sejtfal anyagát és állandósítja új kiterjedését.

A sejtnövekedés, mint a fényrehajlás kutatása közben már kiderült, a legtöbb esetben nem egyenlő,

hanem egy vagy más irányban sokkal erélyesebb, mint a többi irányban. Így jön létre a növény testének többféle bonyolult alak- és helyzetváltozása, amelyen pl. a fényrehajlás, a nehézségi erővel irányított geotropizmus, a levelek epi- és hiponasztikus hajlása, amely főként a rügypikkelyek és általában a rügyszakadások bontakozó levelek mozgásában jelentkezik legjellegzetesebben, és a kacsmozgás. Ha ehhez még hozzávesszük, hogy az egyik növényi szerv sejtnövekedése és más szerv sejtnövekedése közt bizonyos összefüggés, szabályozó hatás mutatkozik, tisztán áll előttünk, hogy a sejtnövekedés egyenlenségei milyen nagy jelentőségűek a növény testének kialakulásában. Azt mondhatjuk, ezek hozzák létre a növény jellegzetes termetét, amelynek változatosságát lehetetlen szavakba foglalni, de amelyben, kivált a fákéban, annál inkább szeretünk gyönyörködni.

A sejtnövekedés szabályozott egyenlőtlenségeit a növény legfőként az auxin mennyiségi különbségével irányítja. Ennek megállapítása nagyon nehéz volt, hiszen már az auxin felfedezésekor kiderült, hogy rendkívül kis mennyiségben található a csírhüvelyben s általában a növényekben. Ez különben hormónjellegéhez is hozzátartozik. Éppen ezért is kellett mértékéül az élettani zabegységet választani. A zabegység egy gramm auxinnak csupán 50 milliárdod része, vagyis annyi, amennyi egy gr kristályos auxin 50 milliárdszoros hígítású oldatának egy grammjában van.

Mégis, mint később kiderült, az auxin iránt érzékenyebb növényrészek, főként pedig a gyökér számára az ilyen hígítás túltömény. U. i., mint minden hatóanyag, az auxin is három hatómennyiséggel jellemezhető, a minimummal, amely a hatás kiváltásához elengedhetetlen, az optimummal, amely a legelőnyösebb hatás mennyisége, és a maximummal, amelynél nagyobb mennyiség káros vagy legalább gátló hatású. Mint már fentebb említettük, újabban a kukoricatesztet használják egyes auxinnal végzett

kísérletekhez, mert a zabtesztnél is sokkal érzékenyebb az auxin iránt. Elméleti számítások szerint a kukoricagyökér sejtnövekedéséhez 400 billiószoros hígítású auxinoldat előnyös, vagyis 1 gr kristályos auxin feloldva 800.000 vonatszerelvény vízben, egy-egy szerelvényre 50 tíztonnás vagonát számítva. Hogy az auxineloszlás és a növényrészek érzékenysége mi módon eredményezi azokat a különbségeket a sejtnövekedésben, amelyek a növény termetét kialakítják, alábbiakban igyekezünk kissé közelebből megismerni.

Kezdjük a fényre hajlással, amelynek növényalakító hatását mindnyájan ismerjük s amelynek tanulmányozása az auxin felfedezésére vezetett. Hogy magyarázzuk az auxin ismeretében a fototropizmus jelenségeit? A Decandolle—Blauw-féle elmélet szerint a fototropizmusban az a lényeges, hogy a fény felé néző növényrész többszörösét kapja annak a fény mennyiségnek, amely a fényforrással ellenkező részre jut. Az utóbbi tehát fényhiány miatt kissé etiolálódik, ami tudvalevőleg sejtnövekedést, nyurgulást okoz. Ezzel szemben Boysen-Jensen-től Went-ig a kutatók egész sora azt mutatta ki a zab csirahüvelyén, hogy a hüvely árnyékos felében erősebb növekedést, tehát fényre hajlást az okoz, ha bele több auxint juttatunk, s az erősebben növekvő hüvelyfélben valóban több az auxin. A többlet az auxin harántirányú eltolódásával jut az árnyékoldalra. A két, ellentétesnek látszó felfogást Overbeek igyekezett kiegyenlíteni. Overbeek kimutatta, hogy a fény mind a plazma érzékenységét, mind az auxineloszlást befolyásolja, tehát a növény árnyékoldala egyrészt érzékenyebb az auxin iránt, másrészt gazdagabb is auxinban.

A növénytermetnek más fontos alakító tényezője a geotropizmus. A múlt század elején Knight babcsemete centrifugálásával végzett kísérletei alapján e jelenség mechanikai magyarázatát adta, majd Dutrochet erre is kiterjesztette az inger fogalmát.

Már az auxin első felfedezői, *Boysen-Jensen*, *Went* stb., kimutatták, hogy a zab csírahüvelye épúgy csúcsával fogja fel a nehézségi ingert s az inger épúgy vezetéssel jut a sejtnövekedési övbe, mint a fényre-hajlás esetében. Minthogy az auxin függőleges terjedése már az első kísérletekben ismeretessé vált, e jelenség magyarázatát könnyen meg lehetett találni a vízszintesre fektetett csírahüvelyben feltételezett auxinsüllýedéssel. Hamarosan sikerült is kimutatni, hogy a vízszintesre fektetett csírahüvely alsó részében több az auxin, mint a felsőben. Később több más növényben mutatták ki a nehézségi erő hatását az auxinra, nem kérdés tehát, hogy ez általános jelenség. Igen érdekes a fűfélék (pl. gabonák) ízelt szárá-



6. kép. Megdőlt gabonaszár felemelkedése: fent a vízszintes fekvő szár a bütyökkel, lent a bütyök alsó részének megnövekedése következtében felemelkedett száríz (*Schlenker* nyomán).

nak negatív geotrópos felemelkedése, (6. kép), ha valamely ok következtében a szár megdől. A szár ilyen esetben a levélhüvely legalsó, megvastagodó, bütyöknek nevezett része alsó, helyesebben földre néző felének megnövekedése által állítja fel a fiatalabb szártagokat. Ha fiatal növényi szárban a természetes auxinmegoszlást megzavarjuk, pl. valamely oldalára auxinkenőcsöt kenünk, a geotropizmus hatását könnyen kikapcsolhatjuk s pl. a negatív geotróp szárát arra kényszeríthetjük, hogy vízszintes legyen.

Sőt ilyen módon a k a c s m o z g á s t is előidézhethetjük olyan növényben és növényi részekben, amelyek erre egyébként nem képesek. Ha pl. napraforgócsémete szárának egy oldalára hosszában auxinban bő-

velkedő kenőcsöt húzunk, ezen az oldalán olyan erőlyesen mutatkozik a sejtnövekedés, hogy a csírászár 24 óra múlva teljes körgörbülés után ismét felfele fordul (7. kép). Ennek alapján a kacsmozgást szintén egyenlőtlen auxinelozlással magyarázzák, az önként kunkorodó kacsokban kezdettől feltételezik, az érintésre görbülő kacsokban pedig az érintéstől kiváltott ingerhatásra vezetik vissza.



7. kép. Szára egyik oldalán auxinkenőccsel bekent napraforgócsomete meghajlása és kacsszerű görbülése egy-
oldalú sejtnövekedés következtében (Amlong és
Naundorf nyomán).

A fentiekben a külső ingerektől eredő görbülési mozgások biokémiai magyarázatának alapjaihoz jutottunk el. Hasonló eredményre vezetett azonban az epi- és hiponasztikus levélmozgás és a korrelációs mozgások élettani kutatása is. A rügyfakadásban, a levelek kibontakozásában fontos szerepet játszó epi- és hiponasztikus mozgást könnyen utánoszhatjuk azzal, hogy a levél felső vagy alsó lapjára auxinoldatot eszetelünk, néha azzal is, hogy a hajtás csúcsát eszeteljük vele. Az így előidézett levélhajlások mindenben hasonlítanak pl. a rügypikkelyek hajlásaihoz, amelyeket rügyfakadás közben végeznek.

Még érdekesebb az auxin szerepe a korrelációkban. Tudjuk, hogy a vezérhajtás sok esetben erősebben növekedik, mint az oldalhajtások, ilyen esetben a csúcsrügy sokkal fejlettebb, mint az alsóbbak, a hajtások legalsó rügyei pedig rendesen ki sem hajtanak, hanem mint alvó rügyek lappangó életet folytatnak. A korreláció legfeltűnőbb példáját a fenyőkön látjuk, mikor károsodás következtében elvesztik vezérhajtásukat és csúcsrügyeiket. Ilyenkor a legközelebbi oldalhajtás, amely eddig vízszintesen nőtt,



8. kép. Lúcfenyő levágott vezérhajtásának pótlására a legfelső ágórv hajtásai felemelkednek s végül egy hajtás elfoglalja a csúcs-hajtás helyét és növekedésben a többit túlszárnyalja (Jost nyomán).

lassanként felegyenesedik s elfoglalja a vezérhajtás helyét (8. kép). Fiatal növényeken sikerült kimutatni, hogy ez az önszabályozó életműködés auxinhatás. Ha fiatal növényt csúcsától megfosztunk, s a sebhelyet auxinkenőccsel kenjük be, az oldalrügyek kibontakozása elmarad, ami azt mutatja, hogy a csúcsrügyben, vezérhajtásban legelőnyösebb mennyiségben van auxin, ellenben az oldalrügyekben, oldalhajtásokban hiányos mennyiségben. Ezt csakhamar kísérletileg is igazolták. E megállapítás azonban, mint minden tudományos eredmény, új kérdést is felvetett, azt, hogy miképpen fejti ki a gátló hatást az auxin köz-

vetítésével a növény, amikor a csúcsrügy auxinbősége auxinhiányt okoz az oldalrügyekben.

Annál érdekesebb, hogy sok esetben az auxin hatására megszűnik a növény vagy növényrész nyugalmi állapota, a pihenő növény kihajt. Pl. Pfahler a hegyi füzike téli nyugalomban levő tölevélrózsájának csúcsát auxinecseteléssel teljes kihajtásra serkentette (9. kép). Végis a *Hydrocharis* és *Stratiotes* telelő rügyeit hajtatta ki hasonló módon. Hasonlóképen hat



9. kép. Heteroauxinnal hajtított hegyi füzike (*Epilobium montanum*) téli tölevélrózsája (Pfahler nyomán).

az auxin a szunnyadó gumókra, de ebben az esetben előbb bizonyos gátló hatás mutatkozik. A magvak csíráztatását is serkenti az auxin, pl. auxinnal csávázott zab- és búzamagvakból kelő növények gyökerei némi gátlási idő után erős növekedésnek indultak, később a szár is erősen növekedni kezdett. Ilyen esetekben az auxin hatása kétféle, egyrészt emeli a csírázási százalékot, amit azzal magyarázhatunk, hogy egyes magvak auxinban szegényebbek vagy elszegényedtek, másrészt növeli a csírázási erélyt. Az utóbbi hatása nagyon mélyen érinti a növényt. Ezt több jel mutatja, pl. a burgonyagumók nagyobbra nőnek, keményítőjük nagyobb, a gabona szára is nagyobb, vas-

tagabb, levelei is nagyobbak a rendesnél. A beporzásra váró termőt is növéssre serkenthetjük auxinnal, pl. a levágott paradicsom, tök stb. termője a levágott bibe helyén elhelyezett auxinkenőcs hatására hamarosan kifejlődik s magvatlan paradicsom és tök terem (partenokarpia).

Nehéz feladat felderíteni az auxin szerepét a gyökér növekedésében. Eleinte nem sikerült a gyökéresúcsból auxint kivonni agarlemezzel s egy szersmind a gyökérrel végzett kísérletek azt mutatták, hogy az auxin a gyökér növekedésére gátló ha-



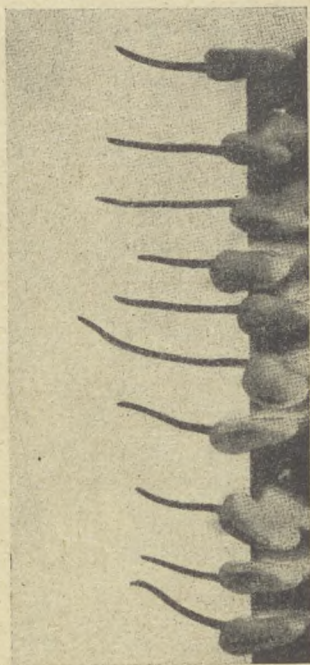
10. kép. A növesztő (heteroauxin) gátló hatása a búzagyökérre: baloldalt 0.02, középen 0.002%-os oldattal, jobboldalt vízzel itatott papíron (Amlong és Naundorf nyomán).

tást gyakorol. Idővel azonban tisztázódott a helyzet, kiderült, hogy az az auxinmennyiség, amely a csírhüvelyben előnyös, a gyökérben gátló hatást gyakorol (10. kép), mert a gyökér sokkal érzékenyebb az auxin iránt és így sokkal kevesebbrel megelégszik. Ma tudjuk, hogy a szár a legnagyobb, a rügyek és fiatal hajtások közepes, és a gyökerek igen minimális auxinra reagálnak, az előnyös mennyiségnél nagyobb mennyiségek gátló hatást váltanak ki. Ha a lefejezett gyökérre csak órák múlva juttatunk auxint, amikor már elhasználta auxinkészletét, és a kezelésére használt auxin kellő hígítású, serkenti a gyökér növekedését. A gyökéresúcsból is sikerült idővel

auxint felfogni, ehhez előbb szőlőcukorral kell kezelni az agarlemezt.

A gyökér életében, mint tudjuk, nagyon fontos szerep jut a pozitív geotropizmusnak. Hogy ennek is az auxin a felfogó eszköze a gyökérben, kísérlettel mutatták ki. Lóbabot csiráztatunk s mikor gyökere 2—3 cm hosszúra nőtt, kivesszük a nedves

11. kép. A csúcsoktól és ennek következtében auxinjuktól megfosztott lóbabgyökerek pozitív geotropizmust mutatnak. (*Amlong és Naundorf nyomán*).



fűrészporból, a gyökér csúcsából körülbelül egy mm-nyi darabot levágunk, azután három órára viszszadugjuk a nedves fűrészporba s végül újra kiemelve vízszintes helyzetben rögzítjük. Közben a gyökér annyira leszegényedik auxinban, hogy felfele fordul (11. kép), negatív geotropizmust mutat, mint a szár.

Mint a föntiekből kiderül, az auxin mint a sejtnövekedés hormonja olyan nagy szerepet játszik a növény alakulásában, természetben, hogy auxinháztartásának befolyásolásával szinte tetszésünk szerint irányíthatjuk termetalakító életjelenségeit. De még ezzel sem merítettük ki az auxin növényélettani szerepét. Az auxin u. i. nemcsak a sejtnövekedésre hat, hanem, mint először *Jost* mutatta ki 1935-ben, közvetlen hatása is van, amely a sejtosztódás megindításában mutatkozik, sőt az sem lehetetlen, hogy a szervképző hormonokat is befolyásolja. A napraforgó kelő csíranövénye a két sziklevel alatt elhelyezett auxinkenőcsgyűrű hatására rendellenesen megvastagodik, kissé idősebb korában pedig a lefejezett csíranövényke a sebhelyre kent auxinkenőcs hatására másodlagos vastagodást mutat, kambiumsejtjei fa- és háncelemeket termelnek. Nem lehetetlen tehát, hogy tavasszal az auxin indítja meg a kambium tevékenységét. A kalluszképződésnek, mint látni fogjuk, különleges hatóanyaga van, de ennek tevékenységét is serkenti az auxin, amint sebek kezelésével kimutatták. Legfeltűnőbb azonban, hogy az auxin a járulékos gyökérképződést sok esetben nagy eréllyel indítja meg. Pl. szultánbalzamina szárára, szőrös fűzike szárcsúcsára kent auxinkenőcs hatására a szárízcek bizonyos helyein nagy számban keletkeztek járulékos gyökerek. Nagyon sokféle növény dugványán indíthatunk meg gyökérképződést, ha auxinoldatba mártjuk, vagy szára alsó végére auxinkenőcsöt juttatunk. Nem lehetetlen tehát, hogy a járulékos gyökerek képződését a megtorlódó auxin indítja meg a természetben is a növényeken.

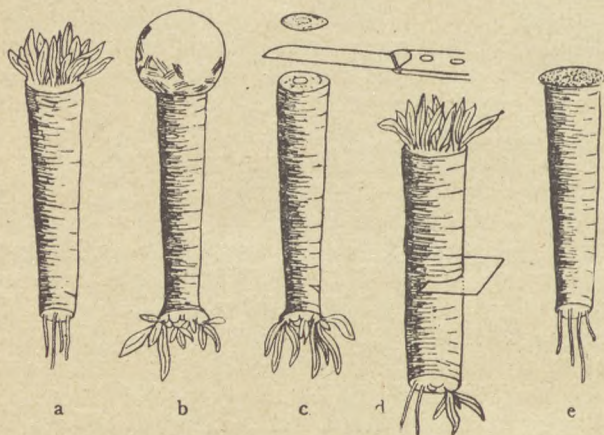
Bármilyen sokféle szerepében ismertük meg az auxint, még mindig maradt róla mondanivalónk e tekintetben. Nagyon érdekes probléma u. i. az auxin vándorlásának és keletkezési helyének kérdése. Mint-hogy a zab csírahüvelyében az auxin kimutathatólag a csúctól az alapi rész felé vándorol, feltételezték, hogy a csúcsban keletkezik s vándorlási iránya jel-

lemző tulajdonsága. De hamarosan kiderült, hogy a csirahüvely minden bizonnyal a magban kapja magával az auxint, mert ha a mag tartalékszövetéből pl. elektromossággal kihajtjuk az auxint, a csirahüvely növekedése és fototropizmusa megcsökken, majd megszűnik. Ebből és általában az auxinnak az egész növény testét behálózó elterjedéséből arra kellett következtetni, hogy másutt keletkezik és másutt vannak ható központjai, ahova vándorlással jut. Kétségtelen, hogy az auxin keletkezési helye a levelekben van, a levelekből áramlik szét a növény egész testébe. Hogy közben nem fejt ki hatást, ebből arra kell következtetnünk, hogy inaktív állapotban vándorol s ebben az állapotában proauxinnak nevezzük. A proauxin azután a hormonműködési központokban aktiválódik auxinná.

Az auxin áramlásának vagy szállításának magyarázatára nem elég a diffúzió feltételezése, mert ez a folyamat gyorsabb a diffúziósebességnél, a zab csirahüvelyében óránként 10–12, sőt a levelekben, ahol talán a rostacsövekben vándorol, 185 mm. Went a növényben keletkező elektromos feszültség alapján igyekezik megmagyarázni az auxin terjedését. Feltételezi, hogy a növény csúcsai és alapi része közt állandóan elektromos feszültségkülönbség van, csúcsi részei negatív, alapi részei pozitív elektromosságúak s az auxin mint anion az alapi pozitív sarkok felé áramlik. Több esetben sikerült kimutatni, hogy a növényben a feszültségeloszlás megfelel ennek az elméletnek, sőt az is ismeretes, hogy a vízszintesre fektetett növényi részekben 0.01–0.03 voltos feszültségkülönbség mérhető. Mindezek alapján az auxin terjedésének magyarázatául jelenleg az elektromos elméletet kell elfogadnunk.

Bármiképen magyarázzuk is azonban az auxin terjedését, lehetetlen fel nem ismerni, hogy valamilyen kapcsolatban van a növény testének egyik különleges tulajdonságával, bipolaritásával. Tudjuk, hogy nagy különbség van a szár és a gyökér

auxinérzékenységében s fel kell tételezzük, hogy az auxinaktiválódás két fő központja a szárcsúcs és a gyökércsúcs, a kettőből ellenkező irányba áramlik az auxin, a szárcsúcsokból lefele, a gyökércsúcsokból felfele. Pitypanggyökér regenerációjából azt következtették, hogy a bipolaritás auxinhatás (12. kép). Ha u. i. a pitypang gyökerét úgy csonkítjuk meg, hogy



12. kép. Pitypanggyökér regenerációja: *a* szárcsúcsi vágáslapon leveles hajtások, a gyökércsúcsin gyökerek, *b* a szárcsúcsi vágáslapon gipsz, a gyökércsúcsin leveles hajtások, *c* a szárcsúcsi vágáslapot naponta megújítjuk, a gyökércsúcsin leveles hajtások, *d* félvastagságig beszúrt lap hatására az alatta levő gyökércsúcsi részen leveles hajtások, *e* a szárcsúcsi vágáslapon növesztős kenőcs, a gyökércsúcsin gyökerek (Czaja nyomán).

mind szár-, mind gyökércsúcsát levágjuk, oly módon regenerálja magát, hogy szárcsúcsi vágáslapján leveleket, gyökércsúcsi vágáslapján gyökereket fejleszt. Ha azonban a szárcsúcsi vágáslapot gipsszel elzárjuk, vagy ezt a vágáslapot naponta megújítjuk, vagy a gyökér közepén félvastagságig beszúrt lappal az auxináramot feltartóztatjuk, a gyökércsúcsi vágáslapon kallusz s ebből leveles hajtások keletkeznek,

utóbbi esetben természetesen csak az auxináramtól elzárt félen. Ha pedig a szárcsúcsi vágáslapra auxinkenőcsöt kenünk, a gyökércsúcsi vágáslapon rendes módon gyökerek keletkeznek. Az auxináram megakasztásával, irányának megváltoztatásával tehát sikerült megváltoztatni a polaritást, gyökércsúcsot szárcsúccsá alakítani át. E kísérlete alapján *Czaja* azt állítja, hogy a növényi polaritás az auxináram következménye. Mások azt hozták fel e feltevés ellen, hogy a kísérlet akkor is megérthető, ha a növény irányítja a sarkok szerint az auxináramot. A lényeg azonban az, hogy a növényi test bipolaritása és az auxináram között szoros kapcsolat van.

Most pedig, hogy megismertük, milyen fontos szerepet játszik az auxin a növény életjelenségeiben, fel kell vetnünk azt a kérdést, miféle anyag hát ez a nagyteljesítményű növényi hormon, v. i. foglalkoznunk kell az auxin kémiájával. E kérdést *Kögl*, utrechti biokémikus oldotta meg. Feladata nem volt könnyű, mert, mint tudjuk, a növényekben az auxin rendkívül kis mennyiségben található. Először a kukorica csírahüveléből igyekezett kivonni és sűríteni az auxint, mert a kukorica csírahüvelye valamivel nagyobb, mint a zabé. Ámde a kukorica csírahüvelében is oly kevés az auxin — mint ma már tudjuk, 100.000 hüvelycsúcsban mindössze 0.01 milligramm —, hogy tíz ember naponta mindössze 1 grammányit tudott kivonni, ily módon tehát 1 mg előállítására négy évbe került volna. Ezért *Kögl* más anyagokat kezdett auxintartalom tekintetében a zabesteten megvizsgálni s kiderült, hogy az ember és egyes állatok vizelete rendkívül sok auxint tartalmaz. Egyes esetekben egy liter emberi vizeletben 2 mg az auxin. Ezt a sok auxint, úgy látszik, a növényi táplálékokban veszi fel az emberi szervezet, de nincs rá szüksége s változatlanul kiválasztja.

Az emberi vizeletből sikerült az auxint kellő mennyiségben elkülöníteni és kristályosítani, majd a tisztított auxint kémiaiilag megelemezni. *Kögl* há-

rom vegyületet mutatott ki a vizeletből kivont auxinban. Az egyiket *a-auxinnak* nevezte el. Ennek egyszerű képlete $C_{18}H_{32}O_5$, szerkezetileg trioxikarbonsav, amelynek öttagú magja van, ehhez egy karboxilból és két hidroxilionból álló oldallánc és kétoldali konfigurációban a α -metilvajsav kapcsolódik. Minden valószínűség szerint ez a legszorosabb értelemben vett auxin, amely a zab csírahüvelyében található és általában a növényekben jelen van. A más két auxin-anyagból az egyik egy molekula víz atomjaival kevesebb az előbbinél, egyszerű képlete tehát $C_{18}H_{30}O_4$, s a *b-auxin* nevet kapta. Az *a-auxintól* oldalláncának összetételében különbözik. Szintén sav. A harmadik auxinanyag semleges és neve *auxin-a-lakton*. Legújabbban *Larsen* etiolált borsó-, lóbab- és napraforgóesemétekben az auxin-a-laktonnal összefüggő auxin-vegyületet mutat ki, amelyet *szkoto-nin*-nek nevezett el. Az auxin molekulatömege 328. Noha hőálló, aránylag hamar bomlik, vákuumban tartott auxinkristályok néhány hónap alatt elvesztik hatékonyságukat, s pseudoauxinná változnak. Az auxin-a-lakton ultraibolyasugarak hatására néhány másodperc alatt inaktiválódik, lumi-auxin-a-laktonná változik. Ezek a változások talán világosságot derítenek a növényben vándorló inaktív proauxin megismerésére. Az auxint eddig szintetikusán nem állították elő s gyakorlati alkalmazásával sem foglalkoztak. Ellenben az a körülmény, hogy az ember és egyes állatok vizeletében nagy mennyiségben van jelen, kétségtelenné teszi, hogy a trágyának és a talajnak nemcsak tömegtápanyagai és vitaminjai, hanem auxintartalma is olyan tényező, amely a növények csírázását és fejlődését befolyásolja.

Új fejezetet nyitott az auxin ismeretében a heteroauxin felfedezése. Mikor *Kögl* auxinban gazdag anyagokat keresett, az utrechti klinikán talált egy beteget, akinek vizeletében sokkal több növesztő hatóanyag volt, mint a többiében. A vizsgálatok folyamán kiderült, hogy, bár ennek a betegnek vizele-

tében talált növesztő is megállja helyét a zabteszten, mégsem azonos az auxinnal, hanem az auxinban kimutatott mindhárom vegyülettől nagyon különbözik kémiai rokonság tekintetében, ezért *Kögl* heteroauxinnak nevezte el. Csakhamar kiderült, hogy azonos a szerves vegytanban már régóta ismert β -indolilecetsavval, amelynek egyszerű képlete $C_{10}H_9O_2N$, tehát már nitrogéntartalmával lényegesen különbözik az auxintól. Ez a vegyület régóta ismert alkatrésze a vizeletnek és a fehérjebomlási termékeknek s kétségtelen, hogy nem a növényi táplálékokkal jut a szervezetbe, hanem a bélflóra baktériumainak hatására keletkezik, különösen nagy mennyiségben pedig akkor, ha a bélflóra rendellenes. Molekulasúlya 175, tehát már ezen az alapon könnyű megkülönböztetni az auxintól, s kimutatni, hogy a magasabbrendű növényekben közvetlen szerepet nem játszik, e növények saját használatukra nem termelnek heteroauxint. Annál elterjedtebb azonban a baktériumokban és a gombákban. Zabteszten megmérték hatását is, kiderült, hogy fél olyan erős, mint az auxin, v. i. 1 mg heteroauxin 25 millió zabegységének felel meg. Minthogy a heteroauxin szintetikusán is könnyen készíthető, hamarosan készítettek heteroauxinkenőcsöket és oldatokat s ezeket különböző neveken forgalomba hozták, ami rendkívül megkönnyítette az auxinhatásra vonatkozó növényélettani kísérleteket, sőt lehetővé tette gyakorlati alkalmazását is.

Mielőtt azonban ezekkel foglalkoznánk, vissza kell térnünk a heteroauxin felfedezésének további tudományos jelentőségéhez. A heteroauxinnal kiderült, hogy a sejtnövekedésnek az auxin nem egyedüli, hanem csak legerélyesebb hatóanyaga s más vegyület is alkalmas a sejtnövekedés serkentésére és gátlására. E célból sok vegyületet vizsgáltak meg a zabteszten és más teszteken s csakhamar újabb és újabb növesztőhatású anyagok váltak ismeretessé. *Linser* 1938-ban 59 ilyen vegyületet sorolt fel, ma már körülbelül százat ismerünk.

Ezeket a növesztő hatású vegyületeket három csoportba sorolhatjuk. Egyesek közvetlenül alkalmasak az auxin pótlására, ilyen pl. a β -indolilecetsav, β -indolilvajsav, α -naftilecetsav, β -indolilpropionsav, cisz-fahéjsav, fenilecetsav. A sorrend a hatásfokot jelzi, ha a heteroauxin hatásfokát 100-nak tekintjük, a β -indolilvajsavé 10, a β -indolilpropionsavé nem éri el az egyet, a cisz-fahéjsavé pedig csak 0.1. A második csoportba sorolhatjuk azokat a növesztőhatású vegyületeket, melyek valószínűleg nem közvetlen hatásúak, hanem a növény asszimilálja tovább növesztővé, mint az állati szervezet a karotinoidokat A-vitaminná. Ilyen az indolilamin és a triptofán. A harmadik csoport a gázállapotú növesztőket foglalja magában, ilyen az etilén, acetilén, propilén, butilén stb. Ezek valószínűleg úgy fejtenek ki hatást, hogy a növényben serkentik vagy gátolják az auxinképződést.

Hogy a természetben milyen szerepet játszanak a magasabbrendű növények életében ezek a növesztőhatású anyagok, mindeddig nagyon kevésbé ismerjük. Minthogy a baktériumok és gombák heteroauxint termelnek, nagyon valószínű, hogy ezzel befolyásolják a zöldsévények életjelenségeit. Könnyű pl. kimutatni, hogy a heteroauxinnal gumóképződést lehet előidézni. Az is valószínű, hogy a trágya penészei és általában a talajgombák a talajt heteroauxinnal teszik hatékonyrá. Talajok növesztőhatását több alkalommal kimutatták. Pontosabb vizsgálatok azonban ezen a téren még nincsenek.

Annál fontosabb a heteroauxin gyakorlati alkalmazása. A heteroauxint tartalmazó készítmények oldat, por és kenőcs alakjában aránylag olcsón kaphatók és a laboratóriumi kísérletekhez annyira elterjedtek, hogy sokszor egyszerűen mint auxinkenőcs szerepelnek a beszámolóokban, a kertszek és gazdák számára pedig használati utasításokat mellékelnek e készítményekhez. A heteroauxin gyakorlati alkalmazására több irányban megindultak a

kísérletek, a módszerek kidolgozása többnyire az előkészítés állapotában van, csak a gyökérképzésben sikerült végleges eredményeket elérni. A nehézségeket főként a legelőnyösebb mennyiség megállapítása okozza. Ezzel függ össze az is, hogy mely növesztő válik be, mert, mint tudjuk, különböző hatóanyagoknak különböző a hatóereje.

A csírafejlődésben, mint említettük, kétféle auxinhatás mutatkozik, a csírázási százalék emelkedése és a csírázási erély növekedése. Mindkét irányban igyekeznek hasznosítani a növesztőket, s erre a célra számtalan kísérletet végeztek. Az eredmény az, hogy minden egyes esetben meg kell állapítani a legelőnyösebb mennyiséget és növesztőt, különben gátló hatás mutatkozik. Példa lehet az alábbi táblázat, amely néhány mag csírázási százalékának változását mutatja különböző hatékonyságú növesztők oldatában 24 órai előcsíráztatás (csávázás) után nedves szűrőpapíron 3 hét múlva.

Mag	Kora években	Előcsíráztatás 0.001 mol			
		vízben	hetero- auxinban	β -indolil- vajsavban	α -naftil- ecetsavban
bimbós kel	3	4	24	12	18
kerti kakukfű	3	0	29	12	4
szója	3	70	92	100	80
maszlag	3	4	12	16	10
csombor	3	24	20	6	60
svéd here	5	16	36	58	54

A csírázás erélyének, vagyis a csíra általános fejlődésének serkentésére (sztimulálására) többféle módon juttathatjuk a csírába a növesztőt, a magvak csávázásával, a csíra ecsetelésével vagy permetezéssel. Az ecsetelés természetesen csak kivételesen kerülhet szóba, ellenben a csávázás és permetezés nagyban is megvalósítható. Ettől az auxinhatástól természetesen a termésmennyiség emelkedését várják s több

esetben sikerült is ezt az eredményt elérni. Az alábbi táblázat mutatja, hogy 1 liter vízben oldott bizonyos mennyiségű heteroauxin hatására az oldatban 24 óráig esávézott magvakból a rendes talajban kelt növények termése mennyivel emelkedett.

Növény	Heteroauxin mennyisége	Terméshozam emelkedése %-ban
reték	210 mg	98
kalarábé	200 „	90
kelkáposzta	200 „	68.6
fejes káposzta	200 „	78.7
sárgarépa	100 „	47.6
petrezselyem	100 „	67.8
zeller	100 „	63
fejes saláta	12.5 „	9.6
mák	50 „	100.6
len (nyálkaréteg nélkül)	100 „	28.7
vörös hagyma	200 „	79.5
búza	175 „	33.4
zab	200 „	55
szudáni cirokfű	200 „	21.2
lucerna	2 g	42
eukorrépa	2 „	157

A kertészetben hajtásra is alkalmasnak látszik a növesztő, mert, mint tudjuk, melege hozott és auxinnal ecsetelt nyugvó növényrészek hamarosan kihajtanak. Főként az orgona hajtásával értek el eddig eredményeket, pl. α -naftilecetsavval ecsetelt vagy egyszer kenőcsölt orgonarügyek hamarabb kihajtottak, mint a melegvízben fürösztött példányok.

A magvatlan gyümölcsök fogyasztásra nagyon kedveltek, próbálkoztak tehát növesztővel előidézett partenokarp gyümölcsök termesztésével is. A paradicsom, tök és paprika levágott bibéjének helyére kent heteroauxin hatására, mint említettük, megnőnek a termések. Legújabban kétlaki termős növények permetezésével nagyban is alkalmazható

módszert dolgoztak ki erre a célra, a termők beporzás nélkül fejlődésnek indultak.

Minthogy a kallusz fejlődését is serkenti a növesztő, a sebek gyógyítására és az oltásban a köztes szövet serkentésére szintén előnyösen alkalmazható.

Legfontosabb azonban, mint előre bocsátottuk, a növesztők gyakorlati alkalmazása a dugványok gyökérképződésének serkentésében. E célra ma már szinte pótolhatatlanok. E téren két tekintetben is hasznát veszi a kertész a növesztőknek, egyrészt az eddig is dugvánnyal szaporított növények dugványain sokkal hamarabb és könnyebben nevel gyökereket, másrészt olyan növényeket is dugványokkal szaporíthat, amelyek eddig nem, vagy csak olyan kis számban hajtottak járulékos gyökereket, hogy dugványozásuk nem volt gazdaságos. Gyökérképződés serkentésére kétféle módszer bizonyult hasznosnak, a



13. Heteroauxin-oldat (Hortomone A) gyökérképző hatása krizantémum-dugványokra: fent kiültetett dugványok 4 hét múlva, lent 24 óráig az oldatba mártott dugványok 4 hét múlva (Eber Zoltán kísérlete és felvétele).

merítő és kenő. Előbbi esetben a rendesen elkészített dugványt elültetés előtt bizonyos ideig alapi felével néhány cm-nyire növesztőkészítmény oldatába mártjuk. A szár bemártott részén rendesen dúsan képződnek járulékos gyökerek. Egyes növények dugványai azonban előnyösen egészükben megfürdethetők az oldatban, pl. a krizantémum (13. kép), Izabella-szőlő, pirakanta cserje dugványai, mégis csak az alapi részen gyökereznek. A kenőcsöt úgy alkalmazzuk, hogy a dugvány alapi részén egymással szemben körülbelül két cm-es kenőcsesíkot húzunk. Így kezelhető pl. a muskátli dugványa.

A kereskedelemben kapható növesztőkészítmények egyike a Belvitan. Használati utasításából néhány adatot közlünk annak szemléltetésére, hogy kell kezelni a gyökérképződés serkentésére különböző növények dugványait. E készítmény poralakban 0.5 gramm tartalmú üvegecskékben kerül forgalomba. Gyakorlati használatra ötféleképpen adagolható, az egyes adagolásokat római számmal jelöljük: I 0.01%, v. i. egy üvegecske tartalma 5 l vízbe, II 0.025%, 2 l vízbe, III 0.05%, egy l vízbe, IV 0.125%, 400 kem vízbe, V 0.25%, 200 kem vízbe.

Növény	Dugványozás ideje	Adagolás	Merítés ideje órákban
<i>Aucuba japonica</i>	tél	III	24
<i>Biota orientalis</i>	szept.—okt.	V	24
<i>Chrysanthemum indicum</i>	jan.—május	III—IV	16—24
<i>Ficus elastica</i>	jún.—július	III	4
<i>Phlox paniculata</i>	ápr.—május	II	20
<i>Taxus baccata</i>	tél	III	20
<i>Vitis labrusca</i> (Izabella)	tél	IV	16—18
<i>Vitis vinifera</i>	márc.—május	III	24

A növesztőhatású anyagok közt különös figyelmet érdemelnek a gázok, ezek közt is különösen az etilén, C_2H_4 . Hogy gázok is hormonok közé legyenek sorolhatók, eleinte kissé elfogadhatatlannak lát-



szott, azonban kiderült, hogy maga a növény is termel ilyen gázokat, pl. etilént s a kísérletek bebizonyították, hogy pl. éppen az etilén hormónhatása, tehát serkentése és gátlása, rendkívül erőyes, 1—10 milliószoros hígításban, tehát olyan légkörben, amelynek 1—10 millió része légköri levegő s csak 1 része etilén, kimutatható jellegzetes hatása.

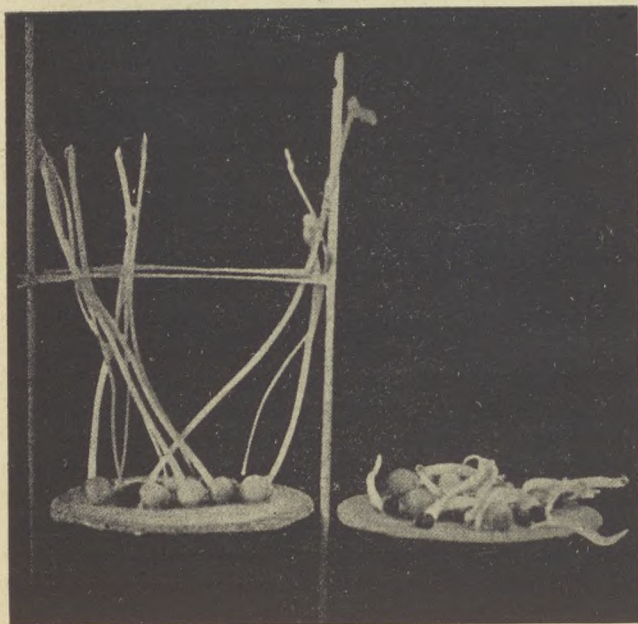
Az etilénnek a sejtnövekedésre gyakorolt serkentő hatása igen érdekes kísérletekben mutatható be. Emeltettük, hogy a növény is termel etilént, ily módon természetesen az etilénhatással egyik növény befolyásolja a másikat. Többen végeztek ilyen irányú kísérleteket, amelyek nagyon egyszerűek, nem kell hozzájuk egyéb, csak egy üvegtányér és egy üvegbura. Az etiléntermelő és az etilénhatásra megvizsgálandó növényt vagy növényrészt — szükséges esetben pohár vízbe állítva — az üvegtálra tesszük s az üvegburával letakarjuk. Az etilénhatás tanulmányozására végzett vizsgálatok közül különösen érdekesek *Molisch* kísérletei. Nagyon érzékeny az etilén iránt a borsó és a bükköny kelő csirája. *Molisch* kimutatta, hogy az ép torma, sárgarépa, cékla és retek gyökere olyan légkört teremt az etiléntermeléssel, amely kissé, az *Acacia verticillata* és a *Melaleuca squamea* gyökere pedig olyat, amely jelentékeny mértékben serkenti a borsó és bükköny csirájának növekedését.

A kihajtást is serkenti az etilén, a szunnyadó rügyeket kibontakozásra készíti és meggyorsítja kifejlésüket. Régebben kimutatták, hogy papír, fűrészpor vagy dohány füstjével könnyen hajtatható az orgona, ecetfa, aranyfa, mogyoró, vadgesztenye stb. A füst hatékony eleme minden ilyen esetben az etilén.

Amerikában a Boyse Thomson-intézetben kimutatták, hogy az etilénnek kis mértékű gyökérképződést elősegítő hatása is van. Hasonló hatást kimutattak különben az acetilénről, propilénről, sőt a szén-monoxidról is.

A növényi részek közül különösen jellegzetes a gyümölcsök etiléntermelése, pl. az alma egy hónapi

érés folyamán 1—1.26 mg etilént termel. Ez vezette *Molisch*-t arra, hogy az alma, majd több más gyümölcs légkörének hatását vizsgálja az említett módon más növényekre és növényrészekre. Könnyű megállapítani, hogy az etilénhatás is éppúgy függvénye a mennyiségnek, mint minden egyéb növesztőé, ami az időtartam változtatásával is kimutatható. Pl. a levegőn tartott borsó- és bükkönycsírákat hosszúságban felülmúlják azok, amelyek 1—5 óráig almalégkörben voltak üvegbura alatt, ellenben a hosszabb ideig, pl. 24 óráig vagy tovább almalégkörben tartott csírák elmaradnak növekedésben. *Molisch* kísérletében a szabad levegőn tartott bükkönycsírák átlagos hossza öt óra alatt bizonyos kezdeti állapotból 7.1 cm-re növe-



14. kép. Borsó csíranövénykéi rendes légkörben (baloldalt) és az alma légkörében (jobbaldalt); vízkultúra (*Molisch* nyomán).

kedett, ugyanolyan állapotban levő csírák egy óra alatt 10 cm, öt óra alatt 9.5 cm hosszúságot értek el almaléggkörben, ellenben az állandóan almaléggkörben nevelt bükkönycsíra mindössze 1.9 cm-t ért el. A növekedésgátló hatáshoz ilyenkor többnyire torzító hatás is járul. A borsó és bükköny csírája almaléggkörben nemcsak rövidebb marad, hanem jelentékenyen megvastagodik (14. kép), a lóbab csírájának gyökere pedig jellegzetesen eltorzul. A kezdetben serkentő hatású alma tehát idővel méregforrássá válik a csírák számára.

A levél növekedésével irányított mozgásra is hat az etilén, több növény, pl. a *Boehmeria polystachya* levelei almaléggkörben epinasztikusan meggörbülnek.

Nagyon jellegzetes az etilén hatása a gyümölcsökre, amennyiben egyes növények gyümölcsének érését serkenti. Minthogy pedig a gyümölcsök, mint tudjuk, maguk is termelnek etilént, egyik gyümölcs serkenti a másik érését. Ezt a jelenséget egyes gyümölcstermesztők már régebben megfigyelték, megállapították u. i., hogy későn érő alma- és körtéfaajták gyümölcsei a rendes idő előtt megérnek, ha a polcon nagyon közel kerülnek korábban érő fajtákhoz, pl. a később érő Boskoopi szép a korábban érő Grévensteini alma közelében. Ma már tudjuk, hogy ez a kiszabaduló etilén hatásának következménye s ezen az alapon az etilént a gyümölcsérés hormonjának tekintik. Az érési folyamat nagyon bonyolult anyageserefolyamat, s hogy milyen szerepet játszik benne az etilén, ma még nem tudjuk. Egyesek szerint az érési színváltozást idézi elő, mások szerint a cukorképződést is serkenti, pl. etilénnel utóérlelt banánban több a cukor, mint abban, amely tövén érett meg, noha az etilén negyedrészt idő alatt megérlelte a banánt. Viszont az etilénnel érlelt citrom ugyan két héttel hamarabb megsárgul, de savanyúbb.

Molisch kísérletekkel igazolta, hogy az érett gyümölcs serkenti az éretlen gyümölcs megérését. Erre a célra is almát használt, két-három alma társaságá-

ban borított le üvegharanggal éretlen gyümölcsű növényeket, növényrészeket. Pl. a piros gyümölcséért szobanövénynek tartott klárisfa (*Solanum Hendersonii*) zöld bogyói almaléghőben már a harmadik napon megpirulnak, holott ugyanakkor a szabad levegőn még nem mutatnak színváltozást. Más növények gyümölcse több időt kíván az érési színváltozáshoz, pl. a szobaspárga (*Asparagus Sprengeri*), kerti ribiszke, ikerlenc gyümölcse 11 napot.

A levélhullást is serkenti az etilén, ami szintén érlelési folyamattal függ össze, *Molisch* kimutatta, hogy pl. a tojásdadlevelű fagyal és a karakánfa (*Caragana arborescens*) levele almaléghőben 2—3 héttel hamarabb lehull.

Etilén áramlik a virágokból is, ennél fogva a virágok társasága is serkentő és gátló hatású lehet. *Molisch* kimutatta, hogy huzamosabban virágok légkörében tartott borsó és bükköny csirája épúgy elmarad a növekedésben, mint az almaléghőben. A virágok társasága tehát zárt helyen veszélyes lehet érzékeny növényrészekre.

Az etilén ilyen széleskörű hormónhatása természetesen felkeltette a figyelmet a gyakorlati körökben is s épúgy igyekeznek hasznosítani, mint a heteroauxint és általában a növesztőket. Különösen két irányban biztatnak a kísérletek, a gumók sztimulálása és a gyümölcserlelés terén. A gumók közül a burgonya áll az érdeklődés középpontjában. Sikertült ugyan heteroauxinnal kezelt burgonyát, 10—125 mg-ot hígítván fel 1 liter vízben, s ebben 24 óráig áztatván a gumókat, jelentékeny terméstudbletre bírni, pl. a Parnassia fajta 95, a Robinia 53%-kal többet termett. Gyakorlatban azonban nem terjedhet el a burgonya ú. n. hormonizálása heteroauxinnal, mert nagyon költséges. Ha azonban sikerül a heteroauxint sokkal olcsóbb hatóanyaggal helyettesíteni, lényegesen meg-növekedne a hormonizálás gyakorlati jelentősége. *Dostál* az etilénre, illetőleg az etiléntartalmú világító-gázra hívja fel a figyelmet, amelynek hatására a lu-

cerna bizonyos kísérletek szerint 50%-kal terem több magot. *Dostál* kísérletei szerint világítógázzal hormonizálható a burgonya, de a legelőnyösebb adag a fajták szerint nagyon változik, a módszer tehát nagyon pontosan előre meghatározandó. Húszt százalék világítógázzal kevert levegőben 24 óráig tartott burgonyák közül a legtöbb fajta hátrányt szenvedett a termésben, de volt olyan is, amelynek gyarapodott a termése, sőt egy fajta 82%-kal termett több gumót.

Régebbi az etilén felhasználása gyümölcsérlelésre. A banán és a citrom utóérlelése gyakorlatilag hasznosítható. Ellenben más esetekben nem sikerült eredményt elérni. A déligyümölcsök közül pl. nem felelt meg a gyakorlatban az etilén a datolya érlelésére. Nálunk a paradicsom, szőlő és alma utóérlelésére végeztek kísérletet etilénnel, de eddig teljesen eredménytelenül. Ebből az következik, hogy az etilén nem tekinthető a gyümölcsérés általános hormónjának.

Visszatekintve most a sejtnövekedés hormónjaira, el kell ismernünk, hogy a növényélettan és a biokémia e tekintetben rendkívül fontos és érdekes vizsgálatokkal gyarapította ismereteinket, amelyekből kitűnik, hogy a sejtnövekedés bizonyos anyagok függvénye. Ugyanakkor még azt is látjuk, hogy a sokféle sejtnövekedési hormonanyag közül a növény azt termeli saját sejtjeinek háztartása számára, amely a leghatékonyabb. Azt is láttuk, hogy a növény az auxinmennyiség szabályozásával különféleképpen értékesíti az auxint, nemcsak serkentő, hanem gátló hatást is fejt ki vele. Egyes esetekben a sejtnövekedés gátlása kielégítőleg megmagyarázható auxinhatással, más esetben, mint pl. a korrelációkban, nehezen vagy egyáltalában nem, ezért egyes kutatók különleges ellenhatású anyagokat tételeztek fel a növényekben s ezekre vezetik vissza az auxinhatásokra gyakorolt gátlásokat.

Egy ideig csak elméletileg tételeztek fel ellenanyagokat, *Bous*-nak azonban sikerült hamarosan a

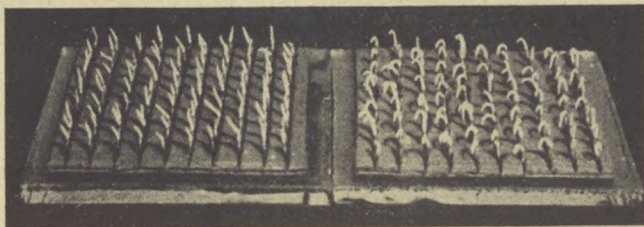
valóságban is olyan vegyületet találania, amellyel könnyen meg lehet gátolni a növényt a fényrehajlásban és a geotropizmusban. Ez az anyag az eozin, amely ugyan a növényben nem található, de kísérletek igazolják, hogy megakadályozza hatásában az auxint, sőt a nélkül, hogy szétroncsolná. Az eozin növényélettani hatása alapján valóban gondolhatunk arra, hogy a növényben is vannak auxingátló hatóanyagok, ennél fogva szükséges az eozinhatással közelebbről megismerkedni.

Az eozin kátrányból készített piros festék, amelyet hajnalpírhoz hasonló színe nyomán neveztek el. Gyapjú, selyem stb. festésére használják s ezzel adják meg a szublimátpasztyillák megkülönböztető színeét. Többféle eozin van, s az egész sorozat a fluoreszkálásról elnevezett fluoreszcein származéka. Ha a fluorszceinnátriumban ($C_{20}H_{10}O_5Na_2$) egyes hidrogénatomokat klórral, jóddal vagy brómmal helyettesítünk, olyan származékokat kapunk, amelyek erősen gátló hatást fejtenek ki az auxinra. E gátló hatást vonatkoztathatjuk a hormónhatásokra, mert szintén nagyon kis mennyiségek kifejtik. Leghatékonyabb a tetrabrómfluoreszceinnátrium ($C_{20}H_6O_5Br_4Na_2$), amely a kísérletekhez 10.000-szeres hígításban legalkalmasabb, de hatása sokkal nagyobb hígításban is kimutatható.

E vegyület gátló hatásai közt legérdekesebb a gyökér geotropizmusának megsemmisítése. Ha búza, rozs, kukorica, len, mustár, napraforgó, csillagfürt stb. magját néhány percig eozinoldatban áztatjuk, vagy a csíranövénykéek gyökerét egy másodpercre az oldatba mártjuk, a gyökerek elvesztik pozitív geotropizmusukat s egyenesen előre nőnek akkor is, ha oldalt vagy felfelé fordítjuk a növénykéket (15. és 16. kép). Merész hasonlattal azt mondhatjuk, hogy akár fejük tetejére állíthatjuk ily módon e növényeket. A gátló hatás azonban csak bizonyos ideig tart, később a gyökér újra visszakapja pozitív geotropizmusát s lefelé fordul.

Megsemmisíti az eozinoldat egy időre a növények fényre hajlását is. Ennek kimutatására *Boas* az angol perje magját eozinos szűrőpapíron csíráztatta, majd a csíranövénykéket oldalt világította meg. Az egyoldalú fényben a vizes papíron csírázott növényké

15. kép. Eozinált kukorica gyökere épúgy felelé nő, mint csírahüvelye (*Boas* nyomán).



16. kép. A felfordított eozinált lencsemeték gyökerei (baloldalt) felfele nőnek, a kezeletlenek nyomban lefele görbülnek (*Boas* nyomán).

a fény felé hajoltak, az eozinos papíron csírázottak ellenben rendszertelenül, iránytalanul össze-vissza fordultak (17. kép).

Az eozin hatása ezeken kívül még abban is megnyilatkozik, hogy torzulásokat okozhat a gyökereken. Pl. eozint 50.000-szeres hígításban tartalmazó víz-



17. kép. Az eozinált angolperje (jobbaldalt) elveszti fényrehajlását, a kezeletlen (baloldalt) fényrehajlik (*Boas* nyomán).

kultúrákban a bab gyökerén a gyökérágak elszalagosodnak.

Az eozin auxingátló hatása nem egyedüli, más anyagokat is ismerünk, amelyek hasonló hatásúak, pl. 0.00003%-os réznitrátoldat vagy 0.000082%-os kalcium-nitrátoldat épúgy megsemmisíti a bab gyökerének geotropizmusát, akár az eozinoldat.

Növényekből, mint említettük, eddig nem sikerült kivonni auxinellenhatású anyagokat, de ismerünk olyan jelenségeket, amelyek ilyenek feltételezésére feljogosítanak. Kereshetünk ilyen anyagokat pl. a pozitív geotrópos lélekző gyökerekben (pneumatofórokban), a geotrópos irányt változtató virág-, illetőleg terméskocsányokban, amilyen pl. a fehér heréé, *Calandrinia grandiflorá*-é stb.

3. *A turgorváltozás hormonjai.*

A sejtnövekedés hormonjait, mint az előbbi fejezetben láttuk, a fototropizmus oknyomozó kutatása közben fedezték fel. Közelfekvő gondolat, hogy a növény többi mozgását is hormónhatásra vezessük vissza. Így jutottak el a mimóza mozgásában szereplő ingervezetés hormonális magyarázatához. Némely növényi mozgás abban tér el az előbbi fejezetben megismert tropizmusoktól, hogy irányát nem az ingert keltő tényező határozza meg, hanem az ingert felfogó növényi szerv szerkezete. Ezeket a mozgásokat nasztianak nevezzük. Ilyen pl. a rowarevő harmatfű tigmonasztíája, az akácfa leveleinek a fény és meleg napi menetétől függő niktinasztíája s a mimóza (*Mimosa pudica*) érintéssel (rázással) kiváltható szeizmonasztíája.

Az eredetileg Brazíliában honos, de a forróövezetben mindenfelé elvadult mimóza nagyon kecses növényke, amelynek szárnyalt levelei vannak. A hosszú levélnyél csúcsán négy, újjasan szétálló, szárnyas levél ül, vízszintesen szétálló levélkékkel. Érintésre vagy rázásra a levélkék sorjában felcsapódnak, majd a nyelvek leereszkednek és összébbzáródnak s végül a főlevélnyél is leereszkedik (18. kép). Erősebb inger az egész növényen kiváltja ezt. Ezt a jelenséget *Hooke Robert* már 1667-ben leírta s azóta többen tanulmányozták és magyarázták. A legfeltűnőbb, hogy a levélkék felcsapódása s a levélnyelvek ereszkedése mérhető egymásutánban, időrendben követi egymást, miből ingervezetésre kell következtetni. A mérések szerint az inger a mimóza levelében percenként 30–100 mm sebességgel terjed.

Egyidőben természetesen a mimózában is idegeket kerestek. *Dutrochet* a mimóza mozgását egyenesen nervimóciónak nevezte. Ezzel szemben *Haberlandt* gyűrűzési kísérleteinek eredményéből azt következtette, hogy a faedény-nyalábokban kell keresni a vezetés helyét. Később mások kimutatták, hogy a bél is

vezeti az ingert. Végül *Ricca* 1916-ban arra a következtetésre jutott, hogy a mimózában az ingert valamely anyag szállítja tovább. Erre az a kísérlete vezette, hogy kettévágta a mimóza szárát és egy-két



18. kép. A mimóza ingerlékenysége: *a* a meg-
ütött levél *b* helyzetbe ereszkedik és levélkéit
összecsukja, *c* a levélnyel talpa (*Dannemann*
nyomán).

csepp vízzel megtöltött üvegsővel létesített a részek között új összeköttetést. Az inger a vízen át is tova-
terjedt. Később kimutatták, hogy az inger zselatinon is átjut.

Minthogy a mimóza levélmozgását sebzéssel is ki

lehet váltani és *Haberlandt* divatba hozta a sebhormónokat, *Ricca* a sebzéskor keletkező anyagok közt kereste a mimóza ingervezető hormonját. Ez a feltevés azonban nem vezetett eredményre. Két évtized múlva *Fitting* a mimózalevélből igyekezett az ingervezető anyagot kivonni s olyan kivonathoz jutott, amely egymilliószoros hígításban is kiváltotta a mozgást az oldatába állított mimózák levelein. A kivonat a *Biophytum* és a *Phyllanthus* levelére is hatékonynak bizonyult. *Umrath* idővel még töményebb kivonatot készített a mimózalevélből, amely 100 milliószoros hígításban is hatékonynak bizonyult. Szerinte a mimóza hormonja egy oxisav, amelynek molekulaszúlya körülbelül 500. Kémiaiailag azonban mindeddig nem sikerült elkülöníteni és megelemezni ezt az anyagot.

Tudjuk, hogy az inger fogalmát a zab csírahüvelyének esetében a sejtnövekedés hormonjának felfedezésével sikerült helyes megvilágításba állítani. A mimóza esetében sem látszik lehetetlennek, hogy a szeizmonasztikus ingert biofizikailag és biokémiaiilag megfoghatóvá tegyük. A mimóza levelének és levélnyelének anatómiai vizsgálatával már *Dutrochet* kiderítette, hogy a mozgásokat a levélkék és a levélnyelek talpán levő ízületek végzik. Pl. a levélnyelek lehajlását az idézi elő, hogy az inger megérkeztekor a talpizület alsó felének sejtjeiben a feszültség (turgor) erősen megeszkken, mert víz lép ki belőlük a sejtközi járatokba. Ez az oka, hogy a mimóza levele a rázási inger hatására 80—100 fokkal leereszkedik. Ezen az alapon a mimóza hormonjának hatását a turgoresökkentésben jelölhetjük meg s miként az auxint a sejtnövekedés hormonjának minősítettük, azonképen a mimóza hatóanyagát a turgoresökkentés hormonjának tekinthetjük. E hormon működésének felderítése természetesen époly nehéz feladat lesz, mint az auxin szerepének kimutatása volt a különböző élettani jelenségekben.

4. A sejtosztódás hormonjai.

A többsejtű növények növekedésének csak egyik részlete a sejt-növekedés, amelynek hormonjával már megismerkedtünk, van másik részlete is, a sejtosztódás. Bár ez csak kisebb térfogatgyarapodással jár, más tekintetben azonban rendkívül fontos. Nagyon bonyolult részletjelenségeit sikerült igen pontosan leírni, de oknyomozó kutatása alighogy megkezdődött. Ehhez tartozik annak kiderítése, hogy milyen jellegzetes hatóanyagok szerepelnek a sejtosztódás megindításában és lefolyásában. A sejtosztódás, ma még nagyrészt csak feltételezett hormonjait gyűjtő névvel *merisztinek*nek nevezzük.

Többféle hatóanyagnak tulajdonítottak már merisztinhatást, de eddig csak egyet sikerült pontosabban megismerni. A sejtosztódás legfontosabb központjai a tenyészkepek és a kambium, de mindeddig hiába próbálkoztak ezekben merisztiniket felkutatni. Szintén fontos központjai a sejtosztódásnak a sebfelületek, ahol, mint tudjuk, a sebzés után sebheglesztő szövet alakul, amelynek sejtjei osztódással részben sebfedő szövetet, részben új szervkezdeményeket hoznak létre. *Wiesner* már 1892-ben azt állította, hogy a sebfelület alatt meginduló sejtosztódás olyan anyagok hatására vezethető vissza, amelyek a sebzéskor elpusztuló plazma szétbomlásával keletkeznek. *Haberlandt* kísérletileg igyekezett ezt a kérdést tisztázni és a heglesztő szövet sejtosztódásainak anyagát sebhormónnak minősítette.

E kísérletek nem vezettek ugyan végleges eredményekhez, de sokáig befolyásolták a kutatást, azért részletesebben kell velük foglalkozni. *Haberlandt* kiöblítette burgonya- és kalarábédarabkák sebfelületeit, amelyeken egyébként hamarosan megindul a hegedés, mire a sejtosztódások elmaradtak. Ebből azt következtette, hogy a kimosott anyagok közt van a sebhormón is. Minthogy pedig a sejtosztódások a sebekben főként a rostaedények közelében a leggyakorib-

bak, valószínűnek vélte, hogy a sebhormón a rosta-edényekben szállítódik vagy keletkezik.

Haberlandt kísérletei után többen igyekeztek a sebhormónt felkutatni. Nálunk *Orsós Ottó* szövettenyésztés segítségével tanulmányozta a kérdést. A megtisztított és felületén fertőtlenített, majd megámozott kalarábégumókból $10 \times 10 \times 5$ mm méretű darabkákat vágott ki s ezeket petricsészékben előkészített, 2 mm vastagságú agarkocsonyán tenyésztette. *Wiesner* és *Haberlandt* nyomán fehérjebomlási termékek közt kereste a sebhormónt, előbb Witte-peptonnal emésztetett fibrin, ovalbumin és kalarábéfehérje, majd etiluretán, végül tirozin hatását vizsgálta s megállapította, hogy a kalarábédarabkák felületein egyrészt a sejtek különlegesen megnövekedtek, másrészt a sejtosztódások száma meggyarapodott. Vizsgálataiból azt a következtetést vonta le, hogy a sebhormón valószínűleg tirozin.

Más irányban is folytak vizsgálatok a sebhormón felkutatására. *Wehnelt* kimutatta, hogy növényi szövetek filtrált vagy alkoholos kivonata, valamint több más szerves vegyület, pl. tyúkfehérje, lószérum, inzulin, agar sejtosztódást indít meg fiatal, hosszában kettéhasított babhüvely belső felszínén. *Bonner* és *Englisch* ezen az alapon a babhüvelyben kezdte keresni a sebhormónt és a babhüvely belső részéből kivágott darabkákat szövettenyésztetben tartotta. Ugyanekkor babhüvelyből olyan anyagot vont ki és töményített, amely 100.000-szeres hígításban megindítja a sejtosztódást fiatal babhüvely belső felületén, ezért ma már ezt az anyagot tekintjük a sebhormónnak, amelyet *Bonner* és *Englisch* traumatinnak nevezett el. A traumatin kétfázisú, telítetlen zsírsav, képlete $C_{12}H_{20}O_4$. Szintetikusán is előállították.

Ezek után felvetődik a kérdés, miképen ítéljük meg a tirozin szerepét. Minthogy a traumatin maga a növény termeli, kétségtelenül a merisztinek közé kell sorolnunk. Ha pedig bebizonyosodik, hogy a tiro-

zin is serkenti a sejtosztódást és nem tartozik az anyagsere anyagai közé, akkor heteromerisztnnek tekinthetjük.

A traumatin sejtosztó hatásának részleteit még nem ismerjük, mivel azonban tudjuk, hogy a sejtosztódást a sejtmag indítja meg és vezeti, valószínűnek látszik, hogy a sejtmagra gyakorol valamilyen befolyást. Ezt annál inkább fel kell tennünk, mert az utóbbi években több olyan anyagot ismertünk meg, amelyek lényegében befolyásolják a sejtmagosztódást. Ilyen a kolchicin, amelynek hatásával alább részletesebben foglalkozunk s ilyen az acenaftén, brómacenaftén, brómnafthalin, monoklórnafthalin, jódnafthalin stb., amelyek mind ugyanolyan módon befolyásolják a sejtosztódást, mint a kolchicin, csak kisebb mértékben.

A kolchicin hatására állati szövetelettani vizsgálatok közben bukkantak rá, u. i. kolchicinnel mérgezett állati szövetek mikroszkópi vizsgálata azt mutatta, hogy e szövetek sejtjeiben a rendesnél sokkal több a kromoszómák kettéválásáig jutott mitózisok száma, sok azonban a sejtmagosztódási rendellenesség is. Ezen az alapon Brüsszelben valóságos iskola alakult a kolchicinhatás tanulmányozására, amelyben a kolchicin növényélettani hatását is kimutatták és tanulmányozni kezdték. Ugyanekkor azonban másutt is vizsgálni kezdték a kolchicin hatását a növényre, egyebek közt a növényi sejtosztódásra s alig néhány év alatt kiderült, hogy a kolchicin a növényi sejtosztódásnak könnyen alkalmazható hatóanyaga, amely nagyon jellegzetes módon befolyásolja a sejtosztódást.

A kolchicin a közismert őszi kikirics mérges alkaloidája, amelyet régebben gyakrabban, újabban ritkán az orvosok is felhasználnak a gyógyászatban. A sejtosztódásra kifejtett hatásának tanulmányozására közönségesen erősen hígított vizes oldatát használják. A vizsgálatok szerint a kolchicin nem indítja meg a sejtmag osztódását, a profázist nem befolyá-

solja, a kolchicinnel kezelt sejtekben a kromoszómák szabályosan kondenzálódnak és alakulnak ki. Annál erősebben mutatkozik a hatás a korai prekinézisben, a kromoszómák kettéválása igen erélyes módon folyik le, a kromoszómafelek azonban a rendestől eltérő x-alakú párokat alkotnak. A magorsó nem alakul meg, a kromoszómafelek nem nyomulnak szét, hanem a kromoszómapárok a sejtmag területén elszóródnak. Ha a kolchicin nagyon híg oldatban jutott a sejtmaghoz és csak rövid ideig — néhány óráig — hatolt, a kolchicinhatás ezzel megszűnik, a magorsó megalakul és a magosztódást követi a sejt kettéoszlása. Ha azonban a kolchicinoldat erősebb volt, vagy tovább tartott, a már megkétszereződött kromoszómák újra kettéválnak s ez még többször is megismétlődhet, ennél fogva a kromoszómák száma nagymértékben megsokszorozódhat. Nemesak $2n$, $4n$ és tovább $32n$ lehet a kolchicinhatás következménye, hanem $128n$ is, v. i. a kromoszómák száma több százra, esetleg ezerre szaporodhat. Ilyen szélsőséges esetben természetesen többé nem követheti a magosztódást sejtosztódás, de egyébként igen s a kolchicinhatás következtében diploid, tetraploid, általában poliploid sejtek keletkezhetnek. Az is lehetséges, hogy egy-egy kromoszóma elmarad vagy előresiet s ilyenkor a szabályszerű szerelvénynél egy kromoszómával kevesebb vagy több jut a poliploid sejtbe. A poliploid sejtek megfelelően többszörös szerelvényű fióksejteket hoznak létre a további osztódások folyamán is, ezért a kolchicinhatás következtében, ha a poliploidia csak bizonyos szövetrészre terjed ki, kimérák létrejöttét okozhatja.

A kolchicinnel keltett poliploidia azonban az ivaros szaporodással poliploid utódot is eredményezhet, aminek mind tudományos, mind gyakorlati tekintetben nagy a jelentősége. Ennek felismerése után hamarosan módszereket igyekeztek kidolgozni a kolchicin felhasználására. A kolchicin vizes oldatán kívül lanolinból kolchicinkenőcsöt is készítettek, amely rá-

kenhető a növény megfelelő részére, vagy belőle kolchicinemulzió is keverhető. Az agar is megfelelőnek bizonyult s ma már kolchicinagar is szerepel a kísérletekben. A kolchicinoldat is többféleképpen használható, vagy bemártjuk bizonyos időre a növényrészét az oldatba, mint pl. a virágzatot, hajtást, magot, vagy pedig vattát mártunk az oldatba s rányomjuk a kezelendő növényrészre, pl. esúcsára.

A kolchicinhatás, közvetlenül a sejthez juttatva a kolchicint, gyorsan és igen kis mennyiségre jelentkezik. Szövettenyészetben állati sejtmagokon kimutatták 0.000003%-os oldat hatását is, általában azonban alsó határnak a 0.005%-ot tekinthetjük, sőt a jellegzetes x-párok csak 0.01%-os oldat hatására mutatkoznak nagyobb számban. Az élő növény külső kezelésére természetesen némileg töményebb oldatok használata szükséges, 0.1–1%-osak. Az idő is változik, részben a szerint, hogy mennyire burkolt növényrészről akarunk kezelni, a magvakat pl. több napig is áztathatjuk kolchicinoldatban, másrészt a szerint, hogy milyen mértékű kromoszómaszerelvény-sokszorozódást akarunk elérni.

Kolchicinnel az utóbbi években nagyon sok poliploid növényalakot állítottak elő, pl. kétszeres szerelvényű répát, spenótot, tatárkát, kendert, epret, lent, paprikát, paradicsomot, salátát, kaucsukpitypangot stb. Ezeket a növény-nemesítők most tanulmányozzák gyakorlati jelentőségük tekintetében.

A kolchicinhatás élettani értékelésében megoszlanak a vélemények. Felvetették azt a nézetet, hogy a kolchicinhatás hormónhatás, vagy legalább a kolchicin olyan hatóanyag, amely a sejtosztódás valamely merisztinjét befolyásolja, serkenti a prekinézist, ellenben a magorsó inaktíválásával megakadályozza a következő magosztódási szakok létrejöttét. Mások azt vitatják, hogy sem az egyik, sem a másik feltevés nem helyes, a kolchicin nem hormón és hatásának magyarázatára nincs szükség valamely merisztin feltételezésére. A lényeg mindenesetre az, hogy a kolchicin a

sejtosztódást lényegesen befolyásoló hatóanyag s értékes példa arra, hogy a sejtosztódást kismennyiségű anyagok befolyásolhatják. Hogy az élő szervezet nem termel ilyen anyagokat, azok alapján, amiket a hormonok elterjedtségéről tudunk, nagyon valószínűtlen. Sőt még az is könnyen lehetséges, hogy a sejtekben a kolchicinnel teljesen azonos hatású hormonok vannak, ezekkel magyarázhatnók meg u. i. legegyszerűbben az endomitózis jelenségét, azt, hogy egyes szövetek sejtjeiben a differenciálódás folyamán megtöbbszöröződik, esetleg nagymértékben megsokszorozódik szakaszosan egymásra következő kromoszómakettéválásokkal a kromoszómaszerelvények száma. Újabb vizsgálatok szerint ez nagyon elterjedt jelenség a növényekben is, bár jelentőségét ma még nem ismerjük. Ha az endomitózis különleges merisztinjét tételezzük fel a növényben, akkor a kolchicint a megfelelő heteromerisztinnak kell tekintenünk.

5. *A csírázás hormonjai.*

Tudjuk, hogy sok növény, köztük a legtöbb virágos növény, olyan szaporító szerveket hoz létre, amelyek bizonyos nyugalmi időt kívánnak meg s csak ez után indulnak fejlődésnek. A magvak egy része is ilyen. A nyugalmi időszak két részre tagolódik, első részét belső gátlások okozzák, a mag tehát ebben az időszakban akkor sem csírázik, ha a külső tényezők minden tekintetben előnyösek, a gátlás másik részét külső tényezők idézik elő, pl. vízhiány, alacsony hőmérséklet stb. A belső gátlások között mai ismereteink szerint fontos szerep juthat bizonyos hormonoknak. A nyugalmi időszakot nem tartó magvakban, valamint a többi magban a nyugalmi időszak eltelte után a csírázást serkentő hormonok veszik át a vezető szerepet. Sem a gátló, sem a serkentő hormonokról eddig semmiféle bizonyosat nem tudunk, de felkutatásuk szorgalmasan folyik.

Csírázásgátló hormont tételez fel *Bor-riss* azokban a gyommagvakban, amelyek már a nyár folyamán a talajba jutnak, de csak tavasszal csíráznak. Azt tartja, hogy e gátló anyagot a talaj vonja ki a magból adszorbeálással. Mások azt vélik, hogy e gátló anyag több esetben a közismert cián, amely gátolja a csírázást s tudjuk, hogy több magban keletkezik cián.

A rózsafélék családjába tartozó növények magjainak nyugalmi időszakát sikerül kiküszöbölni, ha a csírást minden termés- és maghéjától megszabadítjuk, a legbelső hártvaszerű takarótól is. Feltehető, hogy a belső takaróréteg valamely gátló anyagot termel. E probléma annyiban gyakorlati jelentőségű, hogy a rózsafélék családjába tartozik legtöbb gyümölcsfánk s valóban sikerült is gyümölcsfák magvait nyomban csíráztatni, amint héjaiktól megszabadították. Ezzel és a csemete életritmusainak megfelelő irányításával már a második évben virágzási szakba siettethető a csemeték fejlődése.

Ismeretes a fagyöngy termésének terjedése madarak segítségével, tudjuk, hogy magja nyugalmi időszakot tart. *Funke* a fagyöngy magjának csírázását vizsgálva, arra a feltevésre jutott, hogy a fagyöngy termésének enyves anyagában, a levelekben és a magvakban csírázásgátló anyagok vannak.

Köckemann feltételezi, hogy csírázásgátló hormonok vannak a húsos termésekben, s ezt kísérletekkel bizonyítja. Könnyen csírázó magvakat, pl. keresztesek és gabonafélék magvait húsos gyümölcsök levében csíráztatta s arra az eredményre jutott, hogy a gyümölcslé gátolja a csírázást. Pl. a kerti zsáza magja vízzel 36 óra alatt csírázásra bírható, ellenben pl. alma, körte, birs és paradicsom levével kezelve még hat nap múlva sem mozdul. A gyümölcsléből kivonatot készített, amely a gátló hatást kiváltja s elnevezte blasztokolinnak, v. i. csírázásgátlónak. Mások kísérleteik alapján elismerik egyes gyümölcsök, különösen pl. a paradicsom levének csírá-

zäsgátló hatását, de nem a csírázásgátló hormónt, hanem egyszerűen a gyümöleshúsból levő alma- és citromsavnak, valamint pektinnek tulajdonítják a gátlást.

A csírázás megindítása és serkentése kísérletek alapján szintén hormonokra vezetendő vissza. *Dragone-Testi Guiseppina* gabonamagvak csíráztatásával végzett kísérletei alapján azt állítja, hogy a magvakban hormonok intézik a csírázást, amelyek az embrióban vagy a tápszövetben képződnek. Igen fontos a csírázás hormonjai tekintetében, hogy az enzim kutatás újabb eredményei szerint az enzimek — mint a bevezetésben ismertettük — nem vándorolnak, hanem a sejtek saját képződményei. Pl. a csírázásban fontos szerepet játszó amiláze azon a helyen keletkezik, ahol hatása mutatkozik. A magban lévő csíra e szerint csak az enzimeképződést irányítja, minden bizonnyal olyan hormon termelésével, amely a tápszövetbe vándorol s a megfelelő helyen megfelelő enzimeképzésre serkenti a plazmát.

6. A differenciálódás hormonjai.

Az eddig megismert hormonoktól lényegesen különböznek azok, amelyek a szervek jellegzetes kifejlődésének irányításában, meghatározásában (determinálásában) szerepelnek. Tulajdonképpen ilyenek feltételezésével indult útjára a növényi hormonok tana, mert *Sachs* virágképző és gyökérképző anyagait ebben az értelemben fogalmazta meg. Később *Went* és *Némec* igyekezett fejleszteni *Sachs* elméletét s mindketten minden fontosabb szerv részére külön hormónt tételeztek fel. *Went* a szervmeghatározó hormónt *kallinnak*, *Némec* organogénnek nevezte. Mint-hogy az utóbbi félreértésre adhat alkalmat, mert génnek a kromoszóma faktorait nevezzük, ragaszkodunk kell *Went* elnevezéséhez. E szerint a gyökérképző hormonokat rizokalinoknak, a szárképzőket

kaulokalinoknak, a levélképzőket fillokalinoknak, a virágképzőket antokalinoknak, a termésképzőket karpokalinoknak nevezzük. A fentiekhez azonban mindjárt azt is hozzá kell fűznünk, hogy a kalinok ismeretében vajmi kevés haladtunk előbbre *Sachs* vizsgálatai óta, noha az utóbbi évtizedben a kutatók egész sora kezdett el foglalkozni a szervmeghatározás hormonjainak felkutatásával.

Sachs úttörő vizsgálatai után *Went* jutott kísérletek alapján 1929-ben arra az eredményre, hogy a gyökérképződésnek külön hormónja, rizokalinja van. Az *Acalypha* a könnyen gyökerező növények közé tartozik, ha azonban dugványait megfosztjuk a levelektől és a rügyektől, elveszti ezt a képességét s nem hajt gyökereket. *Went* levelet oltott a lefosztott dugványra, mire hamarosan megindult a gyökérképződés. Ebből arra következtetett, hogy a levélben gyökérképző anyag keletkezik, amely a dugványba vándorol s megindítja a gyökérképződést. Később, mint már tudjuk, kiderült, hogy az auxin alkalmas a gyökérképződés megindítására, sőt a gyakorlatban ma már nagyobb körben elterjedt a heteroauxin alkalmazása a dugványok gyökereztetésére. *Went* azonban erre sem adta fel álláspontját. Újabb kísérletekkel igyekezik bizonyítani, hogy az auxin hatása ilyen esetekben csak közvetett, a gyökérképződés helyén gyökérmeghatározó hormón van s ez az elsődleges tényező. Borsócsemetéken heteroauxinnal erős mellékgyökérképződés idézhető elő, ha azonban a szikleveleket eltávolítjuk a növénykéről, a gyökérképződés lényegesen csökken, mert a szükséges rizokalin a sziklevelekben van.

Went igyekezett a kaulokalint is kísérletileg felkutatni. A sziklevelektől megfosztott borsócsemeték nagyon lassan növekednek. Ha vagy a gyökeret vagy a szikleveleket meghaggyuk a növénykén, kissé és egyenlő mértékben erélyesebb a növekedése, ha pedig a gyökeret is meg a szikleveleket is meghaggyuk, a növekedés eléri maximumát. Ebből *Went* azt követ-

kezteti, hogy a szikleveleiből és a gyökérből szárképző hormón vándorol a szárba. Ugyanezt bizonyítja, hogy gyökerétől megfosztott növénykét gyökeres növény-csonkra oltva, újra megindul növekedése, mielőtt a sebfelületek összeforrnak. Ugyancsak kaulokalin szükséges az auxinon kívül az alsóbb rügyek kihajtásához is, mikor a csúcsrügyétől megfosztott ágon fejlődni kezdenek. Más kutatók azt vitatják, hogy mindezen esetek egyszerűen megmagyarázhatók a tápanyagok képzésével. A hormónkutatók közt azonban sokan osztják *Went* nézetét.

Lényegesen előbbre vitték a rizokalinok és kaulokalinok ismeretét a szövettényészetekben végzett regenerációs vizsgálatok. Mind gyökér-, mind szárszövettényészetekben sikerült elérni regenerációt, a differenciálatlan kalluszsövetből differenciált szövetek, szervek kialakulását. *Nobécourt* sárgarépa gyökérszövetét vette tenyésztésbe s elérte, hogy a gyökérszövetdarabkákon nemcsak differenciálatlan és klorofilltartalmú sejthalmazok keletkeztek, mint mások előbbi hasonló tenyésztéseiben, hanem ezekből kis gyökerek is fejlődtek, amelyek közül egyesek 15 cm hosszúra növekedtek. *Nobécourt* azonban nem foglalkozott a determináció kérdésével.

A szárszövettényészetek mindjárt kezdettől a determináció kérdéseire is igyekeztek megfelelni. Különösen érdekesen indultak meg e tekintetben *Orsós Ottó* kísérletei. Kísérleti növénye erre a célra is a kalarábé volt, amelynek 4×4×2 mm-es darabkáit White-féle tápoldattal készített 2%-os agarkocsonyán tenyésztette. Szervképződés kiváltására növényi zuzadékat és levét használt. Ezekből a szervdetermináló anyagok a tenyésztett szövetbe juttathatók, ahol a szervképződéssel megindíthatják a regenerációt. Két-féle növényanyaggal kísérletezett, kalarábézúzádekkel és borsó sziklevelének kivonatával, ezeket 0.1, 0.05, 0.025 és 0.015%-os hígításban juttatta az agarkocsonyába.

Mindkét anyag megindította a szervképződést. a

kalarábéanyag hatására a szövetdarabka ama felületén, amely az agarkocsonyán feküdt, egyidejűleg indult meg a szár- és gyökérképződés, a borsó sziklevélenek kivonata pedig előbb a szárképződést indította meg, csak azután a gyökérképződést (19. kép). E szervek közvetlenül az eredeti kalarábészövethől



19. kép. Szár- és gyökérképződés kalarábészövettenyészetben borsósziklevélnyomat hatására (*Orsós O.* nyomán).



20. kép. Gyökérképződés kalarábészövettenyészetben ólomacetáttal és ólomecettel kezelt kalarábénedv hatására. (*Orsós O.* nyomán.)

keletkeztek, nem a kalluszból, éspedig az edénynyaláb osztódásra képes sejtjeiből, bár nem a kambiumból. Erre *Orsós* a szervdetermináló anyag elkülönítése céljából előbb ólomacetáttal és követőleg ólomecettel tisztította az autolizátot, mire a kalarábédarabkákon csak gyökerek képződtek (20. kép). E jelenséget úgy magyarázta, hogy a szárképző anyag különvált

a gyökérképzőtől és nem jutott a kalarábédarabkához.

A nagyobb kalarábédarabkákkal egyidőben *Orsós* $1 \times 1 \times 1$ mm-es kisebbeket is tenyésztett, amelyeken mindenféle külső szervdetermináló anyag hozzáadása nélkül száraz és gyökerek képződtek. Ebből azt következtette, hogy a szervdetermináló hormonok az elpusztult sejtek lebomlási termékei közt keresendők s mivel a nagyon kis szövetdarabkák sebfelülete aránylag nagyobb, aránylag több hatóanyagot termelnek, amennyi a kis darabkák számára elegendő. Nem valószínű, hogy *Orsós* utóbbi következtetései helyesek, bármi értékesek is egyébként kísérletei.

Orsós azt is megfigyelte szövettenyésztetein, hogy a kalarábédarabkák ama sebfelületein, amelyek nem feküdtek az agaron, kallusz képződött. A kalluszt sikerült különválasztani az eredeti kalarábészövettől és magában tovább tenyészteni. A differenciálatlan kallusz alkalmas arra, hogy megfigyeljük, miképpen indul meg differenciálódása, azonban *Orsós* ezzel a problémával halála miatt már nem foglalkozhatott. Ahol abbahagyta, ott fogta meg a problémát *White*. Kísérleti növénye egy dohány (*Nicotiana glauca* \times *Langsdorffii*) volt, amely feltűnő hajlamot mutat a kalluszképzésre. Letörte fiatal növények esúcsát s a törésfelületről apró szövetdarabkákat szűrt ki, amelyeket tenyészetbe vett. A prokambiumtartalmú szöveteket agarkocsonyán tenyésztette tovább klónokban, s a szövetdarabkák hetenként háromszoros nagyságra gyarapodtak.

A továbbtenyésztés megmutatta, hogy a differenciálatlan kallusz növekedése korlátlan. A differenciálódás előidézése céljából *White* egyes kalluszdarabkákat tápoldatba rakott át, amelyben természetesen alásüllyedtek. Erre a kalluszdarabkákon tenyész-kúpok keletkeztek, v. i. megindult a differenciálódás, sőt a tenyész-kúpokból néhány hét alatt leveles hajtások fejlődtek. *White* ezek alapján a szervdetermi-

náció alapját oxigénhiányban véli megjelölhetőnek. Ezzel azonban átugrotta a hormonproblémát.

Orsós és White kísérletei azt mutatják, hogy további vizsgálatok szükségesek, amelyek a megkezdett úton elvezetnek a rizokalinok és kaulokalinok felfedezéséhez.

Went a fillokalinok létét is borsókísérletekkel igyekezett igazolni. Ha u. i. eltávolította a borsócsemetéről a szikleveleket, a növényke levéltömege nagy mértékben csökkent, ami azonban nem következett be, ha a gyökeret távolította el. Ebből Went szerint azt kell következtetni, hogy a sziklevekben fillokalin van, amely nélkülözhetetlen a levélparenchima képződéséhez. Hasonlóképpen magyarázható az a fejlődési elmaradás, amelyet *Rapaics* mutatott ki szikleveleik felétől megfosztott fehér csillagfürtön. Új bizonyítékokat szolgáltathatnak a szövettényészetek. A levélszövetek könnyen tenyészthetők higcukoroldaton s a különféle hatóanyagok hatásai is könnyen megfigyelhetők. Bonner és Haagen-Smit fiatal reteklevél mezofilljának apró darabkáit tenyésztette s különböző aminosavak hatását tanulmányozta. Halványított borsóleveleken zöld borsólevél kisajtott nedvének hatását tanulmányozták. E kísérletek nem jutottak el a hormonproblémáig, nem igyekeztek a hatóanyagok közt különbséget tenni, még annyiban sem, hogy legalább a vitaminhatásokat elkülönítsék a hormonhatásoktól.

Más módon jutott el egy fillokalin feltételezéséhez legújabbban Harder és Witsch. Kísérleti növényük, a *Kalanchoe Blossfeldiana*, hosszúnappalú fényszakaszosságban (fotoperiodusban) hosszúnyelű és vékony, rövidnappalúban szinte nyéltelen, kicsi és nagyon vastag leveleket fejleszt. Kísérleteik alapján kimutatottnak vélik, hogy e jelenségnek egy levélhormón az oka, amely rövidnappalú tenyészetben keletkezik s amelyet metaplazinnak neveztek el.

Különös szenvedéllyel űzik a hormonkutatók az autokalinok nyomozását. Ennek talán az a ma-

gyarázata, hogy a virágképző anyagok kutatásának több mint félszázados a multja, mint tudjuk, *Sachs* virágképző anyag feltételezésével kezdte meg a növényi hormonok tanát. *Sachs*-ot erre a feltevésre a következő kísérletek vezették. Megfigyelte, hogy több növény, pl. bab, sarkantyúka (*Tropaeolum*), sötétbe helyezett hajtásai akkor sem fejlesztenek virágot, ha a növény többi részét fény éri, tehát a sötétbe állított részek is kellő mennyiségű tápanyagot kapnak. Ebből *Sachs* szerint az következik, hogy a virágképződéshez nem elegendő a kellő mennyiségű tápanyag, hanem különleges virágképző anyag is szükséges, amely ilyenkor nem keletkezik. Később más kísérletek arra a feltevésre vezették, hogy a virágképző anyag a levelekben keletkezik. Tudjuk, hogy a begónia levélszeletekkel is dugványozható. A levéldugványokból nevelt növények azonban virágzás tekintetében különféleképpen viselkednek. A tavasszal dugványozott levélszeletekből fejlődő növények csak a következő évben virágzanak, ellenben az ősszel dugványozott levélszeletekből fejlődő növények már néhány hét múlva. Ebből *Sachs* azt következtette, hogy a virágképző anyag a begónia leveleiben ősszel képződik.

Az újabb kutatók hamarosan rájöttek, hogy a virágképző anyag felkutatása sokkal bonyolultabb feladat, mint *Sachs* vélhette. Ahhoz u. i., hogy a növény eljusson a virágképzéshez, többféle feltétel teljessége szükséges, amelyek közül különösen a fotoperiodizmus és a termoperiodizmus (vernalizáció) tűnik szembe. Ha tehát fel akarjuk kutatni valamely növény antokalinját, valahogy ezek révén juthatunk hozzá.

A fotoperiodizmus a növénynek a napi világosság-sötétségszakaszaihoz való viszonyát jelenti. Nem a fénymennyiség a fontos, hanem az, hogy naponta mennyi ideig éri fény és mennyi ideig sötétség. Ezen az alapon különböztetjük meg a hosszúnappalú és rövidnappalú vidékeket és növényeket.

Előbbiek a mérsékeltövi tájak, ahol a tenyészidőszakban a nappal a nap nagyobb fele, utóbbiak az egyenlítői tájak, ahol a nappalok rövidebbek. Rövidnappalú növények csak rövidnappalú szakaszosságban, hosszúnappalúak csak hosszúnappalú szakaszosságban megvilágítva és megfelelőleg elsötétítve fejlődnek ki rendesen és csak így virágzanak. Vannak azonban e tekintetben semleges növények is.

Először az orosz *Csajlachjan* mutatta ki elmés kísérlettel, hogy a rövidnappalú növény kivirágzik hosszúnappalú fény-árnymegoszlásban is, ha lombja egy részét a neki megfelelő szakaszosságú fény-árnymegoszlásba helyezzük, vagy rövidnappalú körülmények közt nevelt példány hajtását oltjuk rá. A közismert krizantémum pl. rövidnappalú növény s nem virágzik, ha ágainak csúcsai több mint 14 órás nappali megvilágítást kapnak. Ha ellenben az ágak csúcsáról letépjük a leveleket, a szár lombos részét pedig rövidnappalú váltakozó világításban részesítjük, az ágak csúcsán virág képződik hosszúnappalú megvilágításban is. Ez a jelenség úgy magyarázható, hogy a kívánt módon megvilágított levelekben virágképző anyag képződik, az ágak csúcsába vándorol s ott megindítja a virágképződést, amely egyébként elmaradna.

Csajlachjan ezt a virágképző anyagot *florigén*-nek nevezte el. A további kísérletek folyamán kiderült, hogy a fotoperidizmus iránt a krizantémum felső 3-tól a 6-ig következő levele érzékeny. A florigén nemcsak a krizantémum virágképző anyaga, hanem más növényre is hatékony. Hogy a szár csúcsi részén hány virág képződik, a florigén mennyiségétől függ. Gyűrűzéssel torlódása idézhető elő. Kivonni azonban nem sikerült.

Hamner és *Bonner* a *Xanthium pennsylvanicum* fotoperiodikusan determinált virágzását vizsgálta és virágképző anyagát nyomozta. E növényen rövidnappalú esetben már 14 nappal a sziklevelek kiterülése után megjelennek a virágkezdemények. A főhaj-

tás eltávolítása után két egyenlő ág marad vissza a növényen, az egyik rövidnappalú világosságeloszlásban a virágképző anyag termelője, a másik hosszúnappalú helyzetben a fogyasztó. Oltással kimutatható, hogy a virágképző anyag a vékony selyempapíron is áthatol. A virágzás feltétele a hosszú sötétség, 40 órai sötétség egyszeri alkalmazásban elegendő, de közben egy pernyi megvilágítással kapcsolatos megszakítás felfüggeszti a virágképződés folyamatát. Levélkivonatok és különféle vegyületek alkalmazása vízkultúra segítségével semmiféle eredményre sem vezetett.

Más módon, a termoperiodizmus segítségével igyekezett felkutatni a virágképző anyagot *Melchers*. A közönséges beléndeknek két változata van, az egynyári és a kétnyári, előbbi már az első tenyészévben, a másik csak a másodikban virágzik a tölevélrózsa, illetőleg a fejletlen tőkehajtás erős téli lehülése után. *Melchers* oly módon igyekezett felkutatni a virágképző hormont, hogy az egynyári alak levelét, amelyben feltételezte egy virágképző anyag jelenlétét, ráoltotta a kétnyári tőre, abban a reményben, hogy annak így nem lesz szüksége a lehülési determinálásra, a virágképző anyag hatására hamarosan szárat hajt és virágzik. A kétnyári beléndek valóban már az első évben kivirágzott (21. kép). Más egynyári növény, pl. petúnia, dohány levelének hasonló a hatása a kétnyári beléndekre. Ebből az következik, hogy az egynyári levélből az oltás helyén virágképző anyag vándorol a kétnyári beléndekbe s ott nyomban kifejti hatását, még akkor is, ha az ötödik nap után eltávolítjuk a hormónhordó levelet.

A virágképző anyag kivonására irányuló kísérletek azonban itt is kudarcot vallottak, ezért *Melchers* és munkatársa, *Lang*, új útra tért, bevonták kísérleteikbe a fotoperiodizmus vizsgálatát is. A beléndek hosszúnappalú növény, kérdés, hogyan viselkedik, ha rövidnappalú növény levelét oltjuk a két éves beléndekre. Alkalmasnak bizonyult erre a célra

a Maryland Mammut dohányfajta, amely kifejezetten rövidnappalú. Minthogy a kétéves beléndek a dohány levelével beoltva mind rövid-, mind hosszúnappalú tenyészetben kivirágzik, *Melchers* azt követ-



21. kép. Kétnyári beléndek (baloldalt) már az első évben kivirágzik a ráoltott egyényári beléndek (jobbaldalt) hatása következtében (*Melchers* nyomán).

keztette, hogy kétféle antokalin szerepel a beléndek virágképzésében, egy a fotofázissal kapcsolatban, ez valószínűleg a Csajlachjan-féle florigén, és egy a termofázissal kapcsolatban, ezt pedig vernalin-

nak nevezte el. A legújabb kísérletek azonban azt bizonyítják, hogy a beléndekben a fotofázis és a termofázis szorosan kapcsolódik, mert az egyéves beléndek levele rövidnappalú tenyésztetben nem képes virágzásra indítani a kétéves beléndeket, nincs tehát az egyéves beléndekben a fotofázistól független külön virágképző hormon. Most *Lang* a sötétség szakában keresi a virágképződés döntő tényezőjét, feltételezi, hogy ebben a szakban gátló anyag képződik, amely a kétéves beléndekben csak a tél folyamán semmisül meg, esetleg a tölevelek elpusztulásával.

A virágdetermináló hormon kémiai jellegének felkutatására két kísérletet ismerünk. *Dragone-Testi Guiseppina* alkaloidákban vélte megjelölhetni a virágképzés hormonját. Abból indult ki, hogy némely növényben az alkaloidák a tenyészkép felé áramlanak, minek következtében feltehetőleg valamilyen szerepük lehet a virágrégióban. Alkaloidás oldatokat készített, 10.000-szeres hígítású morfinoldatot és koffeinoldatot, 100.000-szeres hígítású kininoldatot s ezekbe *Iris germanica*, *Scilla peruviana*, *Sambucus nigra*, *Iberis taurica*, *Crinum variabile* és *Acanthus mollis* bimbózó szárait állította. Az így kezelt növények hamarabb és gazdagabban virágoztak, mint az ellenőrzésül vízbe helyezett példányok. E kísérletnek számottevő jelentőséget nem tulajdoníthatunk. *Ulrich* sáfránybibék vizes kivonatával kezelt Isaria-árpán vélte megállapíthatónak a krócin virágzásserkentő hatását. *Melchers* és *Lang* ellenőrző kísérletei azonban kimutatták, hogy e nyári árpa csírázó növénykéit hiába kezeljük akár sáfránybibekivonattal, akár pikrokrócinnal, a virágrégióban semmiféle hatásuk nem mutatható ki.

A karpokalin a partenokarpia vizsgálata folyamán lépett előtérbe. Tudjuk, hogy a húsos gyümölcsök növekedését az auxinok nagy mértékben serkentik s *Gustafsson* kimutatta, hogy a partenokarp narancsban, citromban, szőlőben több az auxin, mint azokban, amelyek magvakat rejtegetnek. Arról

is volt szó, hogy az etilént egy időben a gyümölcs-érlelés hormonjának tekintették. A gyümölesképződés determináló anyagaira azonban ezek a vizsgálatok nem derítették fényt, további vizsgálatok hivatottak felkutatni a gyümölesképződés különleges hormonjait.

Annyi sikertelen kísérlet, amennyit a kalinok ki-nyomozására *Sachs* óta végeztek, szinte azt a hitet kelthetné, hogy az egész kalinelmélet téves. Ámde más hormonok felkutatása is csak sok téves irány legyőzése után sikerült. Mihelyt azonban megtalálták a helyes utat, egyik felfedezés a másikat követte, mint pl. az auxinok felfedezésének történetében már megismertük s az ivari hormonokra vonatkozó kutatások ismertetése során nyomban látni fogjuk. Úgy látszik, hogy a kalinok a legbonyolultabb viszonylatú növényi hormonok, amire különben a szervfejlődés sokféle belső és külső kapcsolatából is következtethetünk.

7. Az ivari hormonok.

Helyes és alapvető természettudományi felismerések is szülhetnek téves kutatási irányokat. Az auxinok felfedezésének történetében megismertük, hogy az élővilág egységének tana lehetővé tette a növényi ingerjelenségek állati mintára elképzelt idegmagyarázatát. Hasonló téves utat kellett megjárnia a növényélettannak az ivari hormonok felkutatására irányuló törekvésekben is, amíg végül megtalálta a helyes kutatási irányt. Az ember- és az állatélettan többféle ivari hormont ismert meg. A növény ivari hormonjainak kutatói először ezek közvetlen növénytani hatását akarták kimutatni.

Emberi és növényi hatóanyagok kapcsolatát ősi idők óta feltételezik. A régiek sok olyan növényt tartottak számon, amelyek az embert és az állatot szexuálisra serkentették, másokat pedig, amelyek ebben gátolták. *Plinius* természetrajzában s a téve-

sen *Albertus Magnus*-nak tulajdonított *De virtutibus herbarum, lapidum et animalium* c. középkori munkában egy részükkel megismerhetünk. Magyarban is él Aphrodite füveinek emléke olyanféle nevekben, mint pl. szaporafű, erősítőfű, szeretetrehajtófű, kosbor stb., a gátlóké pedig pl. a szűzfű, baráteserje névben. Az afrodiziákumok és ellenafrodiziákumok nem mind pusztán a babona termékei, korunk is több olyan növényt tart számon, amelyek valóságos afrodiziákumok, mint pl. a kameruni *Corynanthe yohimbe*, és valóságos ivari sterilizátorok, mint a *Dieffenbachia seguina*.

Nyilván ez vezette a növények ivari hormonjainak első kutatóit arra a feltevésre, hogy viszont az emberi és állati ivari hormonok a növények ivari életjelenségeiben játszanak valamely szerepet. Az ember és állatélettan többféle hím és többféle női hormont kutatott fel. Egy emberi, illetőleg állati hímhormont állítólag sikerült kimutatni növényi hímekben is, pl. a kecskefűz hím-barkáiból állítólag olyan kivonatot készítettek, amelynek hatása kakastaréjegységekben mérhető. A fűzfabarkában azonban ez a hímhormón nem szerepelhet ivari hormónként, mert idővel az élesztőben kg-onként 500 taréjegységet mutatnak ki. Ezeknek az eredményeknek alapján egyes kutatók felteszik, hogy a növényi afrodiziákumok hatóanyaga hímhormón.

A női hormonok egyike a sárgatest hormonja (progesztin), a menstruáció egyik hatóanyaga. Hasonló hatású anyagot mutattak ki a napraforgó virágjában és a baráteserje magjában, kisebb mennyiségben levelében. Más női hormón a tüszőhormón (ösztron, follikulin, teelin, menformon), valamint az ösztradiol. A növényvilágban ezekhez az egéregységekben mért hormonokhoz hasonló anyagokat mutatnak ki a kecskefűz termős barkájában, a sárga tündérrózsa (*Nuphar luteum*), napraforgó, bodza, csalán stb. virágjában, kisebb mennyiségben búza- és árpa-csírában, burgonyában, cukorrépában, rebarbarában

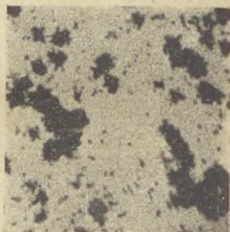
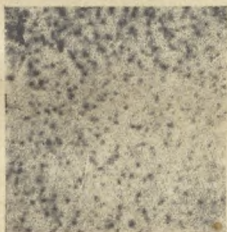
stb. *Butenandt* olyan mennyiségben vonta ki az olajpálma magjából, hogy azonosíthatta az ősztronnal. Egyes kutatók a növényben is ivari hormón szerepét tulajdonítják az ősztronnak, szerintük serkenti pl. a jácint, kalla és gyöngyvirág kivirágzását. Mások szerint egyszerűen táplálék- v. i. trágyahatása van, ami ma már kétségtelennek tekinthető. Úgy látszik, a legtartósabb vegyület az emberi és állati hormónok közt, a természetben a szerves eredetű anyagokban nagyon elterjedt.

Az emberi és állati, meg a növényi ivari hormónok kapcsolataira irányuló kutatások jelentőségét teljesen háttérbe szorították a virágtalan növények ivari hormónjaira irányuló kutatások kitűnő eredményei. Ezek a hormónkutatás legfrissebb vívmányai s kétségtelen, hogy nagy lépéssel vitték előbbre a hormóntant mind növény-, mind állatélettani tekintetben. E haladást növénytani téren különösen *Moewus Franz*-nak, kémiailag *Kuhn*-nak köszönjük.

A virágtalan növények ivari hormónjaira vonatkozó első megfigyelések és feltevések a múlt század közepéig visszavezethetők, természetesen csak annyiban, hogy bizonyos ivari jelenségekben kémiai anyagok hatását sejtették. Pl. mikor a moszatok, mohok és harasztok mozgó hím ivarsejtjei, a spermatozoidok, körül rajozzák a petesejtet, első pillantásra azt a gondolatot keltik a szemlélőben, hogy a petesejt valamely anyaggal csalogatja magához a hím sejteket, miként ennek e jelenségek leírói már régen kifejezést adtak. A mohok és harasztok peteserlegeinek nyálkás anyagában szerves savakat mutattak ki s ezeket tekintik spermatozoidcsalogató vegyületnek. Egyes moszatoknak a petesejttől és spermatozoidtól eltérő, egyszerűbb, egymáshoz hasonló alkotású ivarsejtjei, gamétái (22. kép) vannak, amelyek egymást felkeresik, hogy a kétféle gaméták páronként egyesülhessenek. A gaméták ilyenkor nagy számban gyűlnek össze és csoportosulnak (23. kép). A csoportokban vagy egyenlő számban találjuk a hím

és női gamétákat, vagy egy-egy női gamétát sok hím gaméta rajoz körül. Geitler 1931-ben a *Tetraspora lubrica* gamétáinak rajzását megfigyelve, azt a gondolatot vetette fel, hogy a gaméták csoportosulását a gamétáktól kiválasztott ivari anyagok okozzák. A gamétákból ivaronként kivonatokat és centrifugátumokat készített s ezeket kis mennyiségben a vízbe

22. kép. A *Chlamydomonas eugametos* f. *typica* moszat párosodó izogamétái (Moewus nyomán).



23. kép. *Chlamydomonas eugametos* moszat egyféle ivarú gamétái (baloldalt) nyomban csoportokba verődnek (jobbaldalt), mielőtt a más ivarú gamétákat közéjük tesszük (Moewus nyomán).

adagolva, elérte, hogy a gaméták az ellenkező ivarú gaméták kivonatának hatására csoportokba verődtek. A kétféle ivarok párosodása, kopulációja, azonban erre még nem következett be.

E nyomon elindulva kezdte el vizsgálatait Moewus 1933-ban. Kísérleti moszata a nagyon egyszerű *Chlamydomonas eugametos* volt. A *Chlamy-*

domonas nemzetség azért hordja nevét, mert egysejtű ugyan, de cellulózelepel borítja. Fajai egyebek közt abban különböznek egymástól, hogy egyések mozgó gamétái teljesen hasonló alakúak (izogámia), másoké kétalakúak, a hím gaméták kisebbek, a nőgaméták nagyobbak (anizogámia), ismét másoké pedig azzal tűnnek ki, hogy csak hím gamétáik mozgékonyak, a nagyobb nőgaméták mozdulatlanok, petesejtek (oogámia). Párosodáskor a gaméták csúcsukkal olvadnak össze. A *Chlamydomonas eugametos* az izogám alakok közé tartozik, jellemzi ezen kívül, hogy kétféle változatai vannak, váltivarúak (f. *typica* és f. *simplex*), amelyek klónjai mindig egyféle neműek, és vegyesivarúak (f. *synoica*), amelyek klónjaiban mindkét ivarú egyedek vannak. Az előbbi alak gamétáinak ivarisága génikus, az utóbbi gamétáinak ivarisága fénikus determináltságú. E moszat más érdekessége még, hogy ivarossága viszonylagos, ugyanazon ivarhoz tartozó egyének között fokozati különbségek vannak s az erősebb hím kopulál a gyengébb hímmel, az erősebb nő a gyengébb nővel.

A *Chlamydomonas eugametos* ivari hormonjaira vonatkozó kutatások eredményeképpen *Moewus* három egymástól kémiaiilag és élettani hatás tekintetében jellegzetesen különböző, egymással azonban kémiaiilag és élettanilag szorosan kapcsolódó hatóanyagot mutatott ki, amelyeket *Kuhn* közreműködésével sikerült kémiaiilag is meghatározni. A háromféle ivari hormon: a mozgékonyság hatóanyagai, a párosodás hatóanyagai (gamónok) és az ivarmeghatározó hatóanyagok (termónok).

A gaméták mozgékonyságának hormonja a kísérleti moszat esetében azért volt könnyen kinyomozható, mert e moszat, agaron tenyésztve, elveszti csillongóit s ezzel mozgékonyságát. Ilyen állapotában tehát nyilván inaktíválja mozgósító hormonját. *Moewus* kísérletei szerint a mozdulatlan gaméták, amelyek akkor sem kopulálnak, ha a kétféle gamétákat összekeverjük, háromféleképpen

tehetők mozgékonyá, megvilágítással, sötétben oxigén jelenlétében bizonyos cukrok adagolásával, végül sötétben és anaerób tenyésztésben mozgékony gaméták kivonatával. Különböző *Chlamydomonas*-fajoknak különböző cukor a legelőnyösebb, a *Ch. eugametos* számára a genciobióz, a *Ch. dresdensis* számára a cellobióz, a *Ch. Braunii* számára a cellotrióz.

A gamétakivonat kémiai meghatározására sikerült a kivonatot töményíteni s hamarosan feltűnt, hogy a tömény kivonat narancssárga színű. Kloroformos oldatának színe alapján a krócinna lehetett helyettesíteni, illetőleg azonosítani. A krócin élettani hatása a moszat gamétáira rendkívüli, 250.000.000.000-szoros (kétszázötvenmilliárdszoros) hígításban elegendő a gaméták mozgósítására. Ez annyit jelent, hogy egy molekulája elegendő egy gaméta mozgósítására. Ez azonban nem vonatkozik minden *Chlamydomonas*-fajra, sőt a *Ch. eugametos* minden alakjára sem, a f. *typica* és f. *simplex* gamétáinak elegendő egy molekula, ellenben a f. *synoica* esetében 100, a *Ch. dresdensis* esetében 100.000, a *Ch. Braunii* esetében 1.000.000 molekula hatékony.

Ezek alapján a *Chlamydomonas eugametos* gamétáinak mozgósító hormonja hétszegtelenül a krócin ($C_{44}H_{64}O_{24}$), a többi említett fajé a kroecetin más eszterei.

A gamónok meghatározására abból kellett kiindulni, hogy a mozgósított gaméták a krócin hatására sötétben nem jutottak tovább a csillagképzésnél, kopulálásuk nem következett be. Ehhez nyilván más hatóanyagra van szükségük. Megvilágítás képessé tette a gamétákat a párosodásra, amiből arra kellett következtetni, hogy a gamónok képződése valamiképpen a fénnel függ össze. További kísérletek folyamán kiderült, hogy különböző színű fény-sugarak hatása különböző. Ha a sötétben tenyésztett gaméták kivonatát vörös fénnel sugározzuk be, nem mutatkozik párosodás. Ha azonban a vörössel besugárzott inaktív kivonatot 25 percig kék és ibolya-

fénnyel sugározzuk be, olyan a hatása, mint a nőgaméták kivonataé, de ezt a hatását rövidesen elveszti. Ha ezután 50 percig újra besugározzuk, hímhatást kap, majd ezt is elveszti s inaktív végállapotba jut. A végállapotba jutott hatóanyag töményítése s színképi és élettani vizsgálata alapján kiderült, hogy a keresett gamón a cisz- és transzkrocetindimetieszter keveréke ($C_{22}H_{28}O_4$).

Ezen az alapon sikerült a viszonylagos ivariságot is kémiaiilag megalapozni. Ha t. i. a kezdeti és a végső inaktív gamónanyagot bizonyos arányban keverjük, hatására párosodás mutatkozik, pl. 3 rész kezdeti és 1 rész végső anyag keveréke nőgamónhatású. 1 rész kezdeti és 3 rész végső anyag keveréke pedig hímgamónhatású. További vizsgálatok kiderítették, hogy e tekintetben nyolcféle gaméta, vagyis nyolcféle gamónkeverék van, amelyekben a gamétákivonat cisz- és transzkrocetindimetieszter-helyettesítésével a keverési arányt is sikerült meghatározni. F-fel jelölve a nő és M-el a hím gamétát, számkitevőkkel a viszonylagos ivari fokot, a következő keveredési arány mutatkozik:

gaméták ivari fok szerint	F ⁴	F ³	F ²	F ¹	M ¹	M ²	M ³	M ⁴
cisz- és transzanyag viszonya	85/5	83/15	75/25	65/35	33/67	25/75	15/85	5/95

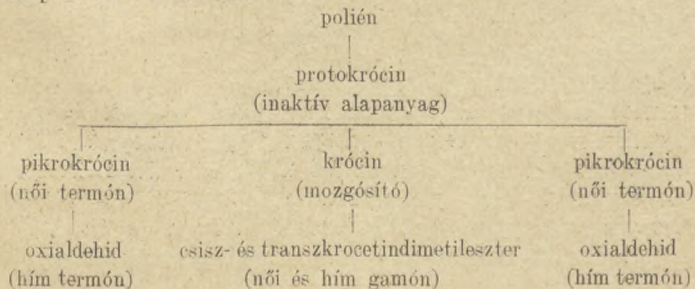
A csoportosulás és a párosodás akkor jön létre, ha a különbség a cisz-anyag viszonyában a cisz-anyaghoz és a transz-anyag viszonyában a transz-anyaghoz legalább 20. Ennél kisebb különbség akár az egyikben, akár a másikban nem vált ki gamónhatást, noha a gamónkeverék jelen van a gamétáktól kiválasztott anyagban.

E két hatóanyag kémiai meghatározása után került sor az ivardetermináló anyagok, a termónok elválasztására és meghatározására. A gaméták kivonataival végzett kísérletek folyamán kiderült, hogy a *Chlamydomonas eugametos* váltivarú változatának nőgamétáiból készült kivonat olyan anyagot tartalmaz, amely a vegyes ivarú változat gamétáit meg-

akadályozza abban, hogy mindkét ivar szerint megoszoljanak, mert minden gamétát nőgamétává determinál. Természetesen a hímgaméták kivonata hasonlóképpen hímgamétákat determinál. A váltivarú változat hím- és nőgamétáiból készült kivonatok vizsgálata arra az eredményre vezetett, hogy bizonyos karotinoidszármazékokkal helyettesíthetők. Ennek alapján sikerült megállapítani, hogy a női termón a pikrokrócin, a hím termón egy oxialdehid, a balraforgató 4-oxi-2.4.6-trimetil- Δ^1 -tetrahydrobenzaldehyd ($C_{10}H_{16}O_2$), amelynek gamétánként egy molekulája elég a hím ivarú meghatározásra.

Ezzel teljessé vált a *Chlamydomonas eugametos* ivari hormonjainak ismerete s lehetővé vált a moszat egész ivari hormonrendszerének kémiai helyettesítése. Ha az agartenyészetben inaktívvá vált hormonrendszert sugarakkal aktíváljuk, megindulnak a párosodási folyamatok, de ugyanezt elérhetjük a megfelelő kémiai anyagokkal sötétben. És a termónokkal, gamónokkal, mozgósítókkal a vegyes ivarú törzsek gamétái egyféle, vagyis váltivarúakká determinálhatók. E kis moszatra nézve tehát véglegesen megoldott probléma a gólya kormányzása.

A *Chlamydomonas eugametos* ivari hormonjainak kémiai ismerete egyszersmind arra is fényt derített, hogy ezek az anyagok együtt egy kémiai rendszerbe tartoznak, amelynek alapja az inaktív gamétákban feltételezett poliénszármazék, a protokrócin. Az aktív hormonok ebből a következőképpen származnak:



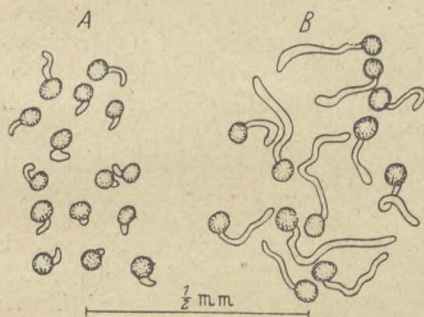
Az ismertetett ivari hormonokhoz hasonló hatású kivonatokat más moszatok gamétaiból is sikerült előállítani, sőt kétségtelen, hogy gamónok és termónok szerepelnek a gombák termékenyülési folyamataiban is. Ugyanez valószínű magasabb rendű növényekre nézve is. További kutatások számára tehát nagy tér nyílt a *Chlamydomonas eugametos* ivari hormonrendszerének feltárásával.

Természetesen a magasabb rendű növények ivari hormonrendszerét megfelelően bonyolultabbnak kell feltételeznünk. A porzók és a termők képződése, a hímpor és az embriózsák keletkezése és a bennük lejátszódó folyamatok épügy hormonok feltételezését kívánják meg, mint a termékenyülési folyamatok. E hormonokról azonban mindeddig szinte semmit sem tudunk. Csak egy irányban indultak kísérleti vizsgálatok, a magaterméketlen virágos növények megporzásában feltételezett g á t l ó h o r m ó n felkutatására. A magaterméketlenség gyakorlati tekintetben nagyon fontos probléma, megoldásától gyakorlatilag hasznosítható eredmények várhatók.

Jost már 1907-ben arra az eredményre jutott kísérletei révén, hogy a magaterméketlen növények termői hormonszerű gátlóanyagot termelnek, amely a pollertömlő kifejlődését akadályozza. *Correns* kimutatta, hogy a *Cardamine pratensis* gátlóanyaga már a bibén kifejti hatását a saját hímporra, rendes csírázását vagy teljesen megakadályozza, vagy legfeljebb satnya tömlő fejlődését engedi, amely nem juthat el a bibeszárba. *Sears* vizsgálatai szerint nem csírázik a saját hímpor a káposzta, retek, rozs és muskátli bibéjén sem. Sokkal több azonban az olyan magaterméketlen növény, amelynek saját hímpora tömlőt hajt ugyan a bibén, de a tömlő nagyon lassan nyúlik, majd csúcsa megdagad vagy felreped. Mindenesetre a petesejtet nem éri el, tehát a termékenyítés elmarad. Ilyen pl. a petúnia, *Nicotiana Sanderæ*, *Oenothera organensis* stb. Érdekes növény a *Gasteria verrucosa* f. *intermedia*, ennek saját hímpora u. i.

tömlőt hajt a saját bibén, sőt a tömlő eléri a petesejtet, egyesül is vele, de később a magkezdemények minden látható ok nélkül elpusztulnak.

Jost feltevését, hogy a magatermékletlenség gátló anyagra vezethető vissza, *Yasuda*, japán kutató, igazolta. Ismeretes, hogy a hímpor könnyen csírázik híg cukoroldaton. *Yasuda* a petúnia termőjének nedvét cukoroldatba keverte s az oldalra ugyanazon virág hímporát hintette. A saját hímpor nem, vagy csak esőkevényesen csírázott, ellenben az ellenőrző kísér-



24. kép. A magatermékletlen petúnia hímporának csírázása cukoroldatban, amelybe A saját, B más tő virágjában nőtt termőnedvét keverték (*Yasudanyomán*).

letben a más petúniatövekről szedett virágpor hosszú tömlőt hajtott (24. kép). Későbbi kísérleteivel azt is valószínűsítette, hogy a termő gátló anyaga a maglécében keletkezik s onnan vándorol a bibeszárba és a bibébe. Ismeretes, hogy kivételesen az öntermékletlen virágok is megtermékenyülhetnek saját hímporuktól. *Yasuda* kísérletekkel kiderítette, hogy ilyen esetben a gátló anyag képződése valamely külső ok, pl. hideg vagy szárazság következtében marad el.

Igen érdekes az a vizsgálati irány is, amely az elvirágzás jelenségeit igyekezik hatóanyagokkal megmagyarázni. Tudjuk, hogy a megtermékenyülést az

elvirágzás jelenségei követik, a viráglevelek elszáradása, lehullása, a termő kifejlődése, a gyümölcs érése. *Fitting* kimutatta, hogy forróövi kosborfélék himporából forró vízzel olyan hatóanyag vonható ki, amelynek oldata a bibére juttatva nyomban megindítja az elvirágzási jelenségeket.

Mindezek a vizsgálatok mutatják, hogy a magasabb rendű növények ivari hormonrendszer rendkívül bonyolult lehet, egyszersmind azonban azt is, hogy e téren a kutatások még csak a kezdet kezdetén vannak.

IV- Hormónok és gének.

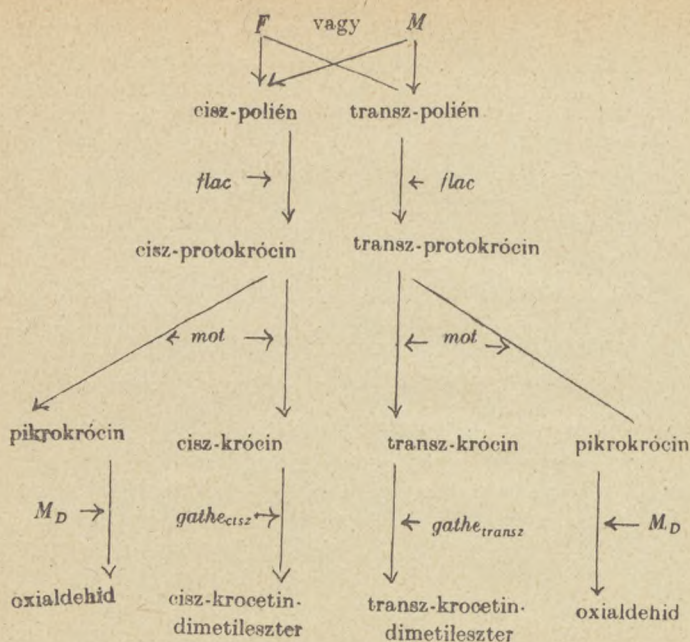
A növényi test alakító, szervképző hatóanyagai közül főntebb megismerkedtünk a hormónokkal. Tudjuk azonban, hogy a hormónok csak a legközvetlenebb hatóanyagok a szervképződésben, amelyek kivül alapvető fontosságú szerep jut az öröklött tulajdonságok hordozóinak, a géneknek is. Néhány hormont sikerült kémiaiilag is meghatározni, a gének kémiaiilag még most is ismeretlenek. Olyan benső alkotó részei a sejtmagnak, közelebbről a kromoszómáknak, amelyek képesek saját magukat anyagukban gyarapítani, ellenben a hatóanyagok a plazma termékei közé tartoznak.

Gének, enzimek és hormónok közt több esetben feltűnő kapcsolatot sikerült megállapítani. Ez irányban kétféle kutatások is folynak. Egyrészt igyekeznek megállapítani a gének hatását enzimekre és hormónokra, másrészt igyekeznek hormónok vagy enzimek hatását kimutatni génekre.

Gének hatását hormónokra ugyanúgy tanulmányozhatjuk, mint általában a génhatásokat, v. i. mutációk keresztezésével. A legszebb eredményeket e téren *Moewus* érte el a *Chlamydomonas eugametos* főntebb részletesen ismertetett ivari hormónjai génkapcsolatainak felderítésével. E moszat ivari hormónjainak kémiai kapcsolatait főntebb rendszerben is be-

mutattuk. *Moewus* a moszat mutációit is tanulmányozta. Mutációkat rádium- vagy röntgensugárzással, hőhatással és bromidokkal — dimetil-dodecylbenzil-ammoniumbromiddal és 1-dodecyl-3-etyl-benzotriazoliumbromiddal — sikerült létrehozni. A mutációk tanulmányának eredményeképpen a moszat ivari tulajdonságait négy génre, illetőleg génkomplexumra sikerült visszavezetnie. Az első az ivariságot realizáló *F* és *M* gén, v. i. a gaméták viszonylagos ivariságát okozó nyole módosulat: $F^4, F^3, F^2, F^1, M^1, M^2, M^3, M^4$. Második a mozgósítás génje, *mot*, ez intézi egyszersmind a női gaméták képződését is. Harmadik a hím-gaméták képződésének génje, M_D . Negyedik a párosodást előidéző és szabályozó génkomplexum, *gathe*-génnek.

Minthogy az ivari jelenségeket közvetlenül a *Chlamydomonas* ivari hormonjai idézik elő, nyilvánvaló, hogy a gének tulajdonképpen az ivari hormonok keletkezésének előidézői és szabályozói, amit különben a hiánymutációk kísérletileg is bebizonyítottak. Ez *Moewus* számára lehetővé tette, hogy a hormonok kémiai és a gének élettani kapcsolatait biológiai rendszerbe foglalja össze. A rendszer alapja az ivarokat meghatározó *F* és *M* gén, amelyek a gaméták aktiválódásakor cisz- és transzpoliénszintézist indítanak meg s egyszersmind a nyole módosulat szerint szabályozzák mennyiségüket. A polién genciobiózzal eszterizálódik a feltételezett alapanyaggá, protokrócinná. Ennek előidézésére külön gént kell feltételezni, *Moewus flac*-nak jelezte. Minthogy a protokrócin maga is feltételezett vegyület, e gént természetesen nem lehet kimutatni. A gének és hormonok további kapcsolata azonban kísérleti vizsgálatok eredménye. Együtt az egész biológiai rendszer a következő:



A hormónok és gének közé egyes esetekben *Moewus* és *Kuhn*-nak sikerült beiktatnia enzimeket. A megismert hormónok olyan kémiai származékok, amelyeket rendszeren enzimek hasítanak le. Pl. feltehető, hogy a protokrócint enzim hasítja krócinra és pikrokrócinra, de ez az enzim mindaddig nem mutatható ki, amíg a protokrócint nem sikerül elkülöníteni. Ellenben a pikrokrócin hasító enzimet kimutatták a hím gamétákban és tulajdonságait is megállapíthatták. Ez az enzim valószínűleg a sejtmagban székel, az *M_D* gén legközvetlenebb aktivátora. Természetesen a *gathe* gén is enzimmal dolgozik.

Mint látjuk, sikerült megállapítani bizonyos kapcsolatokat gének, enzimek és hormónok közt abban

az irányban, ahogy a gének hatnak a hormonokra. Ellenkező irányú hatásokat még nem bizonyíthatunk meggyőző példákkal. Egyelőre csak annyi tekinthető bizonyítottnak, hogy géntől függő hormonszerű anyagok hatása befolyásolhatja egymást. A növénytanban erre az öröklődő sárgatarkaság mutat példát. Sárgatarka mutációt figyeltek meg pl. a petúnián, paradicsomon. *Pirschle* egymásra oltotta a zöld és a sárgatarka petúniát, mire a zöld petúnia levelein sárga foltok jelentek meg. Ez ebben az esetben azt jelenti, hogy a sárgatarka mutáció géntől függő hormonszerű hatóanyaga győzedelmeskedett a zöld alak géntől függő hormonszerű hatóanyagán. Ilyen hatás eljuthat-e a génig, nem tudjuk. Annyi mindenesetre bizonyos, hogy anyagok is gyakorolhatnak befolyást a génekre, mint ezt éppen a *Chlamydomonas* példája bizonyítja, amelyen gén-mutációkat sikerült előidézni a fentebb említett bromidokkal.

A hatóanyagok megismert génkapcsolatai rendkívül fontosak biológiai tekintetben, e kapcsolatok alapján u. i. mélyen bepillantathatunk az élőlények legbelső, hajdan teljesen rejtett életfolyamataiba s szinte fizikai és kémiai szabályossággal feltárul előttünk az a sajátos szubcelluláris — vagy akár molekulárisnak nevezhető — életrendszer, amelyet *Jordan* a sejt kormányzati hierarchiájának nevez s amely összeköti a genotípust a fenotípussal, a parányok világát az alakok világával s elvezet a láthatatlan élettől a látható élőlényhez.

TÁRGYMUTATÓ:

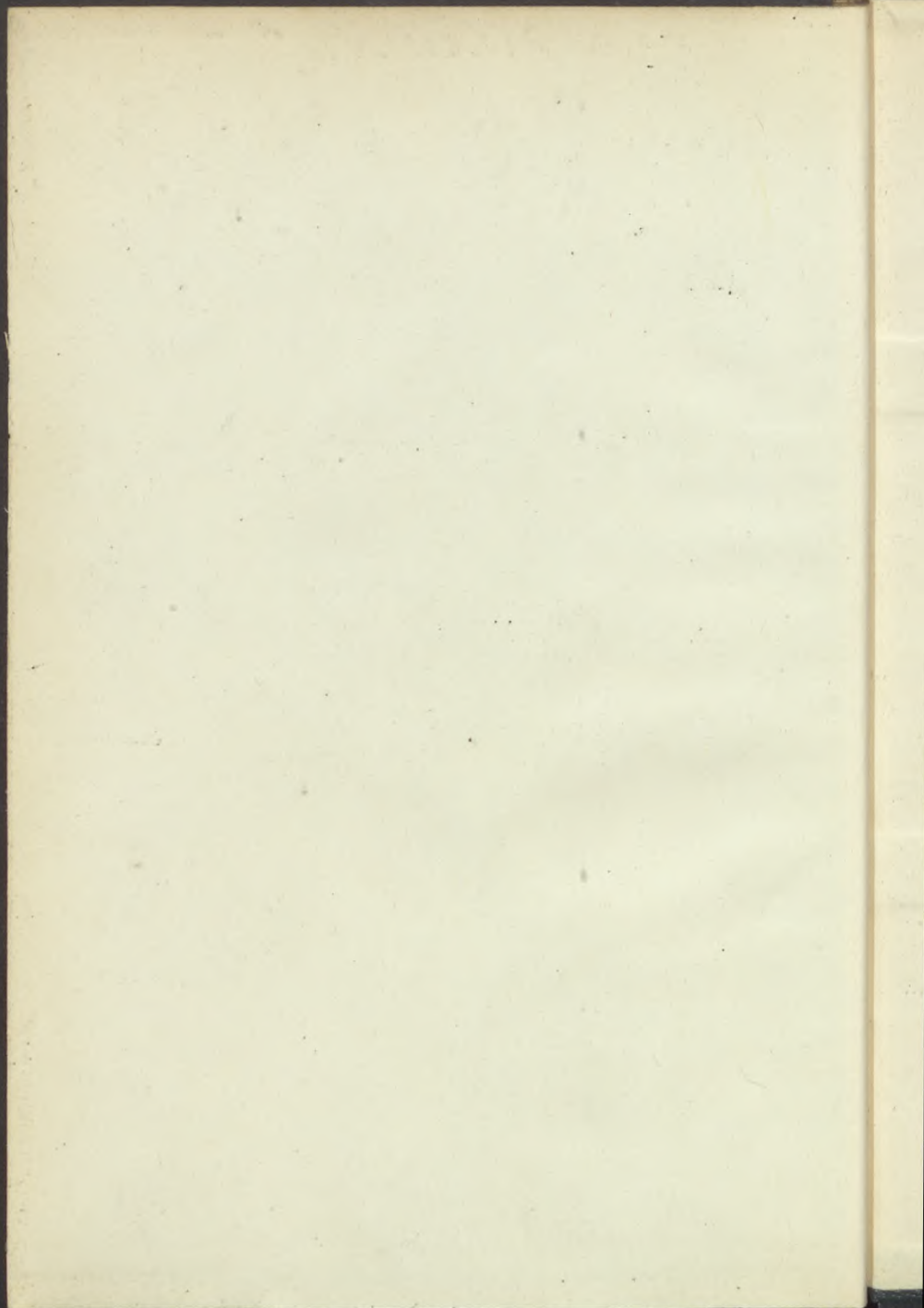
- acetilén 51
 adermin 15
 afrodiziákum 81
 alkaloidák 79
 alma 52, 55, 68
 — sav 69
 aneurin 9
 angolperje 58
 antokalin 74
 aszkorbinsav 16
 auxin 28, 70
 — kenőcs 30
 — kémiája 43
 — vándorlása 40
 A-vitamin 15
 avitaminózis 5, 8
 beléndek 77
 biosz 18
 bioszterol 20
 biotin 20
 bipolaritás 41
 blasztokolin 68
 borsó 14, 15, 17, 44, 51, 52,
 70, 71
 — teszt 28
 brenc-szőlősav 22
 bromid 91
 burgonya 30, 37, 54, 62, 81
 bükköny 51, 52
 B₁-vitamin 9
 B₂-vitamin 15
 B_c-vitamin 15
Chlamydomonas 84
 citromsav 69
 cukor 85
 C-vitamin 16
 csillagfűrt 56, 74
 csírafejlődés 47
 csírahüvely 27, 28
 csírázás 37, 47, 67
 — megindítása 69
 — gátló hormon 68
 determináció 69, 71
 együttélés 24
 elvirágzás 39
 enzim 3, 69, 92
 eozin 56
 epinasztia 35, 53
 etilén 50
 élesztőegység 21
 élősködés 24
 fagyöngy 68
 fahéjsav 46
 fenilecetsav 46
 fenotípus 93
 fényrehabilitáció 26, 33, 57
 fillokalin 74
 florigén 76
 fotoperiodizmus 74, 75
 fototropizmus 26
 füziké 37, 40
 gabonaszár 34
 gaméták 82, 84
 gamón 85
 genotípus 93
 geotropizmus 33, 39, 56
 gén 90
 gyökérképzés 49, 51
 gyökérnövekedés 38
 gyökértorzulás 57
 gyümölcsérlelés 53, 55
 gyümölcsfák magvai 68
 hajtás 37, 48
 hatóanyagok 3, 25
 heteroauxin 44
 — gyakorlati alkalmazásai 46
 hiponasztia 35
 hormon 5, 26
 hosszúnappalú 74, 75
 indolilecetsav 45
 indolilpropionsav 46
 indolilvajsav 46
 inger 27, 61
 ivari hormon 82
 kacsmozgás 34
 kalarábé 48, 62, 71
 kalciumnitrát 58
 kalin 69
 kallusz 49, 73

- karolinoidok 15
 karpokalin 79
 kauklokalin 70
 koenzim 4, 9, 14
 koleoptil 27
 koleopil 27
 korreláció 36
 krizantémum 49, 50, 76
 krocetindimetilester 86
 krócin 79, 85
 kukorica 21, 56
 — teszt 28, 32
 laktoflavin 15
 len 48, 56
 levélhullás 54
 levélmozgás 35, 60
 lóbab 39, 44
 lúcfenyő 36
 magaterméketlenség 88
 magvatlanság 48
 merisztin 62
 metaplazin 74
 mezinoinzitol 20
 micella 31
 mimóza 59, 60
 mozgósító 84
 naftilecetsav 46
 napraforgó 30, 44, 56, 81
 nervimóció 59
 nikotinsav 16
 növesztő 28
 növényharmónia 32
 nyújthatóság 31
 oltás 49
 organogén 69
 oxialdehid 87
 ősztron 81
 partenokarpia 48, 79
 párosodás 83
 pektin 69
 petúnia 89, 93
 pikrokrócin 79, 90
 pimelinsav 22
 pirimidin 12
 pitypang 42
 poliploidia 65
 pollengátló 88
 proauxin 41, 44
 progesztin 81
 propilén 51
 protokrócin 87
 pseudoauxin 44
 réznitrát 58
 rizokalin 70
 rizopin 22
 rövidnappalú 75
 sárgarépa 48, 71
 sárgatarkaság 93
 sebgyógyítás 49
 sebhormón 62
 sejtnövekedés 31, 51
 — gátlása 38, 52, 55
 sejtosztódás 40, 62
 szatellitizmus 23
 szárazanyag 8
 szeizmonasztia 59, 60
 szervképzés 25
 szénmonoxid 51
 szimbiózis 24
 szkototenin 44
 szövettényesztés 8, 63, 71, 72
 sztimulálás 47
 termón 86
 termoperiodizmus 77
 tetrabrómfluoreszcéinnátrium 56
 tiazol 12
 tirozin 62
 traumatin 63
 trágya 46
 turgor 61
 uracil 22
 vernalin 79
 vezérhajtás 36
 világítógáz 54
 virágképzés 75
 vitamin 4
 — autotróf 8
 — heterotróf 7
 — gátló hatása 13
 zab 28, 34, 48
 — egység 28, 32
 — teszt 28

TARTALOM.

	Oldal
I. <i>Az életjelenségek hatóanyagai</i> — — — —	3
II. <i>A növényi vitaminok</i> — — — —	7
1. Vizsgálati módszerek — — — —	7
2. Az aneurin — — — —	9
3. A többi vitamin — — — —	15
4. A biosz és a különleges növényi vitaminok	18
5. Különleges hatású tápanyagok — — —	22
6. A vitaminok törzsfajlódástani és szocio- lógiai szerepe — — — —	23
III. <i>A növényi hormonok</i> — — — —	25
1. A növény szervképző hatóanyagai — —	25
2. A sejtnövekedés hormonjai — — —	26
3. A turgorváltozás hormonjai — — —	59
4. A sejtosztódás hormonjai — — —	62
5. A csírázás hormonjai — — —	67
6. A differenciálódás hormonjai — — —	69
7. Az ivari hormonok — — — —	80
IV. <i>Hormonok és gének</i> — — — —	90
Tárgymutató — — — —	94





1942-MÁR. -1.

