



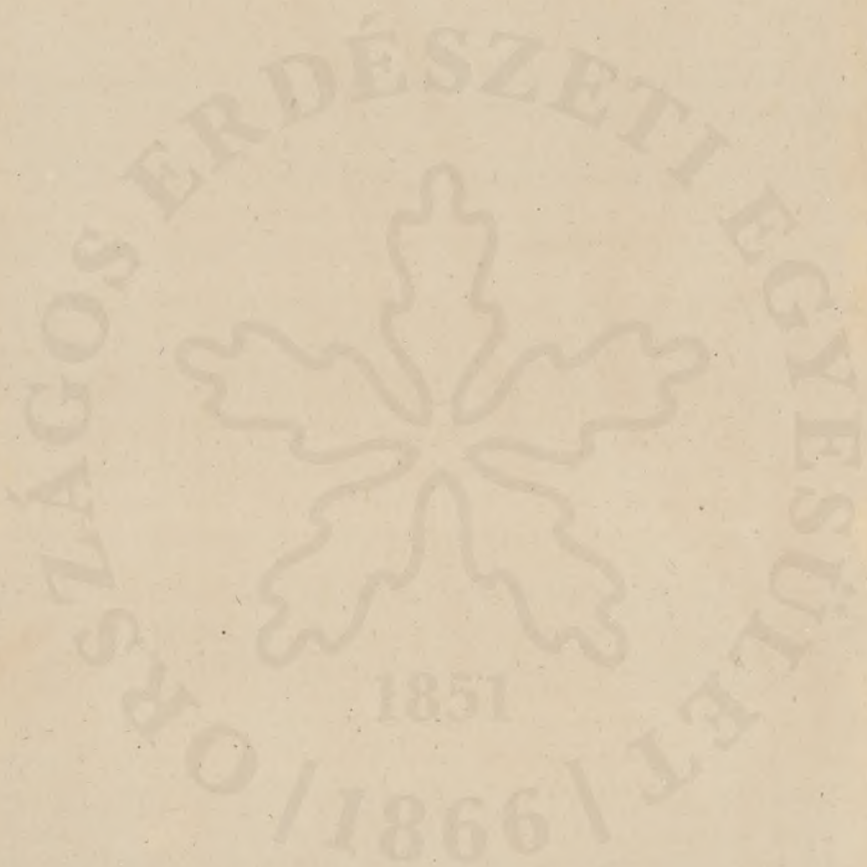


K. A. TYIMIRJAZEV

# A NÖVÉNY ÉLETE



MŰVELT NÉP KÖNYVKIADÓ



1821









K. A. TYIMIRJAZEV

# A NÖVÉNY ÉLETE

VÁLOGATOTT ELŐADÁSOK

OEE Könyvtár  
Áll.E.H. 2018



ORSZÁGOS ERDÉSZETI EGYESÜLET  
KÖNYVTÁRA.  
ÁK. 5885 tételsz.  
Csep. 2298 szám. 4/c



MŰVELT NÉP KÖNYVKIADÓ **ORSZÁGOS ERDÉSZETI EGYESÜLET**  
KÖNYVTÁRA

1951



*Az eredeti könyv címe.*  
ЖИЗНЬ РАСТЕНИЯ  
молодая гвардия — 1950

*Fordította:*  
PUSZTAI JÁNOSNÉ

*Szakmailag átnézte:*  
DR GYÓRFFY BARNA

Felelős kiadó : Lukács Ernőné  
Felelős szerkesztő : Balázs Sándor  
Műszaki felelős : Flórián László

Megjelent 6000 példányban

51-11655. Athenaeum (F. v. Soproni Béla)

## KLIMENT ARKAGYEVICS TYIMIRJAZEV

(Élete és munkássága)

**K**liment Arkagyevics Tyimirjazev, a nagy orosz tudós, 1843 június 3-án (május 22-én) született Pétervárott.

Ez az időpont I. Miklós cár uralmának sötét korszakára esett. Az önkényuralom üldözött és kegyetlenül büntetett mindent, ami haladást jelentett. A hóhér-cár kezeiről a dekabristák<sup>1</sup> vére csöpögött.

A Szenátus terén 1825 december 14-én lezajlott véres eseményeknek Tyimirjazev szülei szemtanúi voltak.

A Tyimirjazev-család feje, Arkagyij Szemjonovics, bár maga is ősi nemesi család sarja volt, szenvedélyesen gyűlölte a cárizmust. Amikor 1848-ban Arkagyij Szemjonovicsot megkérdezte egyik ismerőse: »Milyen pályafutást kíván négy fiának?« — habozás nélkül így felelt: »Milyen pályafutást? Hát majd varratok öt kék zubbonyt, olyant, amilyent a francia munkások viselnek, veszek öt puskát és indulunk a többiekkel a Téli Palota ellen...«

A Tyimirjazev-családban a szülők engesztelhetetlen gyűlöletet oltottak gyermekeikbe a társadalmi igazságtalanságok, az önkényuralom és az erőszak ellen. Szüleikhez intézett egyik levelében K. A. Tyimirjazev ezt írja: »Öntudatom ébredésének kezdetétől fogva, abban a sötét korszakban, amikor a költő szavai szerint „a szülői ház fedele alá nem juthatott egyetlenség tisztá, termékeny emberi mag sem“, ti szavaitokkal és példamutatástokkal határtalan szeretetet oltottatok belém az igazság iránt és izzó gyűlöletet minden hazugsággal, de kiváltképpen a társadalmi hazugságokkal szemben.« (Ajánlása a »Tudomány és demokrácia« című gyűjteményéhez.)

<sup>1</sup> Orosz nemesi forradalmárok, akik 1825 december 14-én először kísérelték meg nyílt fegyveres harcban a cári önkényuralom és a jobbágyrendszert megdöntését. A felkelést I. Miklós cár leverte, a vezetőket kivégeztette vagy Szibériába száműzte. A felkelés megbukott, mert elszigetelt katonai összeesküvéssel és nem a néptömegekre támaszkodva akarták a cári zsarnokságot megdönteni. — Szerk.

A. Sz. Tyimirjazevet ilyen gondolkodása miatt »megbízhatatlannak« és »szabadelvűnek« tartották. Ezért előbb a katonai szolgálatból, utóbb pedig vámigazgatói tisztségéből is eltávolították. A népes Tyimirjazev-család kenyér nélkül maradt.

Kliment Arkagyevics korán kenyérkeresethez fogott, ez azonban nem tántorította el attól, hogy tanuljon. Már gyermekkorában hozzászokott a könyvekhez. Az egyetemi beiratkozásig minden tudását otthon szerezte meg. A természettudományokban bátyja: Dmitrij Arkagyevics volt az első tanítója. Anyjától, Adelaida Klimentyevnától idegen nyelveket tanult.

Tyimirjazev 1861-ben beiratkozott a pétervári egyetem természettudományi karára. Úgy látszott, hogy az ifjú diák előtt kitérültek a tudomány kapui. Bármennyire is szerette azonban Tyimirjazev a tudományt, a legfontosabbnak polgári kötelességeit tartotta.

A 19. század hatvanas éveit Oroszországban a hűbériség felszámolásának korszakát jelentik. A cári Oroszország rátért a kapitalista fejlődés útjára. A földbirtokosok a végsőkig kizsákmányolták a hűbéres parasztságot. Az országban az osztályellentétek rendkívül kiélesedtek. A parasztlázadások és a hűbérurak elleni felkelések hulláma elhatalmasodott és miként V. I. Lenin írta: »a legóvatosabb és legjózanabb politikusnak is fel kellett volna ismernie a forradalom kitörésének teljes lehetőségét és a parasztlázadás igen komoly veszedelmét.«<sup>1</sup>

Ebben a talajban fejlődött ki az akkori idők orosz forradalmi gondolkodása és forradalmi öntudata. Megjelent az égbolton a forradalmi demokraták ragyogó plejádja<sup>2</sup>: Belinszkij, Herzen, Csernyisevszkij, Dobroljubov, Piszarev.

A parasztlázadásoktól megfélemlített cári kormány a krími háborúban elszenvedett vereség után kénytelen volt »a hűbéri jog megszüntetéséről« szóló kiáltványát kibocsátani. Ez azonban valójában keveset változtatott a dolgozó parasztság sorsán: »Igy a paraszt helyzete majdnem ugyanolyan maradt, mint amilyen a jobbágyság idején volt, mindössze azzal a különbséggel, hogy most a paraszt személyében szabad volt, nem lehetett eladni vagy megvenni, mint valami tárgyat.«<sup>3</sup> V. I. Lenin rámutatott arra, hogy »a parasztokat Oroszországban maguk a földbirtokosok, az önkényuralmú cár földesúri kormánya és hivatalnokai „szaba-

<sup>1</sup> Lenin Művei, V. kötet, 27. old. (oroszul).

<sup>2</sup> Plejád, a fiastyúk csillagkép görögös neve — bizonyos vonatkozásban kiváló személyek csoportja, kiket tevékenységükben közös feladatok, nézetek vezetnek. — Ford.

<sup>3</sup> A SZK(b)P története. Szikra 1951. 8. old.

díttották“ fel. És ezek a „felszabadítók“ úgy intézték a dolgot, hogy a parasztok megkopasztva, koldusszegényen nyerték vissza „szabadságukat“, a földesurak rabságából kikerülve ugyanezeknek a földesuraknak és bérenceiknek szolgaságába jutottak.<sup>1</sup>

Ebben az időszakban a forradalmi hangulat keresztülhatolt az iskolák falain is. A haladó szellemű ifjúság elmélyedt a forradalmi demokraták műveinek olvasásában és arra törekedett, hogy az önkényuralom és a hűbériség ellen folyó harcban közvetlenül résztvehesen. A diákok mozgalma meghódítja a pétervári egyetemet is.

A cári kormány 1862-ben azt követelte a diákságtól, hogy tartsa távol magát a fennálló rend ellen irányuló »társadalmi zavarásoktól«. A diákoknak aláírásukkal (az ú. n. »anyakönyvekkel«) kellett engedelmességet fogadniok.

A cári kormánynak ez a rendelkezése újabb forrongást keltett a tanuló ifjúság körében. A haladó ifjúság nyíltan tiltakozott a rendőri intézkedések ellen. A pétervári egyetemet bezárták. A továbbtanulást csak azoknak engedték meg, akik aláírták a hírhedt »anyakönyvet«. Az »engedetlenkedő« diákok egy részét a rendőrségre idézték, hogy ott »jótanácsokkal lássák el« és »jobb belátásra bírják«. Tyimirjazev is idézést kapott bátyjával, Vaszilij Arkagyevicssel együtt, aki szintén egyetemi hallgató volt. A két Tyimirjazevre a fenyegetések nem voltak hatással. Tyimirjazev a diákság színe-javával együtt kénytelen volt az egyetemet elhagyni, hogy tiltakozzon a rendőri önkény ellen.

Azt, hogy mit érzett ekkor Kliment Arkagyevics, negyven évvel később elmondott szavai jellemzik: »A tudomány számomra mindent jelentett. Ebbe az érzésbe nem vegyült semmiféle karriervágy. Nem mintha különösen kedvezők lettek volna anyagi viszonyaim — valóban nem voltak azok, hiszen magam kerestem a kenyereket — hanem egyszerűen azért, mert a karrier, a jövő képe nem fordult meg a fejemben: ehhez túl sok volt a jelenből bennem. És egyszerre kitört a vihar a rossz emlékezetű Putjatyin miniszter miatt, a hírhedt anyakönyvek körül. Választanunk kellett: elfogadjuk-e az új rendőri rendet, vagy örökre lemondunk az egyetemről, sőt talán a tudományról is. És ezrével voltunk, akik nem haboztunk, amikor választani kellett. Természetesen nem valami anyakönyvről, hanem a meggyőződésünkről, vagyis arról volt szó, hogy a magunk szerény részével hozzájárulunk a közös üggyhöz, szembefordulunk a reakció első viharával — mert hittük, hogy szegyeteljes dolog lenne, ha megadnók magunkat ennek a reakciónak.«

<sup>1</sup> Lenín: Az agrárkérdésről. II. kötet. Szikra 1950. 107. old.

Ez volt az ifjú Tyimirjazev első komoly próbatétele. Az ifjú ezt a próbát becsülettel állotta ki.

Tyimirjazev még aggastyán korában is büszkén emlékezett ifjú korának erre a lépésére : »A tudomány nem hagyott el — mert a tudomány sohasem hagyja el azt, aki önzetlenül és őszintén szereti — s hová fejlődött volna erkölcsi jellemem, ha nem álltam volna ki az első próbát, ha az első erkölcsi küzdelmet megalkuvással végeztem volna. Vigasztalhatott volna-e engem is az a tudat, hogy a kémiai előadások hallgatásával „népemet szolgálom“? Nem, ez nem adott volna megnyugvást.«

1863-ban Tyimirjazev sok nehézség leküzdése árán visszatérhetett az egyetemre, de csak mint rendkívüli hallgató. Minden szenvedélyével a tudomány felé fordult. Bár súlyos anyagi nélkülözések és állandó megélhetési gondok között élt, Kliment Arkagyevics kitűnő eredménnyel tanult és ragyogó képességeket árult el.

Tyimirjazev olvasottsága és műveltsége mindenkit meglepett. Már ezekben az években is kitűnik tehetsége a haladó tudományos ismeretek népszerűsítése és terjesztése terén. Ennek a korszaknak haladó szellemű folyóiratában, a »Hazai jegyzetek«-ben Kliment Arkagyevics 1864-ben cikksorozatot közöl a darwinizmusról. Cikkei egy év múlva könyvalakban is megjelennek: „Darwin elméletének rövid vázlata“ címen. Ezt a munkát később többször újra kiadják »Charles Darwin és tanítása« cím alatt. Ezzel kezdte el Tyimirjazev harcát a darwinizmusért, a materialista eszmékért a biológiában. Ezt a harcot szenvedélyesen és megalkuvás nélkül vívta egész életén keresztül.

Ugyanez a folyóirat közölte Tyimirjazev publicisztikai tanulmányait is : Garibaldiról, az olasz forradalmárról (»Garibaldi Caprerán«), az éhínségről Anglia nagy ipari központjában (»Éhség Lancashire-ben«).

Tyimirjazev tudományos érdeklődése korán kialakult. A haladó szellemű orosz tudósok hatása alatt fejlődött. Tyimirjazev kortársa és fegyvertársa volt ezeknek a tudósoknak. Közülük legkimagaslóbbak : D. I. Mengyelejev, I. I. Mecsnjov, a Kovalevszkij-fivérek, I. M. Szecsenov. Ezek nemcsak az orosz tudománynak voltak díszei, de a világ tudományos életében az orosz tudománynak élenjáró, vezető szerepet biztosítottak. Meg kell jegyezni, hogy a 19. század hatvanas éveinek orosz természettudománya eszmei tekintetben szorosán beilleszkedett a materialista filozófiába.

Erönket és tudásunkat a nép szolgálatába állítani : ebben látta meg az ifjú Tyimirjazev kötelességét a társadalommal szemben. »Tudományszakomnak, a növényélettannak megválasztásában — írta Tyimirjazev — bizonyos mértékig ennek a szaknak a föld-

műveléshez való viszonya is vezetett; „A tudomány feladata, hogy a földműves munkáját termelékenyebbé tegye“ — így hangzik ennek a viszonyoknak egyszerű meghatározása. »

Ebből is láthatjuk, hogy Kliment Arkagyevicsben már tudományos munkásságának kezdetén megvan a haladó tudós legértékesebb tulajdonsága: az elmélet és gyakorlat egyesítésére irányuló törekvés.

Kliment Arkagyevics 1866-ban kitűnő sikerrel befejezi egyetemi tanulmányait. Eléri a tudomány kandidátusának fokozatát és a »Májmhokról« szóló tudományos kutató munkáját az aranyérem odaítélésével jutalmazták.

Kliment Arkagyevics hálaival és különös melegséggel emlékezik meg néhány tanítómesteréről és egyetemi tanáráról, így elsősorban D. I. Mengyelejevéről, a kémia haladó szellemű nagy tudósáról, A. N. Beketov botanikusról,<sup>1</sup> Sz. Sz. Kutorg zoológus-paleontológusról,<sup>2</sup> és a többiekéről; Kutorg előadásában hallott Tyimirjazevel először Ch. Darwin könyveiről, »A fajok eredete természetes kiválasztódás útján« és a többiekéről.

A tehetséges hallgató magára vonta D. I. Mengyelejev figyelmét. Mihelyt Tyimirjazev az egyetemi tanfolyamot befejezte, D. I. Mengyelejev rávette, hogy szervezzen és végezzen természetfokozó mezőgazdasági kísérleteket ásványi trágyákkal; ez az első ilyen irányú kísérlet volt Oroszországban. Ezek a tudósok, akiknek a leghőbb vágyuk az volt, hogy a földműves munkáját megkönnyítsék, nem tehetnek arról, hogy kísérleteik nem jártak a kívánt eredménnyel. A cári földbirtokos Oroszország körülményei között az eredmények nem könnyíthettek a dolgozó parasztság nehéz sorsán.

1867-ben Tyimirjazev megismeri Marx lángeszű alkotását: A tőkét. Ez az írás döntő hatású volt az ifjú tudós világnézetének kialakulására. A könyv elolvasása kitörölhetetlen nyomot hagyott Tyimirjazev emlékezetében. Erre gondol vissza 1920-ban megjelent »Ch. Darwin és K. Marx« című cikkében.

Az egyetem befejezése után két év múlva Tyimirjazev az orosz természettudósok és orvosok első kongresszusán tudományos beszámolót tartott. »Kísérleti készülék a levelek levegővel való táplálkozásának megfigyeléséhez és mesterséges világítás alkalmazása az ilyen kísérletek végzésénél« címen. A beszámolónak nagy sikere volt. Egy évvel később, 1869-ben megjelent Tyimirjazev újabb munkája: »A különböző törésű fénysugarak jelentősége

<sup>1</sup> Növénytanal foglalkozó tudós. — Szerk.

<sup>2</sup> Állattannal; a régi földtani korszakok állataival és növényeivel foglalkozó tudós. — Szerk.

a növények szénsavbontó folyamatában». Tyimirjaveznek; a tehetséges ifjú tudósnek a neve széles körben ismertté vált.

Klíment Arkagyevicsnek ezek a munkái adták meg az alapot ahhoz a sokéves kutatáshoz, amely a természetben végbemenő egyik legfontosabb folyamatnak, annak a folyamatnak felderítésére irányult, hogy miként keletkeznek ásványi anyagokból a Nap energiájának közreműködésével növényi szerves anyagok.

1868 és 1870 között Tyimirjavez külföldön járt kiküldetésben. Megismerkedett a fizika, a kémia és a biológia legnagyobb nyugat-európai tudósainak munkásságával. Figyelme elsősorban Kirchhoff és Bunsen spektrálanalitikai<sup>1</sup> munkáira irányult. Németországból Svájcba, majd Franciaországba utazott. Összeköttetésbe lépett az orosz forradalmi emigrációval. Reménykedett, hogy személyesen megismerkedhetik A. I. Herzenrel is. »Szinte gyermekkorom óta tiszteltem „Ki a bűnös?“ szerzőjét és viharos diákesztendőim alatt titokban olvastam a „Harangot“.«

A »Harang« szerzőjével azonban Tyimirjaveznek nem sikerült találkoznia. Rövidesen közölték az újságok A. I. Herzen halálának hírért.

Külföldi útja után, 1870-ben meghívták a petrovszki Mezőgazdasági Akadémiára (jelenleg a Szovjetunió Lenin-renddel kitüntetett Tyimirjavevről elnevezett Mezőgazdasági Akadémiája) a növénytan előadójának. 1871-ben megvédi magiszteri disszertációját, amelynek tárgya »A klorofill spektrálanalízise«, az Akadémia pedig rendkívüli tanárának hívja meg. Négy év múlva doktori fokozatot nyer el a növények fényelnyeléséről szóló klasszikus kutatásaiért. Ezt követően az Akadémia renes tanárává választja. 1877-ben elfoglalja a moszkvai Egyetemen a növényanatómiai és fiziológiai tanszéket.

Igy kezdődött meg az ország két legnagyobb iskolai és tudományos központjában a nagytehetségű orosz tudós ragyogó tanári-előadói munkásságának sokéves korszaka. Tyimirjavez, mint tanár hamarosan a diákság lángoló szeretetét vívta ki. Előadásainak tartalma mélyen tudományos, formája világos volt. Szenvedélyesen hirdette és védelmezte a biológiában a materializmus eszméjét, elsősorban a darwinizmust.

Tyimirjavez megértette, hogy a tudomány és a kultúra különféle áramlatai az osztályharccal szoros összefüggésben vannak és ennek az osztályharcnak az eredményei. Éppen ezért előadásai során nemcsak a tudományban harcolt az idealizmus és a metafizika

<sup>1</sup> Spektrálanalízis a testek összetételének meghatározása, színeképek (spektrumok) tanulmányozása útján. — Szerk.

ellen, hanem ugyanakkor tüzes és bátor hangon szólalt fel a szociális igazságtalanságok ellen, a szabadság és a demokrácia védelmében.

A forradalmi hangulatú diákság Tyimirjazevben együttérzést és erkölcsi támogatást talált; bátor harcost látott benne, aki küzd a reakció ellen. Ez a magyarázata annak, hogy Kliment Arkagyevics miért volt annyira népszerű a diákság és az előadó tanári kar haladó részének körében.



K. A. Tyimirjazev a petrovszki Akadémia  
(ma Tyimirjazev Akadémia) erdei üdülőjében  
(1896)

A 19. század hetvenes éveiben a petrovszki Akadémián tanult az egyik haladó orosz író is, Vlagyimir Galaktionovics Korolenko. Forradalmi magatartása miatt sok diáktársával együtt kizárták az Akadémiáról. 1913-ban V. G. Korolenko ezt írta Tyimirjazevnek: »...Mi, tanítványai, megszerettük és tiszteltük Önt akkor, amikor vitatkozott velünk, amikor arra tanított minket,



hogy szentségnek tarttuk az értelmet; végül pedig akkor, amikor bennünket, három letartóztatott diákját meglátogatott s aztán, amikor behallatszott hozzánk a teremből, ahol a tanács Livennel ülésezett, az Ön érces, becsületes hangja. Akkor nem tudtuk, hogy Ön volt az, aki beszélt, de azt tudtuk, hogy az a jobb valami, ami felé akkor bizonytalanul és szomorúan vágyakoztunk, az szólalt meg az Ön lelkében is, más, érettebb alakban.»

Ezek után nem meglepő, ha a cár szatrapáinak szemében Tyimirjavezet »megbízhatatlan«, »vörös« tanár volt. A reakció egyik cinkosa, Mescserszkij herceg dühösen így írt: »Tyimirjavezet, a petrovszki Akadémia tanára államköltségen keleti ki az istent a természetből«. A mescserszkijek csak a kellő pillanatra vártak, hogy leszámolhassanak a haladó szellemű tudóssal. Hamarosan meg is tették a lépéseket, hogy Kliment Arkagyevics — szavaikkal élve — »ne fertőzze tovább a petrovszki Akadémiát káros jelenlétével«. Amikor 1892-ben átszervezték az Akadémiát Mezőgazdasági Intézetté, már »nem találtak helyet« Tyimirjavezet számára. Több mint húsz esztendei munkája után az Akadémián »létszámfeletti« találták.

Kliment Arkagyevics munkássága és gondolkodásmódja miatt ugyanígy üldözte a reakció a moszkvai Egyetem falai között is.

1898-ban Tyimirjavezetet kirekesztették az állami egyetemi tanárok testületéből, ezúttal »szolgálati éveinek betöltése« címén. Azt azonban a cári kormányzat sem mert megkockáztatni, hogy teljesen elűzze Tyimirjavezetet az egyetemről; ehhez túlságosan népszerű volt a tudós. Így Kliment Arkagyevics tovább végezte munkáját az egyetemen mint magántanár.

1901-ben erős diákmegmozdulások lángoltak fel a cári kormány megtorló rendőri intézkedései miatt. Az úgynevezett »Ideiglenes szabályok« alapján a kievi Egyetem 183 hallgatóját besorozták katonának az önkényuralommal való szembehelyezkedésük miatt.

V. I. Lenin »183 diák besorozása katonának« című cikkében ezt írta: »Művelt osztályaink legjobb képviselői bebizonyították, és a kormány által halálra kínzott forradalmárok ezreinek vérével pecsételték meg, hogy képesek és készek lerázni magukról a burzsoá társadalom salakját s készek együtt menni a szocialistákkal. És az a munkás, aki közönyösen tudja nézni, hogy a kormány katonaságot küld a tanuló ifjúság ellen, méltatlan a szocialista névre. A diák segítségére volt a munkásnak — a munkásnak a diák segítségére kell sietni. A kormány el akarja bolondítani a népet, mikor a politikai tiltakozásra irányuló törekvést egyszerűen garázdálkodásnak nyilvánítja. A munkásoknak nyilvánosan meg kell mondaniok és meg kell magyarázniok a nagy tömegeknek, hogy ez — hazug-

ság, hogy az erőszak, a garázdálkodás és zabolátlanság fészke — az orosz önkényuralmi kormány, a rendőrség és a hivatalnokok önkényuralma.<sup>1</sup>

Az önkényuralom bátor ellenfele, Tyimirjazev azt javasolta az egyetem tanácsának, hogy követelje ezeknek a »szabályoknak« a megszüntetését. Tyimirjazevnek ezt a javaslatát nem fogadták el. A tanács azt határozta el, hogy a diáksághoz felhívást intéz a »zavargások megszüntetésére«. Tyimirjazev kereken visszautasította, hogy ezt az iratot aláírja; emiatt a miniszter megróttá. Tiltakozása jeléül Kliment Arkagyevics bejelentette, hogy távozik az egyetemenről. Ezt az elhatározását csupán a diákok és tanártársai haladó részének kitartó kéréseire változtatta meg s maradt az egyetemen.

Tyimirjazev valóban megértette ezeknek az eseményeknek politikai jelentőségét. Így írt: »Belenyugodhattam volna a méltánytalan sérelembe, hogy ne okozzak személyemmel bonyódatmat annak az intézménynek egyébként is nyugtalan életében, amelynek szolgálatában életem javát töltöttem. „Rendreutasításomban“ azonban többet látok, mint egyszerű sérelmet. Annak kategórikus kinyilvánítását látom, hogy feljebbvalóim, akiknek alá vagyok rendelve, *jogot formálnak lelkiismeretemre is.*«

Az örvendező reménykedés szavaival fogadja 1904-ben a forradalom közeledő viharát: »Az orosz társadalom hosszú álom és dermedtség után, mintha felriadt volna, újra feltáruznak előtte a jövő széles távlatai, újra éled a remény, hogy visszatér a felszabadító mozgalom...« »A lelkiismereti szabadság, a szólás- és gyülekezési szabadság, az egyén alapjogainak biztosítása, mindez a szabad népképviselő védelme alatt — véssük naponta emlékezetünkbe ezeket az alapelveket, amelyek nélkül egyetlen civilizált ország polgára sem képzelheti el békés, rendes boldogulását.«

A »Véres Vasárnap«<sup>2</sup> előestéjén, 1905 január 9-én írt publicisztikai cikkét Tyimirjazev ezekkel a szavakkal fejezi be: »Kívánom, hogy ... az orosz nép legyen sorsának szabad ura ...«

Tyimirjazev harca a tudomány haladásáért természetesen az elnyomott osztályok általános politikai harcaival, a szociáldemo-

<sup>1</sup> Lenin—Sztálin: Az ifjúságról. Szikra 1950. 14—15. old.

<sup>2</sup> 1905 jan. 9-én a pétervári munkások családjakkal, gyermekeikkel együtt a Téli Palota elé vonultak, cári arcképeket és templomi zászlókat vittek. A munkások nagy többsége hitt abban, hogy a cár segít rajtuk, ezért petíciót (kérvényt) készítettek, s ebben kérték helyzetük javítását. A cár ellenségesen fogadta a fegyvertelen munkásokat, közejük lövetett. Ezernél több munkás halt meg, sok volt a sebesült is. Az utcákat munkásvér öntözte. Január 9-ét »Véres Vasárnap«-nak nevezték el. Bővebben lásd: SZK(b)P története. Szikra, 1951. 6. kiadás. III. fejezet, 69—72. oldal. — Szerk.

krata munkásmozgalommal kapcsolódik egybe. Az 1905. évi forradalom, a munkásosztály harca egyre közelebb hozták Tyimirjazevet a Bolsevik Párt jelszavaihoz és eszméihez, a leninizmushoz.

»Az 1905-ös forradalom veresége bomlást és züllést idézett elő a forradalom „útitársai“ körében. A bomlás és a dekadencia különösen az értelmiség körében erősödött.«<sup>1</sup>

Ezekben az években Tyimirjazev mind jobban és jobban elfogadja a proletár világnézetet, tanulmányozza Marx, Engels és Lenin műveit.

1911-ben Kasszo, a legreakciósabb cári miniszter a moszkvai Egyetemre zúdítja a politikai megtorlást. Az Egyetem 124 tanár és előadó elbocsátására kényszerül. Ezek között van Tyimirjazev is.

Tyimirjazevet, a kitűnő botanikust a cambridge-i, a glasgowi és genfi egyetemek tiszteleti doktorukká fogadták. Tagja volt a londoni Királyi Társaságnak, valamint a manchesteri és edinburgi Botanikus Társaságnak. A nemzetközi tudomány tisztelettel adózott a lángeszű orosz tudósnak. Az oroszországi cári Tudományos Akadémia azonban nem választotta tagjává Tyimirjazevet. Ő is osztozott a többi lángeszű orosz, D. I. Mengyelejev, I. I. Mecsnyikov, M. Gorkij, I. V. Micsurin, K. E. Ciolkovszkij sorsában... Ezek előtt a cári Akadémia kapui zárva maradtak. Viszont az orosz tudomány valódi képviselői, így például I. P. Pavlov, nagyra tartották kitűnő kortársukat.

Kliment Arkagyevics erősen hitt a jobb jövőben, hitt a haladó erők győzelmében. »A világraszóló harcban — írta 1913-ban — amely az emberiség előrenéző része és a végzetes módon hátrafelé tekintő része között ki fog alakulni, az első tábor zászlaját majd ezek a szavak ékesítik: „Tudomány és demokrácia. Ezzel győzünk!“«

Tyimirjazev haraggal fordult az 1914—18. évi imperialista háború ellen. Ellensége volt mindenféle burzsoáziának — akár orosz, akár külföldi volt az — s így megértette, hogy a kapitalista rendszer elkerülhetetlenül imperialista háborúkat szül.

Kliment Arkagyevics nagy örömmel fogadta az önkényuralom megdöntésének hírért. Csakhamar meggyőződött azonban arról, hogy a februári burzsoá demokratikus forradalom nem váltotta be a nép reményégeit. A hatalom a burzsoázia kezébe került. Az 1917. évi eseményeket az ország sorsáért érzett mély aggodalommal figyelte. Makszim Gorkijhoz intézett leveleiben így nyilatkozik Kerenszkij ideiglenes kormányáról és annak imperialista politikájáról: »Újra és újra Nyekraszovot kell ismételnem: „voltak nehezebb idők is, de aljasabbak nem...“ Úgy látszik, hogy az egész vonalon

<sup>1</sup> A SZK(b)P története. Szikra 1951. 123. old.

a hitványok diadalmaskodnak : s ha ma még nem, akkor holnap a Kornijilovok, a Miljukovok, Dardanelszkijek, a Rodzianko-féle fatuskók helyreállítják a Sztolipin-féle „nyugalmat“ vagy valami annál is rosszabbat.»

Tyimirjavez meglátta az elnyomottak és elnyomók között a kérérlhetetlen osztályharcot : »Kibontja-e az emberiség a dicsőséges vörös lobogót vagy sikerül a „vörös rongy“ örült és gyáva ellenségeinek, hogy újra belerántsák azt az általuk kiöntözött vér pocsolójába? Felcsendül-e a szabadság és az egész világ békéjének diadalmi éneke, vagy elfojtja azt a háborús uszítók vad ordítása : Vért ! Vért ! Friss vért ! Ez itt a kérdés.»

1917 júniusában Tyimirjavez felhívást bocsát ki, hogy a nép álljon a vörös zászló alá : »Ébredjetek népek, számoljatok le elnyomóitokkal s ha leszámoltatok, ragadjátok vissza szemérmetlenül elrabolt szent jogaitokat : az élethez, a munkához, a világossághoz és mindenekfelett a szabadsághoz való jogaitokat s akkor majd megvalósul a földön az ész és az igazság, a teremtő munka és gyümölcseinek tisztességes elosztása.»

És íme, ekkor eljött a Nagy Október ! A tudós álmai valóra váltak : új, szabad élet hajnala kezdett pirkadni. A nagy vezérek : V. I. Lenin és I. V. Sztálin vezetésével a Bolsevik Párt, a szegény-parasztsággal szövetkezett proletariátus kezébe vette a hatalmat. A tudós forradalmár, aki egész életét a szabadság és az igazság, a tudomány és a demokrácia szolgálatába állította, a forradalom első napjától kezdve a kommunizmus aktív építőinek sorába lép. Szenvedélyesen szólít mindenkit harcra a Szovjet Köztársaság ellenségei, az intervenció és az ellenforradalom ellen. A világ népeire fordul, hogy kövessék Oroszország népeinek nagy példáját, »A leigázott népekre — amelyekben nem homályosult el a rabság szegényének tudata — hárul az a legsúlyosabb kötelesség, hogy addig harcoljanak rabszolgatartóik ellen, amíg le nem győzik azokat... Az orosz népnek jutott osztályrészül, hogy ezt a történelmi feladatot olyan szörnyű körülmények között teljesítse, amilyent a világ egyetlen népe sem élt át . . . A pusztulás szélére taszított, vértől borított orosz népnek mégis volt ereje ahhoz, hogy történelmi feladatát teljesítse.»

Tyimirjavez leleplezi az ellenforradalmi tábornak a bolsevikokra szórt ellenséges rágalmaikat. »Egy orosz szava egy angolhoz az intervencióról« című 1919-ben írt cikkében ilyen messzehangzó szavakat olvashatunk : »... minden elfogulatlan orosz embernek el kell ismernie, hogy Oroszország ezeréves fennállása alatt nem találkozott vezetőinek soraiban annyi becsületesség, bölcsesség, tudás, tehetség és népünkkel szemben annyi odaadás, mint a bolsevikok soraiban.»

Tyimirjavez, miután boldogan számba vette a Szovjet Köztársaságnak a kultúra és a tudomány területén tett első intézkedéseit és eredményeit. Ezt mondta: »Összegezzük ezeket az eredményeket és utána értékeljük érdemük szerint azokat az arcátlan rágalmakat, amelyeket az egész világ megfizetett sajtója terjeszt a bolsevikok vandalizmusáról. A különféle színárnyalatú imperialisták, akik rabló, támadó hadjáratokat vezetnek, akik az emberi vért aranyra váltják, — ezek az igazi vandálok. A Churchill—Dardanelszikijek, a Lloyd George-ok, a Szovjetek országa elleni intervenció sugalmazói és megszervezői: ezek a vandálok.« Így írt az orosz tudós. Szenvedélyes hírlapi cikkeivel segített a Szovjet Köztársaságnak az ellenséggel vívott harcában.

1920-ban a moszkvai munkások megválasztották Kliment Arkagyevics Tyimirjavezt a Munkások, Parasztok és Vöröskatonák küldötteinek Szovjetjébe. A nép ezzel kifejezte a tudós hazafival szemben nagy bizalmát és elismerte érdemeit a Szovjet Haza körül.

Tyimirjavez válaszul megírja híres üdvözlő levelét a »Moszkvai Szovjethoz«.<sup>1</sup>

Kliment Arkagyevics önzetlenül munkálkodik a Szovjet Haza jólétében, noha betegsége kezét, lábát megbénítja. Tyimirjavez munkássága rendkívül sokoldalú. Tevékenyen működik a Moszkvai Szovjet mezőgazdasági osztályán, foglalkozik az Oktatásügyi Népbiztosság népművelésügyi kérdéseivel. Tagja az Állami Tanácsnak. Időszerű, szellemes hírlapi cikkeket ír a szovjet hatalom érdekében (»Vörös zászló«, »Byron jóslata Moszkváról« stb.).

Ugyanakkor Kliment Arkagyevics sajtó alá készíti könyveit: »Történelmi módszer a biológiában«, »A nap, az élet és a klorofill«, »Tudomány és demokrácia« című műveit. A »Tudomány és demokrácia« egyik példányát megküldte Leninnek.

Az az út, amelyen Tyimirjavez járt, szükségképpen és természetes módon a szovjethatalom lelkes hívei, Lenin—Sztálin pártjának harcosai közé vezette őt.

A betegség teljesen aláásta a harcos-tudós egészségét. Utolsó gondolataival a Bolsevik Párt és annak lángeszű vezére, Lenin felé fordult.

Nem sokkal halála előtt ezt mondta kommunista orvosának: »... Hitem és meggyőződése, hogy a leninizmust megvalósító bolsevikok a nép boldogságáért dolgoznak és megszerzik neki a boldogságot. Mindig Önöké és Önökkel voltam.«

Kliment Arkagyevics nem sokkal a halála előtt forró szeretettel és figyelemmel teljes levelet kapott Vlagyimir Iljicsztől.

<sup>1</sup> Az üdvözlő levelet könyvünk 31. oldalán közöljük.

»Nagyon köszönöm a könyvét és kedves sorait. Egyenesen magával ragadott, amikor a burzsoázia ellen és a szovjet hatalom mellett szóló megjegyzéseit olvastam . . .« — írta V. I. Lenin.

1920 április 28-ára virradó éjszakán Tyimirjazev elhunyt. A szovjet kormány 1923-ban emlékművet állíttatott Moszkvában Tyimirjazevnek. Nevét sok iskola és tudományos intézmény viseli. Nevére díjakat és ösztöndíjakat alapítottak, amelyekkel a növénytan területén a legkiválóbb tudományos munkákat jutalmazták. Munkáit többször kiadták.

Tyimirjazev tudományos hagyatéka a Szovjetországban számos utódra és követőre talált.

\* \* \*

Kliment Arkagyevics tudományos munkájának legjellemzőbb vonása az a törekvés, hogy a természet erőit az ember cselekvő szolgálatába állítsa. A tudós — mondta Tyimirjazev — »ne a megfigyelő passzív szerepében, hanem a kutató aktív szerepében« lépjen fel, »harcba kell szállnia a természettel és eszével, logikájával ki kell kényszerítenie, ki kell csikarnia a természetből a feleleteket kérdéseire, hogy úrrá lehessen a természet felett, hogy alágyúrhesse akarátának. Képesnek kell lennie arra, hogy akarata szerint elő-



Tyimirjazev tudományos kutatás közben

idézze vagy megszüntesse, megváltoztassa vagy irányítsa az életjelenségeket.«

Ez egyesíti és forrasztja össze Kliment Arkagyevics Tyimirjavezet a biológia többi nagy orosz tudósával s bátor újítóival. Olyan emberekkel, mint I. M. Szecsenov, I. I. Mecsnyikov, I. P. Pavlov, I. V. Micsurin, V. R. Viljamsz és sokan mások, akik minden erejüket és tudásukat a nép ügyének, a materialista világnézet megerősítésének szolgálatába állították.

Tyimirjavez materialista tudós volt. Egész életén keresztül harcolt az idealizmus minden válfaja ellen a tudományban; harcos ateista volt.

Tyimirjavez a biológiában és a természettudományban két egymással harcban álló tábort látott: a metafizikusok táborát, akik az élő természet változatlanágát vallják, akik »... hajlandók arra, hogy az élő természetben változatlan, meghatározott, mozdulatlan formákba öntött élőlények gyűjteményét, múzeumát lássák ...« — és azoknak táborát, akik az élő természet fejlődéséről szóló tanítást követik, akik számára »... az egész szerves természet — amelyet egészként szemlélnék — változik és átalakul; a szerves világ ma már nem olyan, mint tegnap volt és holnap is más lesz, mint ma volt.«

Tyimirjavez a darwinizmus zászlóvivője volt. Több mint fél-évszázadon keresztül terjesztette, védelmezte és fejlesztette azt.

Tyimirjavez nem volt szobatudós. Munkásságának minden területén vörös fonálként húzódik végig az a törekvés, hogy az elmélet és a gyakorlatot összekapcsolja.

Már láttuk azokat az indítékokat, amelyek Tyimirjavezet arra ösztönözték, hogy szakterületnek a növények élettanát válassza. Állította, hogy a szántóföldek nagy terméshozamáért folyó harc a természettudomány egyik fontos feladata. A természettudós már annak a pusztá szónak a hallatára, hogy »termés«, Tyimirjavez kifejezése szerint talajt kezd a lába alatt érezni. Azt mondta, hogy »vannak kérdések, amelyek mindig élnek és érdeklődést keltenek, amelyek nincsenek a divatnak alávetve. Ilyen kérdés: a mindennapi kenyér kérdése«. És Tyimirjavez egész tudományos munkásságát arra állította be, hogy a földműves »két kalászt termel-hessen ott, ahol azelőtt csak egy termett meg«. Ebből a célból — tanította Tyimirjavez — a növény életét minden vonatkozásában tanulmányoznunk kell, fel kell tárunk azokat a folyamatokat, amelyek benne végbemennek, fel kell derítenünk kapcsolatukat a környezettel és az életkörülményekkel. »Nem kétséges — írta Tyimirjavez — hogy a földműves munkájának központi tárgya a növény, ennek folytán minden tudását erre a tárgyra kell összpontosítania.«

Tyimirjazev arról az időről álmodozott, amikor »nálunk egy járásban nem egy kísérleti tábla lesz, hanem az olcsó kísérleti táblák tucatjai, sőt százai«, hogy a növény életét minden vonatkozásában tanulmányozhassuk. A nagy orosz tudósnak ez az álma csak a mi napjainkban teljesedett be. A Szovjetuniót, az élenjáró szocialista földművelés országát hatalmas és ragyogóan megszervezett kísérleti állomások, kísérleti földek, kolhoz-laboratóriumok stb. hálózata borítja. Csak a Nagy Októberi Szocialista Forradalom, a Bolsevik Párt, Lenin és Sztálin lángelméje teremthette meg a Szovjetunió, a világ leghaladóbb, tudományosan megalapozott földművelésének minden fejlődési feltételét. Nem magános kísérletezők, hanem a miczurinista kolhozparasztok sokmilliós hadserege, a földműves sztahanovisták, a bő termések mesterei harcolják ki hatalmas iparunk, élenjáró tudományunk eredményeinek felhasználásával az addig soha nem látott terméseket.

Tyimirjazev egész életét a növényélettan legfontosabb kérdésének, a növény levegőtáplálkozása, a fotoszintézis kérdésének szentelte.

A növények zöld leveleiben összetett szerves anyagok keletkeznek a levegő szénsavgázából, valamint abból a vízből, amelyet a növény gyökerei a talajból szívnak fel; közben a levegőbe oxigént bocsátanak ki. A növényekben ez a folyamat csak fény jelenlétében megy végbe. A levelek zöld anyaga, a klorofill által elnyelt napsugár adja ehhez az átalakuláshoz a szükséges energiát. Ezért a növények, amikor szerves anyagokat halmoznak fel magukban, Tyimirjazev találó kifejezésével élve, egyben a Nap energiáját tartalékolják, szinte konzerválják.

A növényben keletkezett szerves anyagokat az állatok és emberek tápláléknak használják, mert maguk nem képesek ezeket az anyagokat a testükben ásványi anyagokból előállítani. Milyen szemléltetően írja ezt le Tyimirjazev. »Valamikor, valahol a földre hullott a napsugár, de nem a terméketlen talajra, hanem a búzacsíra zöld szárára vagy pontosabban a klorofill testecskejére. Amikor ebbe beleütközött, kialudt, nem volt többé fény, de még sem tűnt el. Csupán felhasználódott a belső munkában; kettévágta, megszüntette a szénsavban egyesült szén- és oxigén-részecskék között a belső kapcsolatot. Az így felszabadult szén a vízzel egyesült és keményítőt alkotott. A keményítő cukoroldattá alakult át, majd a növényben végzett hosszú vándorlás után a magban rakódott le mint keményítő vagy siker. Egyik vagy másik alakjában annak a kenyérnek alkotórésze lett, amellyel táplálkozunk. Bennünk pedig izommá, ideggé vált. A szénatomok azonban a szervezetünkben most újra arra törekszenek, hogy egyesülni tudjanak az oxigénnel, amelyet a vér testünk minden részében széthord. Közben a napsugár,



amely kémiai feszültség alakjában bújik meg bennük, ismét mint érzékelhető erő jelentkezik. A napsugár melegít, mozgásba hoz bennünket. Lehetséges, hogy ebben a percben agyunkban játszódik... A táplálék csak azért erőforrása szervezetünknek, mert nem más, mint *napsugár-konzerv*.» Ehhez hozzátehetjük, hogy a kályhában fát, tüzeget vagy kőszénét égetünk. Mindezek maradványai valamikor a földön élt növényeknek; az ember pedig hő és fény alakjában felszabadítja ezt a napenergia-tartalékot.

A zöld növény közvetítő a földi élet és a nap között. Kliment Arkagyevics a növény szerepét az égitestek életében *kozmosznak* nevezte.

A természet egyik legbonyolultabb jelensége a fotoszintézis folyamata; Tyimirjazev életének egyik céljával a fotoszintézis titkának felderítését tűzte ki.

Kliment Arkagyevicsnek első vizsgálataira, melyeket ezen a területen végzett, a tudomány nyomban felfigyelt. A két szembenálló irányzat: a materializmus és az idealizmus itt is elkerülhetetlenül összeespedt. Az idealista biológusok szívósan védelmezték álláspontjukat. Tyimirjazev megállapította, hogy a szénsavgáz elbomlása és a levelekben a szerves anyag keletkezése közvetlenül összefügg az általuk elnyelt fényenergia mennyiségével. Erre a folyamatra a legerősebb hatást a színek vörös sugarai gyakorolják, azaz éppen azok, amelyeket a klorofill leginkább elnyel és amelyek a legnagyobb energiamentiséget tartalmazzák.

Ilyen módon a tudomány történetében először bizonyították be, hogy az energia fennmaradásáról és átalakulásáról szóló Lomonoszov-féle törvény az élő természetre is alkalmazható. Tyimirjazev tudományos felfedezései végleg megdöntötték azt a botanikában addig uralkodó felfogást, hogy a fotoszintézisben a színek sárga sugarainak van a legfontosabb szerepe. A sárga sugaraknak ezt, a fotoszintézis folyamatában feltételezett különleges szerepét azzal magyarázták, hogy a sárga sugaraknak van a szemmel érzékelhető legnagyobb fényerejük s nem azzal, hogy a sugarak mekkora energiamentiséget tartalmaznak. Így azután nem derítették fel, hogy honnan van az energia, amely a levelekben a szénsavgázt felbontja és a levelekben keletkezett szerves vegyületeket létrehozza. Ez kapóra jött a vitalistáknak, akik az élő és élettelen természet közé áthidalhatatlan szakadékot állítottak. Szerintük az élő természetben különleges »életerők« működnek, amelyeket nem lehet kutatás tárgyává tenni.

A vitalistáknak »az életerőről« szóló »tanítása« semmiben sem különbözik az egyháznak a »lélekről« szóló tanításától. A vitalizmus nem más, mint a tudomány pápizmusa. A vitalisták ahelyett,

hogy a természet törvényeit kikutatnák, természet feletti erőkből hisznek, olyan erőkből, amelyek a természetén kívül vannak és irányítják a természetet. A vitalisták szerint az élő természet megismerhetetlen. A vitalizmus vagy az idealizmus akármelyik alakja a tudományban reakciós irányzatot jelent.

Tyimirjazev a vitalisták áltudományos állításait megdöntötte. A német botanikusok, élükön Sachs-szal és Pfeffer-rel, megkísérelték, hogy a megcáfolt tényeket megvédjék. Sok évre terjedő kitartó küzdelem után kénytelenek voltak vereségüket elismerni. Ekkor azonban új harci módszerhez folyamodtak az orosz tudóssal szemben: az agyonhallgatás módszeréhez. Ezzel a módszerrel sem volt azonban szerencsésük.

Tyimirjazev nem érte be azzal, hogy a fotoszintézis folyamatainak csupán fizikai-kémiai oldalát tanulmányozza, hanem mint darwinista tudós is foglalkozott azzal. »Miért és mitől zöldek a növények?« — teszi fel Tyimirjazev az általános biológiának ezt a fontos kérdését és ragyogó megoldást talál rá. A növényi szervezetek fejlődési folyamatában kialakult zöld szín hasznos a növényekre nézve. Éppen a zöld szín adja meg a növényeknek azt a képességet, hogy a fotoszintézishez elnyeljék a legaktívabb fénysugarakat: a színek vörös sugarait. »A zöld szín — írta — a növényeknek nem véletlen tulajdonsága. A növény azért zöld, mert éppen ettől a színtől függ legfontosabb működése. A zöld színben, a növénynek ebben a legelterjedtebb sajátságában kell keresnünk a kulcsot ahhoz, hogy a növény fontos, kozmikus szerepét megérthessük.«

Jellemzők Tyimirjazevre nézve az 1918-ban »A vörös zászló« címen írt cikkében foglalt kijelentései is: »Ha az élet megteremtésére irányuló alkotó folyamatban a vörös szín valósággal jelképe, kifejezése a fény munkaerejének, nem kell-e belátnunk ugyanakkor, hogy ez a szín a legalkalmasabb embléma, kifejező jelkép a tudás, a tudomány fényének munkaerejére is? ... Nem meglepő tehát, hogy amikor a dolgozó tömegek elsőként ismerték fel az emberiség jövőjének építésében saját alkotó erejüket, erejük jelképéül éppen ezt a vörös színt választották — azt a vörös színt, amely a világegyetem folyamataiban, az élet megteremtésének folyamataiban a fény munkaeréjét fejezi ki.«

Kliment Arkagyevics életéből több mint negyven esztendő telt el a fotoszintézissel összefüggő tudományos kérdések megoldására. Ennek a munkának az eredményei megalapozták az orosz tudomány kimagasló művelőjének megérdemelt dicsőségét, a tudós világhírnevét, s a világ fiziológusainak élsorába emelték őt. Ezen a területen készített fontosabb dolgozatait a »Nap, élet és klorofill« című gyűjteményes művében tette közzé.

A növények élettanának más, igen fontos kérdései is foglalkoztatták a tudóst. Elsősorban azok, amelyek szoros kapcsolatban állottak a mezőgazdasági gyakorlattal. A földművelés kérdéseinek szentelt előadásait és cikkeit külön gyűjteményes munka tartalmazza: »A földművelés és a növények élettana.«

Tyimirjazev cselekvő részt vett az első orosz agronómiai kísérleti földek megszervezésében, sok előadást tartott ezekről a kérdésekről. Az 1896. évi nyizsegorodi kiállításon kísérleteket mutatott be az ásványi trágyázással kapcsolatban.

Amikor 1891-ben Oroszországban borzalmas szárazság volt és ennek nyomán rossz termés és éhínség járt, Tyimirjazev »A növény harca a szárazság ellen« címen előadást tartott. Kliment Arkagyevics elsőként sok új, értékes tételt állított fel a növények vízellátó rendszerére vonatkozóan és gyakorlati harci eljárásokat jelölt ki, amelyekkel az aszály káros hatását a terméstről el lehet hárítani; eljárásokat, »... amelyekkel az ember cselekvően közbe lép, nem alkalmazkodik az adott éghajlati körülményekhez, nem adja meg magát, hanem legyűri a természetet«.

Küzdelemre szólít az aszály ellen egy másik nagy orosz tudós is, V. V. Dokucsajev, a talajtan tudósa, aki először fogalmazta meg tudományos alapon az aszály elleni küzdelem elveit. Azt javasolta, hogy vezessünk be vízgazdálkodást a sztyeppéken, szabályozzuk a folyókat, valamint a vízmosásokban és a hosszú völgyszakadékokban összegyűlt vizeket, ültessünk erdőt és szervezzük meg tudományos alapon a földművelést. Ezt a rendszert nagyüzemi méretekben V. V. Dokucsajev vezetésével meg is valósították a Kamennajasztyeppén (ahol most a V. V. Dokucsajev Földművelésügyi Intézet van). Azoknak a haladó tudósoknak a munkája azonban, akik népük szükségleteit tartották szemük előtt, a cári Oroszországban süket fülekre talált. Csupán a szovjethatalom volt az, amely megteremtette a bő és állandó termések valamennyi feltételét. Amiről egykor az orosz nép legjobb fiai is csak álmodhattak, a szocializmus országában óriási méretekben megvalósul: a hatalmas sztálini terv életre hívja a mezővédő erdősávokat.

Tyimirjazev tudományos munkássága kezdetétől annak utolsó napjáig a darwinizmus kiváló harcosa volt.

Tyimirjazev 1877 végén meglátogatta Charles Darwint. Tyimirjazev — Darwin fiának közlése szerint — ragyogó elméjével, sokoldalú tudásával és a haladó tudomány iránt tanúsított rendkívüli lelkesedésével mély benyomást keltett Darwinban.

Ha Darwin tanítására támaszkodunk — mondja Kliment Arkagyevics — ha azt alkotó módon továbbvisszük és elmélyítjük, megoldhatjuk és meg is kell oldanunk a biológia leglényegesebb

kérdéseit: az ember javára irányíthatjuk az új szervezetek fejlődését, a kívánt irányban céltudatosan megváltoztathatjuk természetüket.

Tyimirjazev éles harcban állott a tudomány reakciósaival, akik megkísérelték, hogy Darwin materialista tételeit aláássák. Harcos ateista volt és szenvedélyesen támadta a pápizmust a tudományban. Keményen szembeszállott az orosz antidarwinistákkal, keményen ostromozta a külföldi antidarwinistákat; leleplezte azokat a kísérleteiket, amelyekkel a darwinizmus helyére mendelizmus és hasonló tanítások alakjában reakciós »öröklődési elméleteket« akartak állítani.

A mendelizmusról így írt: »Nyilvánvaló, hogy ennek a tudományellenes jelenségnek az okát a tudományellenesség körében kell keresni. Ennek a járváynak a forrásait, amely előtt a tudomány eljövendő történetírója majd értetlenül áll meg, egy másik jelenségben kell kutatni, amely azzal nemcsak párhuzamosan halad, de kétségtelenül összefüggésben is áll. Ez a jelenség: a klerikális reakció erőfeszítése a darwinizmussal szemben.«

Azokról a különböző öröklődési »elméletekről«, amelyek leginkább a 19. század végén és a 20. század elején jelentek meg, Tyimirjazev ezeket írta: »... az eddig javasolt úgynevezett öröklődési elméletek közül egyik sem felel meg a velük szemben elsősorban támasztott követelményeknek: nem adhat általános érvényű munkahipotézist, illetőleg nem szolgálhat a kutatáshoz olyan eszközzel, amely új tények és új alapok felfedezéséhez segít... Valamennyi csupán változata ugyanannak a témának: az utód az előddel szemben „vér a vérből“, „test a testből“; sikeres megfigyeléssel a szerkezet egyre mélyebb vonásai bontakoznak ki: „sejt a sejtből“, „plazma<sup>1</sup> a plazmából“, „sejtmag a sejtmagból“, „kromoszóma<sup>2</sup> a kromoszómából“ és így tovább. És amikor az öröklődésnek ezek a reális, materiális hordozói sem bizonyultak elégségeseknek, az elképzelték légióit eszelték ki (gemma, idioplazmák, csiraplazmák, idek és idontok, determinánsok, genesatulák, ergatulák, ergatinok, pánagének, egyszerű gének, miemák stb.).«

Tyimirjazev hangsúlyozta, hogy rendszeres, általános biológiai elméletre van szükség, amely átfogja az öröklődés sokféleségének valamennyi formáját. Az ilyen elmélet kialakításában, miként a micsurini tudomány bebizonyította, hatalmas jelentősége van a vegetatív hibridek kutatásának. Tyimirjazev kiemelte, hogy a vegetatív hibrideknek (vagyis az olyan hibrideknek, amelyeket nem keresz-

<sup>1</sup> A vérnek fehér és vörös vörsejtek nélküli folyékony része. — Szerk.

<sup>2</sup> Erősen festődő elem a sejtmagban. — Szerk.

tezés, hanem egyik fajtájú növénynek a másik fajtára történő ráoltása útján kapnak) mekkora tudományos jelentősége van. A növények vegetatív hibridizálásának módszereit először I. V. Micsurin dolgozta ki.

Tyimirjazev tudományos tevékenységének kezdetétől kiállt amellett az egyedül helyes materialista felfogás mellett, hogy a szerzett tulajdonságok öröklhetőek. Helyesen értékelte a növény fejlődésében a külső környezet szerepét is. Az öröklődés jelenségeinek területén a tények végtelen sokféleségét tudományosan összefoglalta, az élő szervezetek különféle öröklődési formáinak helyes osztályozást adott s ez az osztályozás felölelte mind az ivaros, mind a vegetatív szaporodást. Hangsúlyozta, hogy a tudományos földművelés egyik központi kérdése, kikutatni, milyen igényei vannak a növényeknek életkörülményeikkel szemben. »A kultúrnövény és az általa támasztott igények : íme, ez a földművelés legfontosabb tudományos feladata . . . minden más csak annyiban fontos, amennyiben összefügg ezzel. Mindenekelőtt ezt kell szemünk előtt tartanunk, ha a tudomány egyik vagy másik ágát a földművelés szempontjából értékeljük.«

A szervezetek öröklődését megváltoztathatjuk és megteremthetjük azokat a formákat, amelyekre az embernek szüksége van, ha a szervezeteket életkörülményeik megváltoztatásával befolyásoljuk — ez Tyimirjazev véleménye.

A szervezetek irányított öröklődésével összefüggő legfontosabb biológiai kérdések pompás megoldását I. V. Micsurin és T. D. Liszenko munkáiban kapjuk meg.

»I. V. Micsurin és a micsurinisták munkásságának sok ténye — írta T. D. Liszenko „Tyimirjazev halálának huszadik évfordulójára“ című cikkében — teljesen megerősíti Tyimirjazev útmutatását, hogy az öröklődést lehet és kell is irányítani a szervezet életkörülményeinek megváltoztatása útján . . . Csak akkor állíthatunk fel igazi és hatékony öröklődési elméletet, ha Darwin és Tyimirjazev útmutatásaiból indulunk ki, olyan elméletet, amely nemcsak megmagyarázza a meglévő tényeket, hanem új tények és törvényszerűségek felfedezését is lehetővé teszi . . . Tyimirjazevnek hatalmas szerepe van a szovjet agrobiológia kifejlesztésében. Tyimirjazev, a valódi darwinizmus legkiválóbb teoretikusa és tanítómestere, megmutatta nekünk, szovjet tudósoknak a helyes utat a szervezetek természetének irányításához.«

Ilyen sokra értékelte T. D. Liszenko Tyimirjazev szerepét a Micsurin-féle szovjet biológia kialakításában.

A Szovjetunió Lenin Mezőgazdaságtudományi Akadémiájának 1948. évi augusztusi ülészaka a Micsurin-féle materialista biológia,

a szovjet alkotó darwinizmus teljes győzelmének jegyében folyt le. Leleplezték és elvetették az idealista, reakciós mendelista-morganista tanításokat.

»Minden kutatónak, aki hozzám fordul — mondja T. D. Liszenko akadémikus — azt tanácsolom, hogy mindenekelőtt többet és figyelmesebben olvassa Darwint, Micsurint és Tyimirjazevet. Magam is, ha valahol megakadok, ha valami nehézségem merül fel, sokszor újra elolvasok egy-egy részt munkáikból.«

\* \* \*

Tyimirjazev a tudomány felülmúlhatatlan népszerűsítője volt. Nemcsak a tudományos kutató munkát tartotta igen fontosnak, hanem azt is, hogy a tudományt a széles néptömegek között terjeszteni kell. Nemcsak egyszerűen a nép tanítását, hanem felvilágosítását is szíven viselte. Szilárd meggyőződése volt, hogy a tudománynak a népet kell szolgálnia.

A tudományos tényeket szigorú pontossággal, de ugyanakkor elevenen és érthetően magyarázta. Példái világosak, stílusa pedig ragyogó volt. Mindezek a tudomány utolérhetetlen népszerűsítőjévé avatták Tyimirjazevet. Olyan munkái, mint »Charles Darwin és tanítása« vagy »A növény élete«, a tudomány népszerűsítésében mindenkor követendő példaképek maradnak.

Tyimirjazevre, a tudomány népszerűsítőjére teljesen ráillenek V. I. Lenin szavai: »A népszerűsítő író mély gondolathoz, mély tanításhoz vezet olvasóját; a legegyszerűbb és közismert tényekből kiindulva; egyszerű megfontolások vagy ügyesen kiválasztott példák segítségével ezekből az adatokból alapvető következtetések levonására mutat rá, s mind további és további kérdések felé készíti a gondolkozó olvasót. A népszerűsítő író nem abból indul ki, hogy az olvasó nem gondolkodik, nem óhajt vagy nem tud gondolkodni — ellenkezőleg, a kezdő olvasóban komoly törekvést tétel fel arra, hogy a fejével dolgozzon és ebben a komoly és nehéz munkában segíti őt, vezeti, támogatja első lépéseiben és arra tanítja, hogyan kell önállóan továbbhaladnia.«<sup>1</sup>

»A növény életé«-nek nyolcadik kiadásához 1914 májusában írt előszavában Tyimirjazev idézi Gorkij szavait arról, hogy könyve mennyire közkedvelt a nép körében: »Meglepődünk, hogy a herszoni kormányzás Sznyegovo mezővárosában vagy a permi kormányzás Osza mezővárosában honnan ismerik Tyimirjazevet s miért kéri olyan gyakran „A növény életé“-ről írt könyvét.« Tyimirjazev örömmel kiált fel: »Talán már a tudomány egyszerű, egészséges szava is a megszülető egészséges orosz demokrácia segítségére

<sup>1</sup> Lenin Művei. V. kötet. 285. old. (oroszul).

van? Önkéntelenül eszünkbe jut a nem hiú, de bátorító, vigasztaló álmom, amely mintha való lenne :

*Én talán azzal voltam hasznos a népnek,  
Hogy ép eszméket ébresztett benne szavam? . . . »*

Tyimirjazev művei napjainkban számos kiadásban jelentek meg. Tyimirjazev tudományos hagyatéka a szovjet nép kincse. Minden szovjet emberrel együtt Kliment Arkagyevics is részt vesz műveivel a kommunizmus építésében. Kliment Arkagyevics Tyimirjazev valóban annak a tudománynak képviselője, amelyről V. I. Lenin lángeszű bajtársa, művének továbbfejlesztője, nagy vezérünk és tanítónk, I. V. Sztálin beszélt : Annak a tudománynak a képviselője, » . . . amely nem keríti el magát a néptől; nem tartja magát távol a néptől, hanem kész szolgálni a népet, kész a népnek a tudomány minden vívmányát átadni, amely a népet nem kényszerből, hanem önkéntesen, szívesen szolgálja<sup>1</sup>. «

\* \* \*

Ez a könyv Tyimirjazevnek azokat a beszédeit és leveleit tartalmazza, amelyek őt mint lángoló szovjet hazafit mutatják be, továbbá »A növény életéről« 1876-ban tartott kitűnő előadásait.

A könyv szövegének előkészítő munkájában részt vettek A. N. Pantyelejev és K. A. Luksz.

N. V. Turbin, professzor,  
A. N. Pantyelejev, tudományos munkatárs.

<sup>1</sup> *Sztálin* : Leninről. Szikra 1950. 48. old.

## TYIMIRJAZEV — A LÁNGOLÓ SZOVJET HAZAFI

»Kliment Arkagyevics, mint annyira szeretett növényei is, egész életében a fény felé törekedett, az értelem és a magasabbrendű igazság kincsestárát gyűjtötte össze magában s így maga is a fény forrásává vált a fényre és tudásra vágyó, mostoha életkörülményeik között melegséget és igazságot kereső nemzedékek számára.«

I. P. Pavlov

### TUDOMÁNY, DEMOKRÁCIA ÉS BÉKE

#### ÖREGKORI ÁLMODOZÁS<sup>1</sup>

A dermesztő borzalmak előtt mindenki, akiben van gondolkodás és érzés, következetesen felteszi a kérdést : és mi lesz azután, mire készül az, amit emberiségnek szoktunk nevezni, hogy megvédje magát a jövőben ezeknek a borzalmaknak a megismétlődésétől? Azt hiszem, nem lehet kétséges, hogy minden ember gondolkodásában ott él a megismétlődés ellen való védekezés szükségességének tudata. Még azok is, akik elvakultságukban azt kiáltják : »kitartás a vég-sőkig !«, »a végkimerülésig !«, »a kiirtásig !«, meggondoltan hozzáteszik, de csak úgy, hogy ez legyen az »utolsó háború«, a »háború a háború elpusztításáért«. De vajjon ki az, aki előtt nem világos, hogy ezt csak a porhintés kedvéért teszik hozzá? A háborúnak csak kétféle eredménye volt, van és lehetséges : a győzőknek evés közben megjön az étvágyuk, a hódítások újabb hódítások szomját keltik fel bennük s ez egészen a világoralmi mániáig fajul — a legyőzöttekben pedig a visszafojtott, de annál hatalmasabb düh gyülemlik fel, amely a régóta ismert szóban, a bosszúban testesül meg. Nem, a háborút nem lehet háborúval megszüntetni. És a militarizmussal vagy a marinizmussal<sup>2</sup> sem lehet megszüntetni a militarizmust vagy a mari-

<sup>1</sup> Ezt a cikkét K. A. Tyimirjazev 1917-ben írta. Először 1920-ban jelent meg »A tudomány és demokrácia« című gyűjteményben (Moszkva, 1920.) Most rövidítésekkel adjuk közzé. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> Az imperialista államok törekvése a tenger feletti uralomra. — Szerk.



nizmust. A kapitalisták szindikátusa,<sup>1</sup> bármit is mondjanak, elpusztíthatja a kapitalistát, de nem pusztítja el a kapitalizmus gonoszságát s ez ugyanígy van a militaristák szindikátusával is. — Sem az élet, sem a történelem nem ismeri a homöopátikus<sup>2</sup> törvényt : ördögöt ördöggel üzni. A régi eszközöket ősidőktől fogva próbálják, de semmire sem alkalmasak. Újakat kell tehát keresni.

Mint mindenütt, itt is két lehetőség van : vissza vagy előre. Merre hát? A felelet itt is egyértelmű lesz : természetesen előre. Egyhangú lesz a felelet azért, mert nemcsak a haladás meggyőződéses hívei válaszolnak így, hanem mindazok is, akik képmutató módon a haladás mezébe burkolózva egyértelműen hátrafelé mennek. Ilyen már ennek a szónak örökre kiharcolt erkölcsi ereje. Nem hiába mondjuk : képmutatás az az adó, amelyet a gonosz a jónak fizet. Még akkor is, ha a haladást csak képmutatóan hirdetik, azt tanúsítják, hogy az emberiség által választott út végérvényesen eldőlt. Mit tekintünk azonban a haladás legfontosabb tényezőinek, legfőbb mozgató erejének?

Itt már eltérnek az utak. Itt nem bujhatunk határozatlan szavak mögé. Egyenesen kell beszélnünk, minél világosabban és határozottabban. Néhány évvel ezelőtt úgy gondoltam, hogy a nézeteimet a következő formában fejezhetem ki : »mire tanít a legközelebbi múltban az emberiség fejlődése, milyen irányban halad az, milyen erőket mozgat előre, mint a jövő legfontosabb tényezőit? A tudományt és a demokráciát. Demokrácián alapuló tudomány s a tudománytól megerősödött demokrácia és ennek a szövetségnek a jelképe — az elmúlt évszázadokban szinte soha nem látott jelensége — a tudomány demokratizálása : ez a jövőndő prognóza<sup>3</sup>.»<sup>4</sup>

A legfontosabb új tényezőnek a tudományt és a demokráciát tartom, amiről sokkal régebben azt mondtam, hogy »a tudományos és az etikai igazság« szövetsége. Ez a kérdések hosszú sorát állítja előtérbe. Vajjon megvan-e ennek a két tényezőnek valóban az a nagy jelentősége, amelyet én tulajdonítok nekik s osztják-e mások is ezt a véleményemet? Milyen kapcsolatban vannak egymással, miben áll hasonlóságuk és miért beszélek tudományos igazságról és demokratikus etikáról? Megpróbálok, hogy mindezekre a kérdésekre válaszoljak.

<sup>1</sup> Kapitalista vállalkozók egyesülésének egy fajtája a verseny korlátozása, az árak emelése, a jövedelem növelése érdekében. — Szerk.

<sup>2</sup> Homöopátia — hasonszervi gyógy mód. Itt : hasonlót hasonlóval. — Szerk.

<sup>3</sup> Meghatározott adatokon nyugvó előrelátás. — Szerk.

<sup>4</sup> L. »A modern természettudomány égető feladatai.« 3. kiadás. 1908. Előszó a 2. kiadáshoz, 1904. — Az orosz kiadás jegyzete.

Kezdem a tudománnyal. Vajjon valóban olyan elsőrendű helyet foglal el a modern emberiség sorsában, ahogyan én látom? Harminc évvel ezelőtt, 1886-ban Párizsban hatalmas nemzetközi hallgatóság előtt, akik között nemcsak tudósok ültek, talán először kockáztattam meg annak a véleményemnek határozott kifejezését, hogy ha a 18. századot az »ész századának« nevezik, akkor a 19. századot a »tudomány századának« kell nevezni. Utánam René Goblet lépett az emelvényre, aki abban az időben közoktatásügyi miniszter és Franciaország radikális, rokonszenves képviselője volt (sokan a harmadik köztársaság Bayardjának nevezték). Goblet a következőképpen támasztotta alá gondolataimat: »Ez az évszázad, amelyben élünk, miként az imént helyesen mondták, elsősorban a tudományé. Bármilyen helyet foglaljanak el történetében a csodálatos események, amelyeket átélt, valódi jellegét a tudományos kutatások egészen új fellendülése szabja meg, amely a természet tanulmányozása terén módot adott az emberi munka és hatalom körének kiterjesztéséhez...«

A tudomány és demokrácia között a kapcsolat természetesen kettős: anyagi és szellemi kapcsolat. Kezdjük az elsővel. A tudománynak a munka segítségére kell sietnie, a tudós közreműködésével termelékenyebbé kell tennünk a munkát, hogy a munka a demokrácia öntudatos támogatásával felszabaduljon a nem demokratikus kormányok lealázó gyámsága és a távolról sem mindig művelt töke mecénássága alól. Vizsgáljuk meg ennek a kapcsolatnak egyik kiemelkedő példáját: a tudomány és a földművelés viszonyát. 1905-ben erre nézve a következőket mondtam: »Néhány évvel ezelőtt kifejeztem azt a szilárd meggyőződésemet, hogy a bontakozó jövő jelszava: „tudomány és demokrácia“ és azt hiszem, hogy ezek sehol sem érintik olyan közelről egymást, mint a földművelés területén, ahol a tudomány oly hatalmas eszköz az egyéni munka termelékenységének emelésére.« »Ne feledjük — mondtam még korábban — hogy a mai burzsoá rendszer bizonyos tiszteletet nem tagad meg a tudománytól, hajlandó morzsaszemeket odavetni neki, amelyek a kapitalizmus fényűző asztaláról lehullanak és ez az, ami önkéntelenül is elgondolkoztat a tudomány jövője felől. Vajjon nem vonják-e majd valamikor egyetemes felelősségre amiatt, hogy a mai győztesekkel osztozott a zsákmányban?« Másrészt azonban a demokrácia is, ha visszarettenne a tudománytól, hamarosan a természet rabságába esnék...

Térjünk át az anyagi kapcsolatról a szellemi és erkölcsi kapcsolatra... A társadalom demokratizálódásával, az egyes polgár jogainak kiterjesztésével mindenkinek megnő a maga területén a felelőssége a társadalmi ügyekben való részvétel tekintetében. Az

első kötelesség, amelyet ez a felelősség reánk ró, az az erkölcsi kötelezettség, hogy fejlesszük ki önmagunkban a logikus gondolkodás képességét. És ezt a fejlődést mindennél jobban úgy érzük el, ha az iskolában megtanuljuk a pozitív tudományt vagy még inkább, ha egész életünkben képezzük önmagunkat . . .

Igy tehát arra a kérdésre, hogy a jelen valamennyi szellemi és erkölcsi tényezői közül miért éppen a tudományba és a demokráciába vetjük legfőbb reményiségünket, hogy majd ezek megdöntik a háborút — mindenekelőtt azzal válaszolunk : a többi tényező, a vallás, a metafizika, a filozófia, a transzcendens etika és a többi évszázadokkal rendelkeztek, mégsem sikerült nekik a háborút megakadályozni és nem sikerül ma sem. A tudomány és a demokrácia új tényezők, éppen csak hogy felléptek a világ színpadán, de kétségkívül mai kultúránk leglényegesebb elemei. Reményünk csak a még ki nem próbált fegyverekben lehet. Amit kipróbáltunk, de nem bizonyult alkalmasnak, abban nem reménykedhetünk.

Másodsor : a tudomány és demokrácia lényegében a háború ellensége. A tudomány azonos az igazsággal ; az igazságon kívül nincs tudomány, egyszerűen elképzelhetetlen, mert egy vele . . . A háború elemi ereje hazugság. Létének pusztá ténye azon a feltevésen alapul, hogy »ami igazság a Pireneusokon innen, hazugság a Pireneusokon túl«. A háború hazugságban születik és a hazugság légkörében él . . .

Ha azt akarjátok, hogy a mai ember ne hasonlítson többé vad ösére, le kell számolnotok mindenfajta hazugsággal — mondja a tudomány. Ha azt akarjátok, hogy igazság uralkodjék a Földön — szól a demokrácia — akkor oltalmazzátok meg a leghatalmasabb gonoszságtól : a háborútól. Állítsátok a legszentebb jognak, az élethez való jognak az örhelyére. Amit követelnek, lényegében ugyanaz. Egyetért-e az emberiség valamikor ezekkel a követelményekkel és új útra akar-e térni — arra, hogy »háborút a háború ellen«? Ki tudja. Annyi azonban bizonyos minden gondolkodó ember előtt : ha nem akarja ezt, akkor minden úgy marad, amint volt, abban a kilátástalan örült borzalomban, amiben most van.

1917 január.

*Utóirat.* Ezt a cikket február 1-én küldtem el a szerkesztőségnek. Néhány hét múlva az öregkori álmok ifjú valósággá lettek. Az örömtől könnybelábadt öreg szememmel megláthattam az ifjú Oroszország munkásainak, munkásnőinek és katonáinak kezében azokat a táblákat, amelyeken ezek a szavak állottak : »Béke és a népek barátsága« . . .

**ÜDVÖZLŐ LEVÉL A MUNKÁS-, PARASZT- ÉS VÖRÖSKATONA-  
KÜLDÖTTÉK MOSZKVAI SZOVJETJÉNEK, E SZOVJET TAGJÁVÁ  
VÁLASZTOTT KLIMENT ARKAGYEVICS TYIMIRJAZEV EGYE-  
TEMI TANÁRTÓL, A TUDOMÁNYOS AKADÉMIA LEVELEZŐ  
TAGJÁTÓL, AZ OXFORDI EGYETEM TISZTELETBELI TAGJÁTÓL,  
AZ I. MOSZKVAI EGYETEM TANÁRÁTÓL STB.<sup>1</sup>**

Elvtársak !

Mint hogy a moszkva-kurszki vasút vagonépítő műhelyeiben dolgozó elvtársak küldöttnek választottak, elsősorban is sietek mély hálámot kifejezni, de ugyanakkor sajnálkozásomat is, hogy éveim és betegségem megakadályoznak abban, hogy a mai ülésen résztvehessek.

Ezek után pedig felmerül bennem a kérdés : mivel érdemelhetem ki az irántam tanúsított jóleső bizalmat s mivel szolgálhatom közös ügyünket ?

Elvtársaink a Vörös Hadseregben önfeláldozásukkal bámulatos sikereket értek el, s megmentették a pusztulás szélén álló Szovjet Kőz-társaságunkat és kiérdemelték az ellenség bámulatát és tiszteletét is. Most a munka Vörös Hadseregén van a sor. Valamennyien, akár öregek vagy ifjak, akár az izom vagy a gondolat ernyedetlen dolgozói vagyunk, tömörüljünk a munka közös hadseregének soraiba, hogy ezeknek a győzelmeknek további gyümölcseit is élvezhessük. Háború a külső ellenséggel, harc a belső szabotálók ellen, s maga a szabadság is — mindez csak eszköz; a cél a nép jóléte és boldogsága, ezt pedig csak termelőmunkával érhetjük el. Dolgozni, dolgozni és dolgozni! Ennek a jelszónak kellene sokat szenvedett országunkban reggeltől estig szélében-hosszában hangzania, mert bár az ország joggal lehet büszke arra, amit már megtett, még nem kapta meg áldozataiért és hőstetteiért a megérdemelt jutalmat. Ebben a percben nincs kis vagy jelentéktelen, még kevésbé szűgyelni való munka. Csak egyféle munka van : szükséges és értelmes munka. Az aggastyán munkájának azonban lehet különleges értelme is : önkéntes, nem kötelező, nincs az ország költségvetésében — mégis az aggastyán munkája tüzelheti az ifjak lelkesedését és megszűgyenyítheti a resteket. Nekem csak az egyik karom ép, de ezzel is megforgatnám a lendítőkereket, csak az egyik lábam egészséges, de ez sem gátolna abban, hogy tapossam a malmot.

<sup>1</sup> A levelet a moszkvai Szovjet 1920 március 6-i plénumához címezte. Megjelent a »Pravdában« és az »Izvesztijában« 1920 március 7-én. — Az orosz kiadás jegyzete.

Vannak önmagukat szabadoknak tartó országok, ahol az ilyen munka a bűnösök megszégyenítő büntetése, de ismétlem, hogy a mi szabad országunkban ebben a pillanatban nem lehet a munka megszégyenítő, lealacsonyító.

A fejem már őszbecsavarodott, de a munkát még nem tagadja meg. Talán felhasználhatók sokéves tudományos tapasztalataim az iskolaügyben vagy a földművelés területén. Végül még egy gondolat: szavaim valamikor a tanulók nemzedékeinek hosszú sorából váltottak ki meggyőződést, visszhangot; lehet, hogy ezek a szavak most támogatják majd az ingadozókat, visszatérésre bírják a közös ügy elől megfutamodókat.

Ezért, Elvtársak, fogjunk hozzá mindannyian a közös munka elvégzéséhez, egyikünk se rakja ölébe a kezét, hadd virágozzék fel a mi Szovjet Köztársaságunk, amelyet a munkások és parasztok önfeláldozó hőstetteikkel teremtettek meg és amelyet éppen most a szemünk láttára mentett meg a dicsőséges Vörös Hadsereg!

1920 március 6.

*Kliment Arkagyevics Tyimirjajev,*  
a munkás-, paraszt- és vöröskatonaküldöttek moszkvai Szovjetjének tagja.

## ÜDVÖZLET AZ ELSŐ OROSZ MUNKÁSFAKULTÁSNAK<sup>1</sup>

*A Marx Károly Intézet munkásfakultásának.*

Ifjú Elvtársaim! A forró üdvözlét szavaival fordul felétek az az ember, aki élete nyolcadik évtizedének második feléhez érkezett el. Talán sohasem éreztem az évek terhét — amelyet most még a betegség súlya is nyom — annyira, mint ebben a pillanatban, amikor le kell mondanom arról, hogy a mai gyűlésen személyesen vegyek részt és meg kell elégednem az üdvözlét néhány rövid szavával. Az öregség és a betegség megakadályoztak abban, hogy személyesen legyek jelen, de nem szeretném, ha távolmaradásomban közönyt látnátok az első szabad munkásfakultás megnyitása iránt, amelyről hosszú éveken keresztül álmodoztam.

*A tudomány és demokrácia* — a tudás és a munka szoros egysége — kedvelt jelszavam volt évtizedeken keresztül és a mai ülésben ennek kezdetét, megvalósulásának egyik legjelentősebb tünetét látom. A munkás igazi értelmes alkotóerővé válik, ha értelme számára

<sup>1</sup> Ez a cikk első ízben a „Tudomány és demokrácia“ című gyűjteményben jelent meg 1920-ban (oroszul). — *Az orosz kiadás jegyzete,*

hozzáférhetővé válnak a tudomány legfontosabb eredményei és a tudomány szilárd, megbízható támaszt talál, ha sorsa a legműveltebb népek kezében lesz, s nem a cárok és csúszó-mászó szolgálkai kezében, még akkor is, ha ezek közoktatásügyi minisztereknek, akadémikusoknak vagy professzoroknak magasztalják magukat.

A tudományos ismeretek megszerzésének útja azonban a munka embere előtt nehéz út; ezt egy egész élet kemény tapasztalatai alapján mondom. Tizenöt éves koromtól kezdve a balkezem egyetlenegy olyan garast sem költött el, amelyért a jobbkezem meg ne dolgozott volna. Mint ahogyan ilyen esetekben lenni szokott, a kenyérkereset gondja járt elől, a tudománnyal foglalkozás pedig a pihenés óráinak vagy a kényszerű szükség által okozott szabad időnek szenvedélye maradt. Vigasztalhatott azonban az a gondolat, hogy amit teszek, azt a saját felelősségemre cselekszem s nem élek a szerencsétlen dolgozók nyakán, mint a földbirtokosok vagy a kereskedők fiacskái. Csak idő múltával adott a kiharcolt tudomány nemcsak a szellem, de az élet anyagi szükségleteinek kielégítésére alapot, kezdetben csak a saját, később már a család szükségleteihez is. Akkor azonban már megvolt az erkölcsi jogosultságom annak belátására, hogy a tudományos munkásságommal legalább annyira szolgálom a közérdeket, mint azzal, amivel korábban kerestem a kenyéremet.

Ismétlem, hogy az a dolgozó, aki idejének egy részét ismeretek szerzésére szenteli, kétszeres terhet hordoz, tehát kétszeres megbecsülést is érdemel, kétszeres támogatást várhat el azoktól, akik megértik nehéz helyzetét. A tudomány olyan hőseinek a nevét, akik a nép köréből származtak (Franklin, Faraday, Pasteur), gyakran beírták a történelembe, a földesurak és a kereskedők gyermekei azonban csak ritkán érték el ezt a kitüntetést. A dolgozó megérdemli, hogy ebben a tekintetben támogassák és éppen ez a fakultás megnyitásának célja.

Mint nyolcvan éves aggastyán, biztosíthatlak benneteket, hogy egész életemben, minden viszonyosság között a legjobb, a leg-szilárdabb és a legtisztább támaszom a tudomány volt.

Nem szabad, hogy ez a tiszta, általános tudomány kizárólagos tulajdona, monopóliuma legyen — nem azt mondom, hogy a »kiválasztottaknak«, hanem ellenkezően — a megvetett, lenézett intrikusoknak, akik éppen olyan idegenként állnak a demokrácia feladataival szemben, mint magával a tudománnyal szemben. Köszöntöm az első munkásfakultást, kívánom, hogy akik ennek a neve alatt és a munka vörös zászlójának mindenki számára egyenlő védelme alatt egyesülnek, csak azért jelenjenek itt meg, hogy keressék a munkájukhoz szükséges tudást, elvessenek minden for-

malitást, diplomát és az azokkal kapcsolatos »kínai« vizsgákat, rangot és kitüntetést, amelyek mind egyaránt ártnak a tudomány-nak és a demokráciának.

»A vörös zászló« — szándékosan említtem fel ezt a két szót, mert tudom, hogy kartársaim a burzsoák táborában nem bocsátják meg nekem, hogy ez alá a zászló alá állottam s azokban a napokban is ott voltam, amikor a világ minden tájáról a sötétség erői rávetették magukat abban a reménységben, hogy még egyszer vérbe fojthatják. A vörös zászló — ez annak a jövődő győzelemnek a szimboluma, amelyet a tudás és a munka arat az ellenség felett. Mit is ad nekünk majd ez a győzelem? »Békét, kenyeret és szabadságot«? Ezt és még valamit, amit kevésbbé veszünk észre, de ami nem kevésbbé fontos. A béke az egyetlen eszköz ahhoz, hogy a pusztításról a termelő-munkára térjünk át. A kenyér nem más, mint harc a nyílt ellenséggel, amely éhhalálra ítél minket és harc az ennél rosszabb, titkos ellenséggel szemben, amely a kizsákmányolók, sőt a kizsákmányoltak soraiban a »spekuláció« ragályát terjeszti. Szabadság — természetesen enélkül a többi elképzelhetetlen. Kell azonban még valami, amit már kivívtunk, de nem használtunk ki a megfelelő irányban. Ez a szabad idő, a nyolcórás munkanap, amelyet majd természetesen még rövidebb követ. A szabad demokrácia, amely kiharcolja a pihenést, művelt demokrácia lesz, amikor a pihenésnek azt a legjobb rendeltetést adja, hogy e tudás erejének megszerzésére, a tudománnyal való érintkezésre szolgáljon. Hogy ezt akarja, hogy ezt megteheti: ennek a záloga a mai összejövetel.

Éljen a vörös zászló alatt egyesített, a munka erejénél fogva hatalmas, a tudás és műveltség fényétől megerősödött világ-demokrácia!

## K. A. TYIMIRJAZEVNEK

Moszkva, 1920 április 27.

Kedves Kliment Arkagyevics!<sup>1</sup>

Nagyon köszönöm a könyvét és kedves sorait.<sup>2</sup> Egyenesen elragadtatott, amikor a burzsoázia ellen és a szovjet hatalom mellett szóló megjegyzéseit olvastam. Erősen, erősen megszorítom a kezét és teljes szívemből egészséget, egészséget és egészséget kívánok Önnek.

Híve :

V. Uljanov (Lenin)

### K. A. TYIMIRJAZEV UTOLSÓ SZAVAI HALÁLA ELŐTT<sup>3</sup>

Mindig az emberiség szolgálatára törekedtem és örülök, hogy e számomra ennyire komoly percekben Önt látom, aki azt a pártot képviseli, amely valóban az emberiséget szolgálja. A leninizmust végrehajtó bolsevikok, hitem és meggyőződéseim szerint, a nép boldogságáért dolgoznak és el is vezetik a boldogsághoz a népet. Mindig Önöké voltam és mindig Önökkel voltam. Adja át Vlajimir Iljicsnek elragadtatásom kifejezését azért, hogy a nemzetközi problémákat elméletben és a valóságban olyan lángeszűen megoldja. Boldog vagyok, hogy dicsőséges munkásságának kortársa és tanúja lehetek. Meghajolok előtte és akarom, hogy ezt mindenki tudja. Adja át minden elvtársnak őszinte üdvözetemet és jókívánságaimat további sikeres munkájukhoz az emberiség boldogulására.

<sup>1</sup> A levél szövege megjelent V. I. Lenin : Összes műveinek gyűjtemé nyében, 3. kiadás. 19. köt. 437. o. (oroszul). A borítékon Lenin kezeirása : »Kliment Arkagyevics Tyimirjazev elvtársnak (Lenintől) — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> Nyilvánvalóan Tyimirjazev: »A tudomány és demokrácia« című munkájáról van szó. Cikkgyűjtemény. 1904—1911. Moszkva, Goszudarsztvennoje izdatyelsztvo, 1920. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>3</sup> K. A. Tyimirjazevnek a halála előtt a kommunista orvosához, B. Sz. Vajszbrodhoz intézett szavai. — *Az orosz kiadás jegyzete.*



## A NÖVÉNY ÉLETE

»Ha a tudomány képviselői azt akarják, hogy a társadalom velük érezzen és támogassa őket, nem szabad feledniük, hogy ők a társadalmat szolgálják, hogy időnként úgy kell a társadalommal szemben eljárniuk, mint megbízójukkal szemben, akinek számadással tartoznak. Be kell számolniuk a társadalomnak: ezt tettük, ezt tesszük, ezt kell még tennünk — ítéljétek meg, mennyire hasznos a jelenben és milyen reményeket kelt a jövőre vonatkozóan.«

K. A. Tyimirjazev

### A. N. BEKETOV PROFESSZOR BIRÁLATA »A NÖVÉNY ÉLETÉRŐL

Tyimirjazev professzornak »A növény élete« című könyve a művelt társadalomtól már megkapta a kellő megbecsülést. Ennek bizonyossága nagy elterjedettsége, noha a könyv tartalma komoly. Ennek titka a téma mesteri kifejtése. Nem ismerek egyetlen olyan közérthető botanikai könyvet, a művelt világ bármelyik fontosabb nyelvén sem, amelyet összehasonlíthatnánk a mi szerzőnk művével.

Tyimirjazev professzor könyve 271 oldalon, összesűrített alakban, az egész általános botanikát tartalmazza, azonban a figyelmes olvasás alapján az olvasó teljes és alapos fogalmat kap a növény külső és belső szerkezetéről (anatómiájáról) és minden irányú fiziológiai működéséről. Ehhez járul az, hogy a könyv egyúttal nagyon érdekes olvasmány is. Ezt nemcsak a valóban nagytehetségű tárgyalással éri el, hanem alaposan átgondolt tervével is. Ebben a munkában, úgy mondhatjuk, minden egy fő cél felé irányul: a növényben végbemenő és annak életét alkotó jelenségek megmagyarázására. Ezért az anatómiát (sejt- és szövettant) és a morfológiát<sup>1</sup> is csak annyiban magyarázza, amennyiben ez a növény egyik vagy másik életmegnyilvánulásának világos megértéséhez szükséges. Sehol sem halmozza össze a tények felesleges tömegét, mert ennek a könyvnek egyáltalában nem az a célja, hogy kimerítse a tudomány egész tartalmát, hanem az, hogy az olvasónak szigorúan tudományos

<sup>1</sup> Szervezetten. — Szerk.

fogalmat adjon azokról a módokról, amelyekkel a növény életfeladatait megoldja. Így kelti fel az érdeklődést a tárgy iránt és így mutatja meg az alaposabb tanulmányozás útjait.

Ezenfelül a szerző mindenütt kitér a kísérletek és megfigyelések lefolyására, fejtegetései legtöbbszörre induktívek.<sup>1</sup> Olvassa el az olvasó például csupán azokat a fejezeteket (IV. és V.), amelyek a növények mesterséges táplálására és a levélklorofill működésére (a szénsavgáz elnyelése és felbontása) vonatkozó kísérleteket tárgyalják, nemcsak ismereteket szerez, hanem a szerzővel együtt alaposan behatol maguknak a pontos fiziológiai kísérleteknek a módszereibe; meglepi a szerző éleselméjűsége, mellyel magától a természettől csikarja ki a választ a feltett kérdésekre. A szerzőnek különösen értékes vonása, hogy amennyire csak lehetséges, ragaszkodik a kutatások és megfigyelések lefolyásának leírásához. Nem beszélve arról, hogy csak ilyen módon lehet a gondolkozó olvasó előtt bebizonyítani a tudományos tételek helyességét, ez az eljárás kizárja a dogmatizmust<sup>2</sup> és azt a pedáns doktrinerizmust,<sup>3</sup> amely sokszor annyira árt a népszerű műveknek. Kiküszöböli végül a homályosságot és bőbeszédűséget is, amely elrettenti az olvasót, nem adja meg neki a pontos és lényeges felvilágosításokat.

Az ilyen homályos, mondjuk ki, szószátyár magyarázatra jó példa az a pompás kiállítású német munka, amelynek címe azonos Tyimirjzev professzor munkájának címével.<sup>4</sup> Ez a munka külseje alapján bárkiben felkeltheti azt a kívánságot, hogy fordítsák le az orosz nyelvre. Az első kötetben, amely 733 nagyalakú oldalon a növény szerkezetével és életével foglalkozik, 20 pompás akvarell<sup>5</sup> és 553 kitűnő fametszet van. Hatalmas tömegű tényt halmozott fel, a legfontosabb alapelvek azonban nemcsak hogy elvesznek, hanem egyszerűen tévesek.

Éppen ezért, ha azt kérdeznék tőlem, hogy melyik könyv elolvasása alapján ismerhetjük meg jobban a növény életét, Tyimirjzev könyvére mutatnék és a Körner könyvéről hallgatnék s azt ajánlanám, hogy inkább közvetlenül azokat a munkákat olvassák el, amelyekből az utóbbi szerző merített.

<sup>1</sup> Kutatási, kifejtési módszer, amelynek segítségével a gyakori tények és jelenségek megfigyelése alapján általános szabályokat és törvényeket lehet megállapítani. — Szerk.

<sup>2</sup> Megkövesedett változatlan formulák alapján való gondolkodás. — Szerk.

<sup>3</sup> Az élettől elvonatkoztatott, tudákos, betanult szabályokhoz, formákhoz ragaszkodás. — Szerk.

<sup>4</sup> Anton Körner von Mariklaun: »A növények élete«, első orosz fordítás. 1899—1900. — Az orosz kiadás jegyzete.

<sup>5</sup> Vízfestékekkel készített festmény. — Szerk.

## KIVONAT A KILENCEDIK KIADÁS ELŐSZAVÁBÓL<sup>1</sup>

Az utolsó kiadás előszavának befejezéséül annak a reményemnek adok kifejezést, hogy megszabadulunk a reakciótól, mely az 1904—1905-ös évek felszabadító mozgalmát elnyomta. A 7-ik kiadást ennek a vigasztaló hatása alatt zártam le abban a tudatban, hogy a megmentés magának a népnek a köréből jön. Természetesen sem én, sem más nem képzelte, hogy a megmentés ilyen gyorsan jön és ennyire gyökeres lesz és hogy akkora árat kell fizetni érte, mint amilyen a mélyéig rothadt cári-kapitalista rendszertől örökölt gyilkos öt éves háború borzalmai voltak, minden következményével, az általános pusztulással és a széles tömegek demoralizálásával. Az orosz nép nagy és halaszthatatlan történelmi hőstette után magára hagyva, talán még hosszú ideig lesz kénytelen erőit megfeszíteni, hogy megvédje vívmányait a sok külső ellenség támadásától és a még gonoszabb belső ellenség nyomorult árulásával szemben, ahelyett, hogy mindezeket az erőket a nagy általános építő feladatokra összpontosíthatná, hogy a régi rothadó romok helyén az igazi néphatalom és műveltség szilárd alapjain újat építsen. Az alkotás hőstettei közepette a nép leghűségesebb és legnélkülözhetlenebb segítőtársának a valódi tudománynak, nem pedig a nép kizsákmányolóit kiszolgáló áltudománynak kell lennie. Ezért kell a tudománynak a nép elé állnia s igazi jelentőségét népszerű, azaz népies alakban megmagyaráznia. Ez a gondolat munkásságom első lépéseitől kezdve kísér . . .

Forró óhajtásom, hogy szavam az orosz nép javát szolgálja az előtte álló széleskörű felvilágosítás és építés művében; ennek a műnek alapját alkossa a tudomány, mint harci fegyver a burzsoá rendszer hagyatéka, »a miszticizmus, a metafizikai fecsegés és mindenmű dekadencia« ellen, amelyek oly világosan jellemzik a reakció és az önkény éveit, a kimúlt cári-burzsoá rendszer utolsó napjait és éveit.

1919. decemberében.

K. A. Tyimirjazev.

<sup>1</sup> Ezt a cikket a szerző 1919-ben írta. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

## A TUDOMÁNY ÉS A TÁRSADALOM A NÖVÉNY KÜLSŐ ÉS BELSŐ SZERKEZETE

*A botanikus két elavult típusa. — A tudomány mai iránya. — Morfológia és fiziológia, forma és élet. — A földművelés és a növény fiziológiája. — A tudomány és a társadalom kölcsönös viszonya. — A virágos növény külső szerveinek áttekintése. — Metamorfózis. — A magvas növényeknél ősbibb és egyszerűbb spórás növények. — A spóra: sejt. — A sejt minden szervezet alapja és kezdete. — Ezeknek a tényeknek viszonya a szervezetek eredetének kérdéséhez. — Fejlesztéseink terve.*

Talán első ízben fordul elő Moszkvában, hogy a botanikus-fiziológus népszerű formában és ilyen nagyszámú közönség előtt magyarázhatja meg a növény életéről szóló tanítás alapelveit...<sup>1</sup>

Felteszem és nem járok messze az igazságtól, hogy a *botanikus* szóra sok ember képzeletében — köztük művelt emberek képzeletében is, ha egyébként nem foglalkoztak a tudománnyal — a következő két kép egyike merül fel: az egyik egy nagyon unalmas, pedáns ember, akinek kimeríthetetlen készlete van kettős, néha igen barbár latin nevekből, aki szinte egy fél-szempillantásra megnevezi bármely növény, bármely fű nevét és családját, aki adott esetben meg tudja mondani, hogy milyen fűvet használnak a görvélykórra<sup>2</sup> és milyent a víziszonyra, holott a valóságban erre sem az egyik, sem a másik nem alkalmas. Ime, ez az egyik típus; unalmas és fárasztó s így természetesen nem képes a tudomány iránt rokonszenvet kelteni. A *botanikus* szóra azonban egy másik, kevésbé szomorú kép is felmerül: a virágok szenvedélyes barátjának képe, aki mint valami lepke, virágról-virágra száll, pillantását ragyogó színekkel édesíti meg, belélekzi illatukat, megénekli a büszke rózsát és a szerény ibolyát...

<sup>1</sup> Ezeket az előadásokat K. A. Tyimirjavez 1876-ban tartotta. Az előadás szövegét kissé megrövidített alakban közöljük. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> Betegség — a nyaki és nyirokmirigyek megduzzadnak, melyek sok esetben visszafejlődnek, máskor elgennyednek. A betegség öröklődő. — *Szerk.*

Ez az a két szélsőséges típus, amely a legtöbb ember képzeletében él a botanikussal kapcsolatban. Ezt a saját tapasztalataim alapján állíthatom. Vagy pedáns nomenklátor<sup>1</sup> vagy műkedvelő kertész, avagy gyógyszerész, vagy esztétikus, de semmiesetre sem tudós. A tudóst szinte eltakarják ezzel a két típussal. Valóban, van-e tudós botanikus? Miféle tudomány ez a botanika? Mi a célja, melyek a feladatai? Milyen eszmék vezetik és egyáltalában vezetik-e eszmék? Ha a társadalom ezekre a kérdésekre vonatkozóan tájékozatlan, akkor ennek részben maguk a botanikusok az okai, részben azonban az okok mélyebben, a tudományos fejlődés történeti folyamatában gyökereznek. Álljunk meg ezeknek a körülményeknek a vizsgálatánál.

Az élő szerves világ kettős nézőpontból vonhatja magára figyelmünket: látunk benne testeket, így pl. növényeket és állatokat, látunk jelenségeket, azaz életet. Ezeket az élőlényeket szervezeteknek nevezzük, mert olyan részek alkotják őket, amelyeket szerveknek, illetőleg eszközöknek nevezünk. Minden szervnek, minden eszköznek van valamiféle működése, bizonyos viszonya az egész szervezet életéhez. A szerveket működésüktől függetlenül, a szervezeteket életüktől függetlenül éppen olyan kevésbé vizsgálhatjuk, mint ahogyan a gépet és alkatrészeit sem vizsgálhatjuk anélkül, hogy működésük iránt ne érdeklődnénk. Vajjon kinek lenne kedve ahhoz, hogy valamilyen gépnek, például az órának az alkatrészeit vizsgálja, szerepük magyarázata nélkül? Az ilyen vizsgálat nemcsak unalmas, de terméketlen is lenne. Természetesen a gép működését nem ismerhetjük meg, ha nem ismerjük a szerkezetét. Mindebből következik, hogy a szervezetnek az említett két önkényes szempontból történő független vizsgálata, tehát, hogy mi a szervezet mint test és mi a szervezet mint jelenség — mesterkélt, sőt nem is logikus. Ennek ellenére ez a két mesterkélt szempont, a tárgynak ez a szétválasztása már régen meggyökeresedett a tudományban. Az élőlények tudománya: a biológia, két ágra szakadt; az egyik az alaktalan, az anatómia vagy tágabb értelemben a morfológia, a másik a jelenségekről szóló tudomány, az élettan, a fiziológia. A kettéválást részben az idézte elő, hogy a hatalmas ténybeli anyag feldolgozásához szükség volt a munkamegosztás elvére, részben pedig az, hogy a kutatási eljárások és azok a célok, amelyek felé a két tudományág halad, különbözőek. Az egyik ág észlel és leír, a másik kísérletezik és magyaráz. A kettéválasztás mesterkéltségét semmi sem bizonyítja jobban mint az, hogy tökéletes megvalósítása lehetetlen volt. Valójában soha nem is alkalmazták teljes szigorúság-

<sup>1</sup> Nomenklátor = a tudományos elnevezések rendszerezője. — Ford.

gal. A morfológus akarata ellenére kénytelen a szerv szerepéről is beszélni, a fiziológus pedig annak szerkezetéről . . .

Érthető azonban, hogy a tudomány e két ága igen különböző mértékben köti le a közfigyelmet, azoknak az embereknek a figyelmét, akik a tudományon kívül élnek és csupán annak kimagaslóbb eredményei iránt érdeklődnek.

Az ember körül élő növények és állatok pusztja leírása vagy felsorolása természetesen nem kelt közérdeklődést, noha azoknak a személyeknek a száma, akiknek örömet szerez a hazai növény- vagy állatvilág megismerése, közvetlenül a társadalom tudományos fejlettségének fokáról tanúskodik. A csodálatos növények és állatok töredékes leírása azonban kevésbé vonzó, talán azt mondhatnám, túlságosan sekélyes. Alkalmas lehet gyermekkönyvek vagy olyan képeskönyvek céljára, amelyeket néha felnőttek számára adnak ki. A közfigyelmet lekötheti ugyan valami csodálatos dologról szóló olyan újságszenzáció — például a húsevő növényről, amely élő embereket fal fel — mint amilyen nemrégén a külföldi és a belföldi hírlapok hasábjait megtöltötte, s amely még a rendkívüli kiadásokban is helyet kapott.<sup>1</sup>

Más dolog azonban azoknak a jelenségeknek a magyarázata, amelyek az élők mindkét birodalmának szervezeteire vonatkozóan azonosak; az élet alaptörvényeinek tanulmányozása. Ez valóban felkeltheti és kell is, hogy felkeltse minden gondolkodó ember érdeklődését, aki meg akarja érteni, mi történik körülötte. Ugyanez áll a holt természetre is. Az ásványtan egyszerűen leírja a földkérget alkotó elemeket s ezzel nem kelthet akkora érdeklődést, mint a kémia, amely az anyagok kölcsönhatását előidéző jelenségeket magyarázza meg, vagy a geológia, amely bolygónk történetét mondja el.

Igy tehát aligha fér kétség ahhoz, hogy az általános érdeklődésre több joggal tarthat számot a fiziológia, mint a morfológia, a jelenség, mint a test, az élet, mint az alak . . .

A fiziológus feladata nem a természet leírása, hanem magyarázata és irányítása . . . Eljárásai nem a passzív észlelés, hanem a cselekvő kutatás szerepét igénylik . . . Szembe kell szállnia a természettel és az értelem erejével, logikájával, a feltett kérdéseire választ kell követelnie, kikényszerítenie, mert csak így uralkodhatik rajta, vetheti alá akarátának, csak így képes tetszése szerint életjelenségeket előidézni, megszüntetni, megváltoztatni vagy irányítani . . .

<sup>1</sup> Ez a megjegyzés 1876. évre vonatkozik. Érdekes azonban, hogy napjainkban ismét felbukkant néhány külföldi és belföldi újságban ugyanez a hírlapi hazugság. — *A szerző megjegyzése a második kiadáshoz.*

Mindegyik tudomány történeti fejlődése azt kívánja, hogy az egyszerűbb megelőzze a bonyolultabbat. Érthető, ha az élettani feladata sokkal bonyolultabb, mint a morfológia feladata és bővebb ismeretanyagot kíván meg. Ha a szerves alakokat csupán leírni kívánjuk, ehhez nem kell semmi különösebb előzetes ismeret. Ha azonban magyarázni akarjuk az életjelenségeket, tehát egyszerűbb fizikai és kémiai jelenségekre kívánjuk visszavezetni azokat — és az élettannak éppen ez a feladata — akkor előbb meg kell ismernünk e kétfajta jelenséget. Ahhoz, hogy valaki morfológus legyen, elegendő, ha csak morfológus. Ahhoz azonban, hogy fiziológus legyen, bizonyos fokig még kémikusnak, fizikusnak és morfológusnak is kell lennie. Mindebből következik, hogy a tudományban a fiziológiai irányzat csak később, vagyis a fizika és a kémia kifejlődése után jelenhetett meg . . .

Az orvostudomány hosszú és meddő kísérletezés után, hogy feladatát spekulatív<sup>1</sup> úton vagy nyers empirizmus<sup>2</sup> alapján oldja meg, rájött arra, hogy sokkal messzebből kell kezdenie, kutatnia kell az állatvilág törvényeit, segítséget kell kérnie más tudományoktól. Így vonult be és fejlődött ki az orvostudományi iskolákban az állatélettan. Az egészség szükséglete mellett — amire az orvostudomány felel meg — az embernek azonban még másfajta szükségletei is vannak: jól kell laknia, öltözködni kell, vérre és mozgási eszközökre van szüksége. Ezen szükségleteinek fedezését nagyrészt azoktól a növényektől kapja, amelyeket termel vagy gondoz. Csak az élet törvényeinek kutatásával, csak azáltal, hogy megfigyeljük, vajjon a növény milyen módon érte el a célját, vagy a növény kényszerítése által irányíthatjuk a növény működését a magunk javára, vehetjük rá, hogy minél több és jobbminőségű terméket adjon. Nyilvánvaló tehát, hogy a földművelés középpontjába a növényélettant kell állítanunk. A földművelés éppen úgy, mint az orvostudomány, sokáig bolyongott az empiricizmus és a spekuláció egyaránt meddő területein, amíg erre rájött. Itt azonban ez sokkal később következett be, mint az orvostudomány esetében . . .

Ma már természetesen tartjuk, ha betegség esetében az orvoshoz fordulunk segítségért, aki a tudomány szabályai szerint gyógykezel bennünket, de még mindig nem nőttünk ki abból, hogy ne gúnyolódjunk a szomszédunkon, aki »gabonáját a tudomány valamennyi szabályának szem előtt tartása mellett« veti el.

Az észszerű földművelés sokkal fiatalabb, mint az észszerű orvostudomány és éppen ezért a növényélettan iránti szükséglet is

<sup>1</sup> Elvont, a tapasztalattól és a gyakorlattól elszakadt gondolkodáson alapuló. — Szerk.

<sup>2</sup> Tapasztalat. — Szerk.

sokkal későbbben jelentkezett. Azonban jelentkezett és jelentkezése nem maradhat hatástalan a növényélettan sorsára. Ahogyan az orvostudományi iskolákban kibontakozott az állatélettan, ugyanúgy bontakozik ki a növényélettan az agronómiai iskolákban. . .

. . . Agrártudományi intézményeinkben a kísérleti élettan is hajlékot kapott a földművelés mellett s most kéz a kézben halad vele, fényt vet annak útjára és maga is gazdagszik a földművelés értékes, évszázados tapasztalataival. Így kell ennek lennie s más tudományok példájáról ítélve, kétségtelenül így is lesz. . .

Ha a tudomány képviselői azt akarják, hogy a társadalom velük érezzen és támogassa őket, nem szabad feledniök, hogy ők a társadalmat szolgálják, hogy időnként úgy kell a társadalommal szemben eljárniok, mint megbízóikkal szemben, akiknek számadással tartoznak. Be kell számolniok a társadalomnak: ezt tettük, ezt tesszük és ezt kell még tennünk — ítéljétek meg, mennyire hasznos az a jelenben és milyen reményeket kelt a jövőre vonatkozóan.

Véleményem szerint ez az egyik feladata az úgynevezett népszerű tudományos irodalomnak s a népszerű olvasmányoknak; ez az a feladat, amelyet gyakran figyelmen kívül hagynak s a tudomány közérthető magyarázatában csupán annak egyik oldalát nézik: lehetőleg könnyedén, szórakoztató formában kívánnak tanítani.

Mint már említettem, abból a célból, hogy megérthessük a növény életét, mindenekelőtt meg kell ismerkednünk alakjával s abból a célból, hogy megismerhessük a gépet, meg kell ismernünk szerkezetét is. Vessünk hát futó pillantást elsősorban a növényi élet olyan külső, alaki megnyilatkozásaira, amelyeknek megfigyeléséhez sem különleges előképzettségre, sem a kutatás különleges technikai eljárásaira nincs szükségünk.

Kezdjük szemlénket a növényi életnek a téli álmom és dermedtség utáni ébredésével. Milyen állapotban találja ezt az életet a tavasz és hol rejlenek ennek az új életnek a csírai? A magban rejlenek, amely a talaj és a vastag hóréteg oltalma alatt megtartotta életképességét. Megbújtak a rügyekben s a rügypikkelyek védelme alatt viselték el a zord tél viszontagságait. A tavaszi nap kisüt és a fel szabadult rögökből kibukkannak a zöld sarjak, a fákon és a bokrokon megrepednek, felpattannak, kifakadnak a levélrügyek s levetik csúf, feleslegessé vált rügypikkelyeiket. A mag és a rügy: ez az a két szerv, amelyekből a mindennapi tapasztalat a növényi élet kezdetét levezeti. Kezdjük mi is ezekkel a szervekkel szemlénket.

Mindenekelőtt: mi a mag és milyen részekből áll? Vegyük példának a közismert borsó- vagy babszemet. Ha a borsót vízbe áztatjuk, megduzzad, leválik a héja. A héj alatt két húsos vagy



inkább merev-porcós félrész van. A két fél közé egy kis test ékelődik be, amely mintha elválasztó vagy gát lenne a két fél között. Ebben a kis testben szabad szemmel, de még inkább nagyítóval minden nehézség nélkül felfedezhetjük a kezdetleges növénykét, a fiatal



1. ábra

csírat, amely szárból, levelekből és gyököcskékből áll (1. ábra). Ez a csíra köti össze a két magrészt, a két sziklevelet. Ezek a részek, noha sokkal nagyobbak magánál a csíránál, annak csak mellék kiegészítései. Milyen szervek a sziklevelek? A botanikusok azt mondják, hogy levelek. A szintelen, nem zöld, kerek és húsos, föld alatt maradó

testeket levélnek nevezik s amint nyomban látni fogjuk, nem is alaptalanul. Elegendő, ha áttérünk a borsóról a hozzá legjobban hasonló növényre, a babra. A bab sziklevei már nem maradnak a föld alatt, hanem a föld felszínére jönnek és a levelekhez hasonlóan megzöldülnek (2. ábra). A jávor [és a kőris szikleveleinek alakja még inkább megközelíti a közönséges levelet és végül a hárs



2. ábra

sziklevei már valódi, vékony, zöld levelekké alakulnak, csipkézett széllel és erezettel. Így tehát a borsó szikleveleit, habár sem a színük, sem az alakjuk nem emlékeztet a levélre és a földben élnek, mégis leveleknek kell elismernünk. Ezek után az első, a valódi levelekre nem hasonlító szervek után a felfelé nyúló száron megjelennek a valódi levelek, de ezek kez-



3. ábra

detben nem minden növényen ugyanolyanok, mint amilyeneket a felnőtt növényeken találunk. Vegyük például a fiatal kőrisnövényt. Mindannyian is-

merjük a kőrisfa leveleinek alakját. A közös levélnyélen néhány párosan szárnyalt levélpár helyezkedik el és a nyél végén egy levél van; ennek megfelelően az egész levél hét, kilenc vagy több levélkéből áll. Ez az úgynevezett összetett levél. De mit látunk itt? (3. ábra) A nyelvalakú, kissé húsos két sziklelevél után két csipkészlű, világos erezetű levél következik, ezek a levelek azonban nem összetettek, hanem egyszerűek. Magasabban a száron már háromlevelű leveleket találunk s még magasabban öt-, azután pedig hét- és kilenclevelű összetett levelek kezdődnek, tehát olyanok, amilyenekből a felnőtt fa lomblevelézete áll. A sziklelevél és a valódi levél között tehát az átmenet fokozatos és a kettőt a közbenső formák egész sorozata kapcsolja össze. Önkéntelenül is azt a benyomást keltik, hogy ezek a szervek egymásból alakultak ki, hogy átmeneti fokozatok, amelyeken keresztül kell haladni.

Térjünk át a rügyre, például a fák közül a jávor vagy a vadgesztenye (bokrétafa), a bokrok közül a ribiszke rügyére. Külsőre sajátos szerveket látunk: a rügypikkelyek sötétbarnák, vékonyak, héjszerűek s olykor ragadósak, enyvesek. Ha azonban szétmorzsoljuk a rügyet vagy megvárjuk, amíg kifakad, s egyik részét a másik



4. ábra

után leszedjük és sorban egymás mellé tesszük, a következőket figyelhetjük meg: a szélén néhány valódi rügypikkely van; ezek sötétszínűek, rövidek, tompák és csaknem kerekék (4. ábra). Azután a részecskék alakja egyre inkább megnyúlik s színük zöldbe megy át; az egyik pikkely csúcsán bizonytalan, gyűrött dudort



5. ábra

látunk; a továbbiak során ez a dudor megnövekszik és szétfeszül. Ez a dudor a valódi, kissé összegyűrt levél. Minél mélyebben van ez a szerv a rügyben, annál világosabban alakul át a levélnek azzá a részévé, amelyet *lemeznek* nevezünk. Az első pikkelyek széles része, amely a továbbiakban összeszűkül és megnyúlik, felveszi a levélnyel valódi szárszerű alakját (4. ábra: vadgesztenye; 5. ábra: ribizske). Itt tehát ugyanazt a jelenséget látjuk, amelylyel a fiatal kőrösnövény-nél találkozunk. Ott a sziklelevél, itt a rügpikkely nem érzékelhető, közbenső formákon keresztül levéllé változik át. És ismét felmerül a kétség: vajjon nem egy és ugyanaz a szerv ez, amely csupán különleges rendeltetésének megfelelően változik?



6. ábra

A magból vagy a rügből kiindulva, eljutottunk az igazi levélig. A növény zöld lombzata ilyen levelekből áll. Az ilyen levelek létrehozásában a növény mintha csak kitaposott úton járna. Fejlődő csúcsa alatt levelet levél után hoz létre, egy mintára, mintha csak formába öntené azokat. A növény azonban nemcsak leveleket hoz létre. Ha bizonyos életkort elért, más szerveket — virágot és termést is hoz. A levél és az attól látszólag teljesen különböző virágszervek között az átmenet rendszerint hirtelen következik be. Nem ritkaság azonban az olyan eset sem, amikor a virág megjelenését előre észre lehet venni azokon az elváltozásokon is, amelyek a felső leveleken észlelhetők. Vegyünk egy közismert növényt, a közönséges kerti pünkösdi rózsát. A leveleit mindannyian ismerjük. Ha az egyik ilyen levéltől elindulunk felfelé a száron a virág irányában, minden újabb levéllel megváltozik a levél alakja, végül pedig rá sem ismerünk az eredetire. Ahonnan kiindultunk, ott az egész levél tizenegy vagy kilenc levélkéből állott, amelyek hármásával helyezkedtek el; itt már csak három levél van és a kétféle levél közötti

részen olyan összetett leveleket is találunk, amelyek hét vagy csak öt levélkéből állnak (6. ábra). Végül az egész levél csak egy levélkéből áll (7. ábra, baloldal). Mint láthatjuk, ez a jelenség éppen fordítottja annak, amelyet a kóris esetében észleltünk. Ott a levél alakja bonyolultabbá lett, itt pedig egyszerűbbé vált, tehát ugyanazokat a fokozatokat fordított irányban tette meg. Ez az egyszerű kis levél azonban még



7. ábra

igen hasonlít a teljes levél felső tagjához, azonban még ez is megváltozik. A rövid levélnyel kiszélesedik, lapos, héjszerű pikkelyé nyúlik, a levéllemez pedig egyre kisebb lesz, míg végül ennek a héjszerű pikkelynek a csúcán kis zöld nyelvecske alakjában jelenik meg (7. ábra), de ez is kis erecske vagy sörte alakját ölti a pikkely felső bemélyedésében, hogy azután teljesen eltűnjék (8. ábra). Egy hártyás pikkely marad előttünk, amelynek színe sárgászöld, a széle pedig vöröses. Ez a levél szinte a szemünk előtt alakult át. A levél lemeze eltűnt, a levél nyeléből pedig olyan szerv alakult ki, amely eredete és rendeltetése szerint a bokrétafa rügén vizsgált



8. ábra

rügypikkelyre emlékeztet. Mind ez, mind a másik példa lemezesen fejlődött nyelet mutat. Ahogyan a rügyben a pikkely a fiatal lomblevelet őrzi, úgy óvja ez a pikkely a virág belső, kényes részeit. Ezt a szervet *csészelevélnek* nevezzük és az egész csészelevélcsokrot együtt *csészének*. A csészelevél tehát nem más, mint megváltozott levél. Ez sokszor önmagától is szembetűnik — érdemes itt a rózsza csészeleveleire utalnunk, amelyek megtartották a levéllemez alakját — de a fokozatos átmenetet kevés növényen figyelhetjük meg olyan jól, mint a bazsarózsán (*Paeonia officinalis* L.).

A csészelevelek után a virágban egy sor levélke következik, melyek színe hol fehér, hol ragyogóan színes, felületük pedig finom, atlaszszerű vagy bársonyos. A művirágkészítők mindezt nagy türelemmel utánozzák. Ezek a levelek: a *szirmok* és a *szíromlevelek* együttvéve: a *párta*. Úgy látszik, mintha itt hirtelen ugrással állnánk szemben, hiszen a rózsza szirmai és csészelevelei semmiben sem hasonlítanak egymásra. Hagyjuk azonban a rózsát és forduljunk más virágok felé. A bazsarózsza esetében már megtaláltuk a csészelevelek és a szirmok között az összefüggést; a csészeleveleknek ugyanis piros szegélyük van és a szirmok felső részén pedig olyan bemélyedést (8. ábra) látunk, amely a csészelevelek hasonló bevágásaira (7. ábra, jobboldalon) emlékeztet. Teljesen tanácstalanul állunk meg azonban a kamélia előtt, mert itt valóban nem tudjuk, hogy hol végződnek a csészelevelek és hol kezdődnek a szirmok, annyira fokozatos és észre nem vehető átmenet van a kemény, zöld csészelevelektől a finom fehér vagy lilásszínű szirmokig. A szírom átalakult csészelevél, a csészelevél viszont átváltozott lomblevél, s így a szírom sem más, mint levél.

Pillantsunk most a virág mélyébe. Vegyünk erre a célra valamilyen nagyobb virágot, mondjuk a liliumot. A virág közepéből néhány vékony szárból vagy lábacskából álló szerv emelkedik ki. Ezeknek felső végén keresztben két hosszúka, sárgaszínű kis zacskó ül. A zacskók hosszában megrepednek és a repedésből narancssárga por hull ki. Ezeket a szerveket *porzóknak* nevezzük. A port tartalmazó zacskókat *virágportokoknak* hívjuk s az ezeket tartó szálaknak *porzósál* a neve. Úgy látszik, mintha a porzó és a szírom között már semmi összefüggés nem lenne. Ne siessük el azonban a dolgot és keressünk ismét találó példát. Mindannyian ismerjük a tavainkban és folyóvizeinkben mindennapos tündérrózsát. Ott úszik a víz színén csaknem kerek leveleivel és fehér virágaival. Szedjük szét egy ilyen nagy fehér virágot és rakjuk a szerveit úgy egymás mellé, mint azt a bokrétafa rügyeinek részeivel tettük. Kezdjük el a külső, szélső fehér szirmokkal és a virág közepe felé haladva a sárga portokokkal és a kissé elszélesedett, lapos porzósálakkal fejezzük be,

téhát azokkal a szervekkel, amelyekben ráismerünk a porzóra (9. ábra). Láthatjuk, hogy itt is teljességgel észrevehetetlen az átmenet. Ime, itt van az igazi fehér szírom, de a tetején megjelent két kis sárga folt. Ezek folytonosan növekednek, ugyanakkor a szírom alapja összehúzóul. Most már világosan látszik a két hosszúka zacskó, a szírom alapja pedig keskeny csíkká vékonyodik. Végül itt van a valódi porzó, amelyen a virágpörtökök meghasadnak s kiszóródik belőlük a virágpör. Így alakult át a szírom porzóvá. Az ilyen átalakulás lehetőségének bizonyítéka, hogy fordítva, a porzó is átalakulhat szírommá; ezt a virágkertészek fel is használják. Azokat a virágokat, amelyeknek porzói szirmokká változtak át, *telt*<sup>1</sup> (teljes, dupla) virágoknak nevezzük. Így például a közönséges bazsarózsának öt szirma és igen sok porzója van. A teltvirágú bazsarózsában viszont sokkal több szírom és ennek megfelelően kevesebb porzó van. Ha alaposabban megvizsgáljuk a teltvirágú bazsarózsát, észrevevessük, hogy a belsőszirmai átmenetek a porzókhoz. A vöröszínű, kissé összehúzózott leveleken ott látjuk a többé-kevésbé kifejtett, sárgászínű virágpörtökocskákat. A rózsánk ősalakján, a vadrózsán csak öt szirmot, de igen sok porzót találunk. A kerti rózsában



9. ábra



10. ábra.

a porzók egy része szírommá alakult át s ezért van ennek a rózsának sokkal több levele. A virág teltsége abból a szempontból is érdekes, hogy bizonyos fokig mesterségesen is előidézhetjük. Ugyanígy mesterségesen előidézhetjük azt is, hogy nyíló levélrügyek pikkelyei-

a porzók egy része szírommá alakult át s ezért van ennek a rózsának sokkal több levele. A virág teltsége abból a szempontból is érdekes, hogy bizonyos fokig mesterségesen is előidézhetjük. Ugyanígy mesterségesen előidézhetjük azt is, hogy nyíló levélrügyek pikkelyei-

<sup>1</sup> A valóságban, a természetben a virágrészek nyilvánvalóan úgy képződtek, mint a mi telt virágainkban; vagyis a szirmok lettek a porzókból és nem fordítva, a porzók a szirmokból. — Az orosz kiadás jegyzete.

nek egy része valódi levelekké alakuljon. Tehát nemcsak a megfigyelés, hanem a kísérlet alapján is egyre több meggyőződéssel vonhatjuk le azt a következtetést, hogy az egyik fajta levélszerv átalakulhat másik fajta levélszervvé.



11. ábra

Folytassuk utunkat és hatoljunk még mélyebbre a virágban. A porzók után eljutunk a virág utolsó szervéhez. Ez a szerv azért utolsó, mert a virág közepén van és mert a virág ezzel fejezi be növekedését, sőt ezzel fejeződik be annak a szárrésznek a növekedése is, amelyen a virág ül. Ezt a szervet *bibének* vagy *termőnek* nevezzük. Bibének azért nevezzük, mert néha (például a meggy esetében, 10. ábra) alakjával, duzzadt, gömbölyű tövével (*magház*), elnyúló nyakával (*bibeszál*) és gömbszerű csúcsával (*bibe*) a bunkóra emlékeztet.<sup>1</sup>

Termőnek azért hívjuk, mert ez a virágnak az a része, amely terméssé alakul. A virágban néha egy, néha több termő van. A termő alsó része a magház, mely szerv belül üreges s az adott esetben leginkább egy palackhoz hasonlít. Az üregben egy vagy több, sokszor pedig igen sok kerek, fehéres színű test van; ezek a *magkezdemények*. Ismét gyanakvással fogadjuk ezt a szervet s ezúttal valóban úgy látjuk, hogy a levélhez való hasonlatosságának még az árnyéka is hiányzik. A jól kiválasztott példa azonban ismét arról győz meg, hogy ez a szerv is egy vagy több levélből képződött. Néhány rendellenesen fejlődött torz virág — idesorolhatjuk a teltvirágúakat is — megadja a kérdés megoldásának kulcsát. Így például ugyanannak a meggynek vagy cseresznyének telt virágaiban a palackalakú termőszerv egy vagy két valódi levélle alakul át (11. ábra)<sup>2</sup>. Sokszor arra sincs szükség, hogy torz növényeken keressük meg a termő és az abból fejlődött termés levélszerű jellegét. Nézzük csak meg a hüvelyes növények termését, például a borsóét (köznapi nyelven babtermésű, botanikus nyelven hüvelyestermésű növény), vagy még inkább a bazsarózsa termését. Nyomban meggyőződhetünk

<sup>1</sup> Bibe = pesztik, bunkó = peszt; a magyarázat a két kifejezés hasonlatosságán alapuló szójáték, amelyet a magyar nyelvben nem adhatunk vissza. — Ford.

<sup>2</sup> A = részben levélle alakult termő; B = ugyanaz a termő keresztmetszetben; C = két levélle alakult termő. — Az orosz kiadás jegyzete.

arról, hogy az nem egyéb, mint levél, amelynek szélei egymásra hajoltak, hosszirányú varratban összeforrtak és belül üreges szövet képeztek. Más példákön, amikor az érett termést szétválasztjuk, világosan láthatjuk, hogy a termés és így a termő is, amelyből a termés lett, néhány a széleken összeforrt kis levélből áll. A termés tehát egy vagy több megváltozott levélkéből keletkezett; ezeket a leveleket a botanikusok *termőlevelek*nek nevezik. A termő azonban a rendellenes virágban nem változik mindig igazi levéllé, mint azt a meggy példáján láttuk. Olykor a hozzá közelebb eső szervekké alakul: porzóvá vagy szírommá. A fűzfa virágán néha megfigyelhetjük az átmenetet a termő és a porzó között. A telt bazsarózsák közepén gyakran világos pirosszínű szirmokat látunk, amelyeknek szélén tiszta fehér magkezdemények ülnek. Ezek nyilvánvalóan szírommá alakult termők, amelyek megtartották magkezdeményeiket. A termő tehát visszaváltozhat bármelyik megelőző szervvé, lehet belőle porzó, szírom, sőt valódi zöld lomblevél is. Vajjon nem mutat-e ez világosan arra, hogy minden szerv azonos eredetű?

A növény elemzése közben elérkeztünk legfelső szervéhez, a termőhöz. Az út nem visz tovább, tehát szálljunk le a termésbe, a magház üregébe. Már említettük, hogy ebben az üregben vannak a magkezdemények. Mi is az a magkezdemény? A választ most is, mint az előbb, némely rendellenesen elváltozott virág adja meg. Az olyan virágokban, amelyekben a termők zöld levelekké alakultak át, a levélszéleknek azon a helyén, ahol a magkezdeményeknek kellene ülniök, kis zöld levélkéket vagy levélrügyecskéket találunk. Tehát a magkezdemények és azok részei sem egyebek, mint levelek vagy levélrészek.

Mindezek alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a virág minden része átalakult levél, az egész virág pedig átalakult levélrügy. E nézet helyességét igazolja az az elég gyakran előforduló eset, amikor a virág közepéből zöld, levelekkel borított ágacska nyúlik ki. Még olyan esetek is előfordultak, amikor ez az ágacska a magház üregéből nőtt ki, sőt az is, hogy az ilyen lemetszett és elültetett ágacska megeredt.

Mi a további sorsa azonban annak a magkezdeménynek, amely rendellenesen nem alakul zöld ágacskává? Amikor a növény elvirágzik, szirmai lehullanak, porzói elhervadnak és a termőből termés lesz, a magkezdemény maggá, vagyis új növények kezdetévé változik. A növény külső részeinek szemléje itt nyilvánvalóan véget ér. Teljes képet adtam Önöknek a növény külső életének megnyilatkozásairól. Kezdtük a maggal és ismét visszatértünk a maghoz. Ezzel végigjártuk a növényi élet egész körforgását. Az egyik élet-



ciklust követi a másik hasonló ciklus az egymást váltó nemzedékek végtelen során keresztül.<sup>1</sup> A növényi szerveknek ezt az unalmas, de a továbbiak szempontjából mellőzhetetlen felsorolását azzal igyekeztem valamennyire színessé és élénké tenni, hogy a felsorolást egy vezérgondolathoz : a szervek átalakulásának vagy *metamorfózisának* a gondolatához fűztem. A tudomány ezt a gondolatot elsősorban egy tudós költőnek : Goethenek köszönheti. A növényi életnek ebből a szémszögből való vizsgálata könnyen úgy tűnhetik fel, mint a képzelet bohó játéka, mint valami egymást kergető, egymásbafolyó ködképek sorozata. Alig bontakozik ki Önök előtt valamelyik szerv adott alakja, máris homályossá, felismerhetetlenné, határozatlanná válik, hogy lassan újra megvilágosodjék ; ekkor azonban már más szerv, más forma áll előttünk. A változás mindig tovább folyik: az egyik forma helyet cserél a másikkal, észrevétlenül átme gy a másikba, míg csak a fejlődés teljes körforgása le nem záródik, míg csak nem lesz belőle ismét az eredeti, kiinduló alak. Eddig csak a levélszervekről beszéltünk, de a növény testét még két más szerve is szolgálja, amelyeknek kezdeményét szintén megtaláljuk már a magban: a leveleket hordozó szár és a gyökér. Ez a két, első tekintetre igen különböző és igen eltérő környezetben élő szerv is, noha ritka esetben, kölcsönösen átalakulhat. Ilyenkor a földbe mélyülő szár gyökérszerűt ölt, a felszínre kilépő gyökér levelekkel borítódik be és szárjellegűvé alakul. A szár és a gyökér tehát ugyanannak a szervnek: a *tengelynek* eltérő életkörülményekhez alkalmazkodott változata.

\* \* \*

A tengely járuléka i a levél és annak változatai : a csészelevél, a szírom, a porzó és a többi. Mindezek együttvéve azok a külső szervek, amelyeket élete folyamán a kifejlett növény kialakít.

Eddig a növényekről elterjedt közkeletű felfogás alapján feltettük, hogy a mag a növényi élet kezdete és vége. Felmerül azonban a kérdés: joggal látjuk-e a magban az igazi kezdetet, a növényi élet valódi kiindulópontját? Nem tolhatjuk-e ki a kezdet határait messzebbre, nem követhetjük-e az életet egyszerűbb kezdetéig? Valóban, a mag, amelyet leírtunk, még igen bonyolult test és a csírában kezdeti állapotban már megtaláljuk az egész növényt, annak csaknem minden szervével együtt.

<sup>1</sup> A szerző az előadás alkalmával bemutatott egy nagyszerű (néhány öles) képet, amelyet kitűnő írónk: V. G. Korolenko — akkor a petrovszki Akadémia növendéke — festett. Sajnos, a gyönyörű kép az Akadémia egész botanikai szertárával együtt elpusztult az 1880. évi tűzvész alkalmával. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

Ha a növényi szervezet egyszerűbb kezdeteit keressük, olyan növények felé kell fordulnunk, amelyek különböznek a növény köznapi értelemben vett fogalmától, attól a jellegzetes növénytől, amelynek magja és virága van és amelyet az imént megismertünk.

Szakadjunk el képzelőerőnk segítségével egy pillanatra a valóságtól és menjünk el gondolatban Moszkvának egyik festői környékére, például Kuncevóba; idézzük emlékezetünkbe azt a benyomást, amelyet a kuncevoi szakadékba vezető ösvényen szereztünk. Emlékezzünk csak arra, hogy amint behatoltunk a zöld sűrűbe, egyre inkább körülvelt bennünket a nedves, párából terhes légkör szemünk elé egészen sajátos növényzet tárult. Minden lépésnyire a szakadék mélyéről vagy a hasadékokból egész köteg zöld perje hajlott ki, mint a struccokk vagy a földreboruló pálmaágak. Széttérülő, tagolt levélzetű páfrányok emelkedtek fel és még lejjebb, az iszapos parton vagy a patak vizében és a tócsafoltokban ott sorakoztak a zsúrlók sűrű borostájú nyilai, csúcsukon épen maradt fekete fejecskéikkel. Valami idegenszerű, szokatlan üli meg ezt a képet. Önkéntelenül azt érezzük, hogy ez a növényvilág egészen más, mint az, amely a szakadék szélén él. Ez az ösztönszerű benyomás nem csal meg minket. A páfrányoknak és a zsúrlóknak ez a világa valóban egészen sajátos világ, vagy pontosabban, töredékes emléke annak a növényvilágnak, amely bolygónkat egykor, a rég letűnt geológiai korszakokban, benépesítette. Ezek a páfrányok és zsúrlók, továbbá az ezekkel rokon s a mi erdeinkben is megtalálható közönséges korpafű vagy azok a kúszó, sovány, mohaszerű növények, amelyekből helyenként sárgás, kalászra emlékeztető termőfüzerek emelkednek ki — ezekkel szokták néha a télikertek ablakait díszíteni — a velük rokon növényi alakokkal együtt Földünk növénytakarójának javarészt alkották abban a korszakban, amikor a kőszén keletkezett. A kőszén megőrizte maradványaikat, egész törzseket, leveleik és termésük lenyomatát. Ezekből a maradványokból egy kis képzelőtehetség segítségével elővarázsolhatjuk a Föld régi növényzetét, megfesthetjük olyan táj képét, amelyet emberi szem sohasem látott. Ennek a távoli korszaknak erdeiben faalakú páfrányok éltek, amilyenek manapság csak néhány trópusi ország párás levegőjű erdeiben maradtak meg vagy melegházainkban nevelkednek. Az alacsony, földön kúszó korpafűvünk egykor hatalmas, pikkelyes testű fává (*Lepidodendron*) nőtt, szikár, alacsony zsúrlókat pedig, amely csak valahol Dél-Amerikában ér el egypár méter magasságot, a hatalmas faalakú *Calamitas* és *Equisetites* képviselték.

Több ízben használtam az imént egy olyan kifejezést, amely magyarázatot kíván és önkéntelenül visszavezet eredeti kérdésünkhöz. Azt mondtam, hogy a korpafű rokona a páfránynak és a zsúrló-

nak s hogy ezeknek a növényeknek ma élő alakjai rokonságban vannak az ősi megkövült alakokkal. Mit jelent ez a rokonság és mi a különbség a páfrányok, zsúrlók, korpafüvek és a többi — lombos vagy tűlevelű — növények között?

A páfrányok életének bizonyos sajátosságai már régen felkeltették még a tanulatlan emberek figyelmét is. Ismerjük azt a költői tartalmú néphitét, hogy a páfrány Iván nap előtti éjszakán kivirágzik. Ennek a néphitnek az a megfigyelt tény az alapja, hogy a páfrány nem virágzik, hogy a páfránynak nincsenek olyan virágai, mint a többi növényeknek. Ugyanaz vonatkozik a zsúrlóra és a korpafűre is. Ezeket a növényeket *edényes virágtalanoknak* nevezzük. Ha azonban nincsenek virágaik, akkor magvaik sem lehetnek, mert a magvak a virágban a magkezdeményekből fejlődnek.<sup>1</sup> Hogyan szaporodnak hát ezek a növények? Ha megfigyeljük a páfrány leveleinek fonák oldalát, a zsúrló fekete tobozkáit, vagy a korpafű sárga termőfüzéreit, észrevevesszük, hogy érés idején mindegyiken hasonló jelenség mutatkozik. Ha ezeket a tenyerünk vagy fehér papírlap felett megdörzsöljük, igen finom barna vagy sárgaszínű por gyűlik össze. Ez a por rendkívül apró, csak mikroszkóppal látható testecskekből áll. Olyan parányiak, hogy egy versokon<sup>2</sup> vagy ezerötszáz darabot tehetnénk egymás mellé. Minden ilyen porszem egy új növénynek adhat életet. Ez az úgynevezett korpafűmag, sárga, tapintásra igen finom por, amely a korpafű termőfüzéreiből kiszóródik. A gyógyszerárakban ezt a port használják a pilulák behintésére. Ha ebből a porból egy marékkal a gyertya lángja fölé szórunk, a porfelhőt villámszerű lángok futják át. A régi időkben ezt a port használták a színházban a villámlás utánczására. Ebben a lángban a jövő növények millióinak csírái vesznek oda. Ezeket a mikroszkópikus kicsinységű testeket a botanikusok *spóráknak*, azokat a növényeket pedig, amelyek így — tehát virágok és magvak nélkül — szaporodnak, *spórás növényeknek* nevezik. A spórás növények körébe tartoznak a már említett növényeken felül a mohák, az algák — az utóbbiakat a mindennapi életben moszatoknak is hívják — továbbá a *gombák*, mégpedig mindazok, amelyeket így neveznek, de mindazok is, amelyeket köznyelven penésznek hívnak.

Ebből láthatjuk, hogy a spórás növény — akár a mikroszkópikus penész, akár a faalakú páfrány — eredetét ennek a szemmel láthatatlan porszemnek, a spórának köszönheti. Mi hát a spóra? Nem fedezzük-e fel a spórában a növénynek azt az ismeretlen, legegyszerűbb kezdetét, amelyet a magban nem találtunk meg?

<sup>1</sup> Az utolsó előadásból majd meglátjuk, hogy ez a következtetés nem teljesen helytálló. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> Versok = régi orosz hossz mérték; 4,445 cm. — *Ford.*

A mikroszkópos vizsgálat tanúsága szerint a spóra kemény burokkal bevont hólyagocska, amely cseppfolyós és félig cseppfolyós anyagokat tartalmaz. Ez az úgynevezett *sejt*. A sejten belül kell valamennyi szervezet legegyszerűbb kiinduló kezdetét látnunk. A sejt már nem tudjuk olyan részekre bontani, amelyek önállóan is képesek az életre. Ez az a tényleges határ, amelyet nem léphet át a morfológiai analízis; ez a szerves egység. Ezzel kapcsolatban önként kínálkozik a kérdés: nem kísérhetjük-e vissza a mag keletkezését is addig a kezdőpontig, amikor az csak egy sejtből áll? Hiszen a mag sem keletkeztetett egyszerre gyököcskéjével, szárával és szikleveleivel együtt. Az egyik későbbi előadásunk során majd valóban meggyőződhetünk arról, hogy minden magvas növény egy sejtrel kezdődik. Ez a sejt a magkezdeményben van, amelynek szerkezetét majd közelebről is megismerjük. Ezek szerint minden növény, akár spórás, akár virágos (magvas), egy sejtrel kezdődik. A különbség csupán az, hogy az előbbieknél ez a sejt elválik attól a növénytől, amelyben keletkezett, az utóbbiaknál viszont abban fejlődik ki, bonyolult szervvé nő, maggá lesz és csupán ebben az alakjában válik el az anyanövénytől. Minden, ami él, akár a legkezdtelegesebb növény, akár maga az ember, egy sejtrel kezdődik. Némelyik mikroszkópikus növény s olykor a nem mikroszkópikus növények is, egész életükön keresztül megtartják egysejtű szerkezetüket, más növények egysejtű szerkezete viszont fejlődése közben bonyolultabbá válik, egy sejtből kettőt, többet, végtelen sok sejtet képez.

A növények teste nemcsak sejtből keletkezik, hanem valamennyi részük sejtekből is áll. A sejt az a téglá, amelyből a növény teste felépül.

Erről néha közvetlenül, minden nagyobb fáradság nélkül, máskor viszont nagyon egyszerű eljárások segítségével győződhetünk meg. Így például, ha jól megfigyeljük az érett görögdinnye vékonyan metszett szeletét, látjuk, hogy lazán egymáshoz csatlakozó hólyagocskákból áll, amelyek ikrákra vagy gyöngyszemekre emlékeztetnek. Ezek a kis hólyagok sejtek, amelyek az érett gyümölcsben rendszerint elvesztik szoros kapcsolatukat és szabadabbá válnak. Más esetekben ez a kapcsolat önmagától nem szakad meg, csak bizonyos eljárások segítségével lehet megszüntetni. A nyers burgonyaszelet például sűrű testnek látszik s azon mikroszkóp nélkül nehéz lenne valamiféle szerkezetet felfedezni. Ha azonban a burgonya szétfőtt s az így szétesett burgonyát vizsgáljuk, szabad szemmel is világosan látjuk, hogy egyes sejtekből áll. A forró víz vagy a gőz főzés közben elpusztította a sejtek között a kapcsolatot és a sejtek szabadok lettek. Valamivel nehezebb a sejtek szétválasz-

tását sűrűbb szövetekben előidézni. Nincs azonban olyan kemény szerv, hogy sejtjeit szét ne választhatnánk, még ha egy darab fáról, meggyagról vagy pálmagról van is szó, amely olyan kemény, hogy külsőleg teljesen az elefántcsontra emlékeztet, úgy hogy az esztergályosok elefántcsont helyett apró tárgyak készítésére használják. Az ilyen tömörségű testek sejtjeinek szétválasztására vegyszerek hatását kell igénybe venni.

Arról azonban, hogy a növényi anyag sejtekből áll, meggyőződhetünk a sejtek szétválasztása nélkül is. Ha borotvával igen vékony és teljesen átlátszó szeletet metszünk a növény bármelyik részéről, s azt mikroszkóp alatt vizsgáljuk, azt látjuk, hogy a növényi rész egymással összefüggő, tömör sejtekből, az úgynevezett *sejtszövetből* áll.

Az előadottakból nyilvánvaló, hogy a sejt ismerete nélkül nem érthetjük meg a növényi szervek életét sem, mert ezeket a szerveket a sejtek tömege alkotja. Amint a kémiában az anyagok tanulmányozását az egyszerű testekkel, az elemekkel kezdjük és csak azután folytatjuk a vegyületeikkel — a botanikában is a növényi szervek vizsgálatát az *elemi szerven*, a sejten kell elkezdni.

\* \* \*

Az eddig megismert tények elégségesek ahhoz, hogy felvázoljuk előadásaink általános tervét. A növény élete során egész sor olyan szervet képez, amelyek már külső alakjuknál, a külső környezettel szemben elfoglalt helyzetüknél fogva világosan megmutatják, hogy egészen eltérő célokat kell szolgálniok, egészen különböző működést kell kifejtteniök. Nyilvánvaló, hogy a földbe fúródó gyökér szerepe nem ugyanaz, mint a zöld levélé, amely a levegő és a fény felé törekszik. A sziklevek szerepe más, mint a szirmoké; más szerepet játszik a porzó is, amely a levegőben szabadon szétszórja virágporát, mint a magkezdemény, amely a termő magházak mélyén rejtőzik. A fizioológus első dolga, hogy kikutassa minden szervnek és működésének jelentőségét. Kezdetben tehát kettős feladat áll előtte: »adva van a szerv, meg kell keresni a működését«, azután »adva van a működés, meg kell találni a szervet«. Mindenekelőtt pedig meg kell ismernie az elemi szerv, a sejt működését, annak általános és különleges megnyilvánulásait. Amikor azonban már világos előtte, hogy miben áll a különböző szervek jelentősége, amikor meggyőződött arról, hogy milyen tökéletesen végzik munkájukat és alkalmazkodnak környezetükhöz, amikor már tudja, hogy mennyire szükségesek és összeillők kölcsönhatásaik, amelyeknek eredménye a szervezet általános életműködése, csak akkor dereng benne a belátás, hogy feladatának

nem ért a végére, hogy mindezekből a részletkérdésekből egyetlen kérdés lép előtérbe, a legáltalánosabb kérdés, a kérdések kérdése : hogyan alakultak ki mindezek a csodálatos szervek s hogyan jutottak el a tökéletességnek arra a fokára, amely szinte megdöbben bennünket, ha az élő természetet kutatjuk?

Amikor ezt a legáltalánosabb kérdést is hozzáadjuk azokhoz a kérdésekhez, amelyeknek megoldására a fiziológusnak törekednie kell, kifejezzük azt, hogy azoknak a természettudósoknak az oldalán állunk, akik ennek a kérdésnek a felvetését lehetségesnek és helyénvalónak tartják. Tudjuk jól, hogy a természettudományok területén ma két iskola, két tábor harca zajlik. Az egyik iskola szélsőséges képviselői az élő természetben valami gyülekezetet, az élőlények múzeumát látják. Azt hiszik, hogy az élő természet nem változik, hanem meghatározott, mozdulatlan formákba van öntve. Véleményük szerint a természetkutatók feladata abban merül ki, hogy ezeket a formákat általában leírják, mindegyikre a megfelelő címkét ráragasztják és a gyűjteményben a megfelelő helyre beállítják. A másik iskola képviselői az egész szerves természetet összefüggő egészként vizsgálják. Véleményük szerint a természet változik, alakul. A szerves világ ma nem olyan, mint tegnap volt, vagy amilyen holnap lesz. A földet ma benépesítő szerves lények fokozatos változásokon keresztül, azoktól származnak, amelyek azelőtt népesítették be a földet ; a tökéletesebb lények a kevésbé tökéletes lényektől erednek. Az utóbbi iskola élén Ch. Darwin áll, aki az összegyűjtött adatok tömegéből összhangzatos egészet formált és az addig bizonytalan törekvéseknek határozott irányt szabott. Érthető, hogy az előbb említett első iskola híveinek szemében lehetetlen az a kérdés: miként alakultak ki és hogyan tökéletesedtek a szervek és általában a szervezetek? Szerintük sohasem alakultak ki, sohasem tökéletesedtek, mert teljesen kész állapotban jöttek létre, abban a tökéletes alakjukban teremődtek meg, amelyben most láthatjuk. Azok, akiknek meggyőződése szerint a szerves lények természete változékony, akik vallják, hogy a szerves formák egymásból keletkeztek, közben bonyolultabbakká vagy egyszerűbbekké váltak, de állandóan tökéletesedtek : csak azok vethetik fel azt a kérdést, hogyan keletkeztek a szerves formák és miért alkalmazkodtak éppen így működésükhöz és környezetükhöz? Arról, hogy milyen választ adhat a tudomány ma ezekre a kérdésekre, majd a befejező előadásomban igyekszem beszámolót adni, a kínálkozó alkalmat azonban most sem mulaszthatom el és ha ezúttal véglegesen nem is győzhetem meg Önöket az új tanítás fölényéről, legalább bebizonyíthatom azt, hogy ez a tanítás megvilágosít olyan tényeket, amelyekre különben nem találnánk magyarázatot.

Meglepő példák kiválasztásával és szembeállításával igyekeztem Önökkel elképzeltetni a metamorfózis tanának nézőpontjából a növény egész életét. Térjünk vissza egyes felhozott tényekre. Ha a növényeket valóban végleges, tökéletes formákban teremtették volna meg, vajjon mi értelme van akkor az említett átmeneti szerveknek, a szíromnak, amely nem szírom, a porzónak, amely nem porzó (a vízi liliom esetében), vagy a bazsarózsa csészelevelei csúcsán a járulékoknak vagy nyelvecskéknek? Ezek az átmeneti szervek önmagukban véve teljesen haszontalanok, mert nem alkalmasak annak a szervnek a funkciójára, amelyből származnak, de annak a szervnek a szerepét sem tudják betölteni, amely belőlük lesz (ez az oka annak, hogy ritka esetekben maradnak meg ebben az állapotban). Ha mindezt a teremtés egyes aktusainak szemszögéből vizsgáljuk, nem találunk semmiféle magyarázatot. Mihelyt azonban megengedjük a másik magyarázatot, ha legalább annyit elfogadunk, hogy a végtelen sok növényi forma megteremtése nem egyenként és véglegesen történt, hanem ezek az idők során fejlődtek ki egymásból s közben bonyolultabbakká vagy egyszerűbbekké váltak, de folytonosan tökéletesedtek, azaz létkörülményeikhez alkalmazkodtak — mindezek a tények határozott értelmet kapnak. Akkor ezekben az átmeneti alakokban a fejlődés valóságos lépcsőfokait látjuk, amelyeken a szervezet fokozatos lépésekkel halad a tökéletesedés, a számára szükséges szervek kialakítása felé. A metamorfózis gondolata, amelyet még az ellenkező nézet hívei is elismernek, de a maguk homályos és metafizikus szemszögéből magyaráznak, csak ilyen módon kap egészen határozott, reális értelmet. A metamorfózis nem más, mint térbeli kifejezése annak, ami az időben történt. A vastag, színtelen sziklevél csakúgy, mint a ragyogó színű, illatos szírom, egykor a közönséges levél csírájából keletkezett és csak lassanként alkalmazkodott új működéséhez. A közbeeső, átmeneti alakok tehát csak épségben megmaradt bizonyítékai ennek az átalakulásnak. Emlékek, amelyek alapján összeállíthatjuk a növényvilág történetét; éppen ezért értékesek a tudomány számára. Állíthatjuk-e azonban joggal, hogy a növényvilágnak van története? A geológia megerősíti ezt az állítást azokkal a példákkal is, melyekre már hivatkoztunk. Láttuk a páfrányok, zsurlók és korpafüvek példáin, hogy a föld egykor hatalmas urainak ezek az elkorcsosult utódai, ezek az elnyomorodott növényi nemek kénytelenek az erdők mélyén, a szakadékok fenekén bújkálni a mai növényvilág őket kiszorító képviselői elől. A földet tehát valamikor másféle növényvilág takarta. Ezek a növények egyszerűbb, spórás növények voltak; helyüket tökéletesebb, magvakkal szaporodó növényeknek adták át. Ezek szerint egyfelől a metamorfózis

ténye — és mint a továbbiak során majd látjuk, sok más hasonló tény is — másfelől a geológiai krónika bizonyosságot tesznek arról, hogy a növényvilágnak van története, tehát arról is, hogy a növényi formák származásáról feltett kérdésünknek van alapja.

Igy hát a fiziológus tekintete előtt mind tágasabb látóhatárok nyílnak meg. A fiziológus elsősorban a szerveknek és mindenekelőtt annak az elemi szervnek — tehát a sejtnek — a kutatása közben, amelyből valamennyi más szerv felépül, azután a szervek kölcsönhatásának összképe, illetőleg az egész növény egységes életének vizsgálata alapján igyekszik, amennyire csak lehetséges, megérteni az egységes egészként felfogott növényvilág életét és ily módon próbál fényt vetni mind tágabb és egyre általánosabb kérdésekre: a növény keletkezésének és tökéletesedésének, vagy más szavakkal, a szerves világ harmóniájának és célszerűségének kérdéseire.

Mielőtt azonban a szintézisnek ezen a fokozatosan emelkedő útján elindulnánk, elemzésünkben még mélyebbre kell hatolnunk. A növényt szervekre, a szerveket sejtekre bontottuk, de eddig a sejtnek csak a külső vázát láttuk. Pillantsunk tehát a sejt belsejébe, ebbe a mikroszkópikus méretű laboratóriumba, ahol az a sokféle anyag képződik, amelyet a növény előállít, ismerkedjünk meg ezekkel az anyagokkal s bontsuk szét azokat egyszerű alkotóelemeikre. Ebből a célból a mikroszkóp segítsége mellett mérőeszközök és kémiai reagensek<sup>1</sup> állnak rendelkezésünkre. Ennek a kérdésnek vizsgálata lesz következő előadásunk tárgya.

<sup>1</sup> Olyan kémiai anyagok, melyek más anyaggal jellemző vegyi hatást mutatnak, s ezzel lehetővé teszik az utóbbi anyag jelenlétének megállapítását.  
— Szerk.



## II. előadás

### A SEJT

*Az anyag megmaradásának törvénye. — A növény anyagának a külső környezetből való leszármazása. — A növény elemi összetételének és közvetlen összetételének fogalma. — A leggyakoribb kémiai elemek három alapsortja: jehérjék, szénhidrátok és zsírok. — A növény kémiai és mikroszkópos vizsgálata. — A növény tápanyagfelvétele. — Az anyagok diffúziójának fogalma: gázok és folyadékok diffúziója. — Kolloidok és krisztalloidok. — Az anyagnak a sejtbe jutását az anyag átalakulása magyarázza meg. — A sejt táplálkozásának alapmechanizmusa.*

A növény életének legjellegzetesebb vonása az, hogy növekszik. Erre utal a növény neve is. Ha a növekedés jelenségét elemezzük, azt látjuk, hogy a növekedés a sejtek szaporodásából áll. Ha azonban a jelenség lényegébe még mélyebbre hatolunk, arról győződhetünk meg, hogy a növekedés nem más, mint anyagok megjelenése és felhalmozódása ott, ahol addig nem voltak. Ha a földre makkot teszünk, tölgyfa nő belőle. Ha láthatatlan porszemet, spórát hintünk a földre, faalakú páfrány nő ki. Önkéntelenül felmerül a kérdés: honnan jött ez az anyag? A kérdés azonban már előre feltételezi azt a meggyőződést, hogy anyag nem keletkezhetik és nem tűnhet el. A természetről vallott tudományos meggyőződésünk alapja az anyag megmaradásának törvénye. Már az ókorban feltételezték, hogy »semmitől semmi sem lesz«, természetesen azonban nehézségekbe ütköztek volna, ha ezt a tételt kísérletekkel kellett volna igazolniuk. Így például, ha azt kellett volna bizonyítaniuk, hogy az elégetett anyag nem vált semmivé vagy ha azt a kérdést kellett volna megoldaniuk, hogy honnan van a növény anyaga. Hosszú, kitartó kísérletezésekre volt szükség, amíg az anyag megmaradásának törvényét a növényvilág jelenségein is beigazolhatták. Hosszú ideig élt az a hit, sőt a tudományos eredményeket nem ismerő emberekben a mai napig is él, hogy a növény az anyagait a földből veszi. Pedig ennek a hitnek alaptalanságát már három évszázaddal ezelőtt kísérletekkel bebizonyították...

Van Helmont végezte az első pontos kísérletet; ő volt az a tudós, aki megközelítette annak a kérdésnek megoldását, hogy honnan veszi a növény az anyagát . . .

Van Helmont kísérletét saját szavaival írjuk le: »Egy cserépedénybe kétszáz font<sup>1</sup> földet öntöttem — írja — amelyet előzetesen a kemencében kiszárítottam és beleültettem egy fűzfaágat, amelynek súlya öt font volt. Öt év múlva a fűzfa súlya 169 font és 3 uncia volt. Az edényt akkor locsoltam, amikor arra szükség volt és mindig eső- vagy desztillált vízzel. Az edény széles volt, beástam a földre s hogy pedig a portól is megóvjam, bádoglemezzel fedtem be, amelyen sok lyuk volt . . . A levelek súlyát, amelyet a növény a négy esztendő őszen elhullatott, nem mértem meg . . . Végül ismét kiszárítottam a földet és úgy találtam, hogy körülbelül két uncia híján 200 font volt. Tehát egyedül a víz elégséges volt ahhoz, hogy a növény 164 font farostot, kérget és gyökeret létrehozson . . .«

Ez a kísérlet bebizonyította, hogy nem kereshetjük a földben vagy a talajban a növényi anyagok eredetének kizárólagos vagy főforrását. Van Helmont ezt a forrást abban a vízben látta, amellyel a növényt öntözte. Ma azonban már tudjuk, hogy a növény táplálásában nemcsak a föld és a víz, hanem a levegő is részt vesz. Van Helmont következtetése ennek ellenére a maga idejében helyes volt. Ő előtte a tudománynak semmiféle határozott fogalma nem volt az anyag harmadik, vagyis gáznemű állapotáról. A tudomány neki köszönheti a gázokról szóló első adatokat, sőt magát a *gáz* szót is. Csak a múlt század végén, amikor az úgynevezett »pneumatikus« kémia, tehát a gázok kémiája kifejlődött, tudták valóban és pontosan kideríteni azt, hogy a növény anyaga honnan származik. Ez három tudós: Priestley, Ingen-Housz és Sénebier kutatásainak eredményei alapján vált lehetségessé.

Ahhoz, hogy megtudjuk, vajjon a hármas környezet: a föld, a víz és a levegő — milyen alkatrészeikkel járulnak hozzá a növény anyagához, először meg kell ismernünk magának a növénynek az összetételét. A kémia Lavoisier óta azt hirdeti, hogy az anyag nemcsak nem teremődik, de bizonyos értelemben nem is változik; van bizonyos számú egyszerű test vagy elem, amelyek nem változhatnak meg. Ha tehát a növényben egy ilyen egyszerű testet találunk, nézzünk körül és a külső környezetben keressük ezt a testet, mert tudjuk, hogy onnan kellett behatolnia a növénybe, hiszen a növényben nem keletkezhetett és nem jöhetett létre más egyszerű testekből sem.

A növényben távolról sem találunk meg minden kémiai elemet és azok közül is, amelyeket megtalálunk, csak azokat említjük meg, amelyek a legfontosabbak és elsőrendű szerepet játszanak

<sup>1</sup> Régebbi súlymérték. A kereskedelmi font 409,5 gramm. — Szerk.

a növény életében. Abból a célból, hogy képet kapjunk a növény kémiai összetételéről, magas hőhatásnak tesszük ki. Ennek során mindenekelőtt elpárolog a víz, 100 C<sup>o</sup>-ot valamivel meghaladó hőmérsékleten pedig megkapjuk a növény úgynevezett száraz anyagát. Elemzésünknek ez az első lépése. Ez a lépés megmutatja, hogy a növény különböző részei igen különböző mennyiségű vizet tartalmaznak. (Lásd a 62. oldalon levő táblázatot.) Erősebb hevítés mellett azt észleljük, hogy a száraz növényi anyag barnulni, majd fektetni és szesenedni kezd, végül parázslik, lángra lobban és mindennek eredményeképpen az eredeti anyaghoz képest kis csomó közönséges fehér hamuvá lesz. Az anyag nagy része tehát elégett és elillant. Ha az elégetést bizonyos óvatossággal végezzük és az elillanó gázokat felfogjuk, azt tapasztaljuk, hogy a növény elégett anyaga négy egyszerű testből : szilárd *szénből* és három gáznemű anyagból : *oxigénből*, *hidrogénből* és *nitrogénből* áll. A növény éghető alkatrészeit, amelyek mindig tartalmaznak szenet — ezt az elégetést megelőző elszesenedésen is látjuk — *a növény szerves anyagának* nevezzük. A szerves elnevezés onnan ered, hogy minden szervezet ebből az anyagból van. Régen még azt is gondolták, hogy csak az élő testben keletkezhetik ilyen anyag, hogy mesterségesen, laboratóriumokban csak azokat a kevésbé bonyolult testeket lehet előállítani, amelyekből az élettelen, a szervetlen természet áll. Ezt a feltevést azonban a modern szerves kémia eredményei megdöntötték. Ma a vegyész sok olyan anyagot tud előállítani, amelyekről régebben azt hitték, hogy előállításuk az élő szervezet titka. Nem minden szerves anyag tartalmazza az említett négy elemet. Van olyan is, amely csak háromból : szénből, hidrogénből és oxigénből, sőt olyan is, amely csak kettőből : szénből és hidrogénből áll. Az elemek ezenfelül a különböző testekben igen különböző arányban vegyülnek egymással és így érthető, ha különböző növényekben, vagy ugyanannak a növénynek más-más részeiben is különböző arányban vegyülnek. Ennek ellenére, ha tömegesen végzünk elemzést különböző növényekkel, valamint a növények különböző részeivel és ha az összes elemzés átlagát megállapítjuk, képet kapunk arról, hogy milyen a növényekben az elemek hozzávetőleges átlagos összetétele. Száz súlyrész száraz növényi anyagban átlagos számokban előfordul :

45,0%	szén,
6,5%	hidrogén,
1,5%	nitrogén,
42,0%	oxigén,
5,0%	hamu.

Ez a táblázat képet ad arról, hogy milyen arányban kell a szilárd és gáznemű elemi anyagoknak vegyülniök egymással, hogy bizonyos mennyiségű növényi anyag keletkezdhessenek. Ha a növény éghető szerves anyagáról áttérünk hamujának vizsgálatára, azt látjuk, hogy ennek összetételéhez sokkal nagyobb számú elem tartozik. Itt csak a legfontosabb elemeket soroljuk fel, mert ezekkel részletesen majd a negyedik előadásunkban ismerkedünk meg.

### E l e m e k :

#### Szerves anyagok:

Szén,  
Hidrogén,  
Oxigén,  
Nitrogén.

#### Hamu:

Kén,  
Foszfor,  
Klór,  
Szilícium,  
Kálium,  
Magnézium,  
Kalcium,  
Vas.

A hamu első oszlopának négy eleme savakat képez és ezek a savak a második oszlopban felsorolt fémekkel sókat alkotnak.

Tudjuk, hogy a növény milyen elemekből épül fel és tudjuk azt is, hogy az elemek kölcsönösen nem alakulhatnak át, így most már előre megállapíthatjuk, hogy honnan, milyen forrásokból *jöhetnek* ezek az anyagok.

A növények a levegőben szabad oxigént és nitrogént, kis mennyiségben szén-savat — szénből és oxigénből álló gázt — és még kisebb mennyiségben nitrogén, oxigén és hidrogén vegyületet találnak. Ezeken az anyagokon felül a növény a talajban más anyagokat is talál, amelyek — minthogy nem gázneműek — a levegőben nem fordulhatnak elő. Ezek pedig éppen azok a sók, amelyek a növény többi anyagát tartalmazzák. A sók egy részét feloldja a talajvíz, ez a növény cseppfolyós környezete, másik része pedig szilárd anyagban marad.

Az eddigiek során csupán azt tudtuk meg, hogy a növény anyaga milyen elemekből áll vagy pontosabban: megtudtuk, hogy ezt az anyagot milyen elemekre bonthatjuk szét, de ebből a célból az anyagot meg kellett semmisítenünk, el kellett égetnünk. Azt azonban, hogy az élő növény milyen anyagokból áll, az elemek milyen vegyületeiből tevődik össze, természetesen az elemi analízis nem adhatja meg. Ennek kiderítésére más módot kell választanunk és elsősorban — mint már említettük — be kell tekintenünk magába a sejtbe, ebbe a mikroszkópikus méretű laboratóriumba, ahol a növény által termelt különböző anyagok készülnek. Sejtet látni: nem nehéz dolog, hiszen a növény minden része sejtekből van. Élő sejtet,

teljesen sértetlen állapotban azonban csak olyan növényi részekben láthatunk, amelyek vagy egy sejtből, vagy egy sor sejtből állnak; ilyen például a szőrszál. Bizonyára sokan ismerik, ha nem is név szerint, de legalább látásból azt a szobai vagy melegvázi dísznövé-



12. ábra

nyek között igen gyakori növényt, amelynek hosszú, keskeny, húsos levele és háromszirmú, lila virága van. Ez a *Tradescantia fluminensis* Vell. («pletyka» nevű virág, 12. ábra A.) A virág porzóin lilaszínű, bojtos szálak vannak (12. ábra B). A bojt sűrűsége a szőrök mennyiségétől függ. Mindegyik szőrszál fűzérszerűen elhelyezkedő kerek vagy hosszúkás, tojásdad alakú sejtek sorából áll. Ha tővel leválasztunk egy ilyen szőrszálat és a mikroszkóp alá helyezzük, a fonál csúcsán fiatalabb, majdnem gömbölyű, a tővénél pedig idősebb, hosszúkás alakú sejteket látunk (12. ábra C).

Minden ilyen sejtben elsősorban két részt különböztethetünk meg: 1. a burkot, amely igen vékony és annyira átlátszó, hogy mindent láthatunk, ami a sejt belsejében van, és 2. a sejt tartalmát. Eredetileg a sejt egész üregét egy egynemű, sűrű tömeg tölti ki; ez a *protoplaszma*. A protoplazmában egy kerek test van, a *sejtmag*; ez az a sejtrész, amelyikről majd elsősorban szó lesz. Később a félig folyékony protoplazmában kis szemecskék vagy üregek jelennek meg, amelyek folyadékkal teltek. Ezeket leginkább a sejtben levő lyukakhoz lehetne hasonlítani. A sejttartalom ilyenformán máris két részre oszlik: a protoplazmára és a sejtnedvre; közben a sejt-

tartalom egyre lyukacsosabb, habosabb lesz. A későbbiekben a protoplazma és a sejt aránya az utóbbi javára tolódik el; a protoplazmatartalom viszonylag csökken, a nedvtartalom pedig emelkedik. Végül a sejt egész üregét kitölti a vízszerű folyadék és a protoplazma csupán a sejt falait borítja be belülről, vagy az egyik sejtfaltól a másikig húzódó hálószerű sugarakban marad meg. A Tradescantia esetében különösen világosan láthatjuk a sejttartalomnak ezt a megoszlását, mert a sejtnedv világos lilaszínű, a protoplazma pedig színtelen. Ezen a két anyagon, a protoplazmán és a sejtnedven felül a sejtüregben gyakran egy harmadik anyagot is találunk: finom, ragyogó, zsíros csillanású cseppeket, vagy kerek, színtelen szemcséket, melyek tulajdonságaival majd a továbbiakban ismerkedünk meg. A sejt öregebb életkorában gyakran az egész sejttartalom eltűnik és a sejtüreg levegővel telik meg. Az ilyen sejtet, amelynek csak a burka van meg, holtak tekinthetjük. A fának száraz, nedvességet nem tartalmazó része például ilyen holt sejtekből van. Mikroszkóp segítségével ezek szerint az élő, működő sejtben a következő anyagokat mutathatjuk ki: a sejtfalat, a protoplazmát, a sejtnedvet és gyakran egyéb anyagokat is, cseppek vagy szemcsék alakjában.

Elégedjünk meg egyelőre a mikroszkóp ezen szolgáltatásaival, s forduljunk ismét a kémia segédeszközei, a reagensek és a mértékek felé. Ezúttal azonban álljunk meg inkább az analízis kezdetén és ne vezessük azt végig az elemekig. Csak azoknak az anyagoknak az elválasztására törekedjünk, amelyek a növény összetételéhez tartoznak, de úgy, hogy nem semmisítjük meg ezeket az anyagokat, hanem megtartjuk abban az alakban, ahogyan az élő növényben vannak. Egyszóval ismerkedjünk meg a növény úgynevezett *közvetlen* alkatrészeivel. Ez a »közvetlen« kifejezés szembenáll a *végső* alkatrészekkel, tehát az elemekkel.

Arról természetesen nem lehet szó, hogy megismerkedjünk itt minden anyaggal, amelyet a növényvilág termel, mindazzal az anyaggal, amelyet a terménykereskedésben vagy a gyógyszerárban, az asztaloslánál vagy a cukrásznál, a fonóban vagy a festőműhelyben találhatunk. Mi csak azokra a legismertebb testekre vagy testcsoportokra szorítkozzunk, amelyeknek ismerete nélkül a növényi életet nem érthetjük meg.

Válasszuk mintának a növény bármelyik szervét, például a gabonaszemet. Vegyük azt őrölt alakjában, liszt formájában. Nyomban látjuk, hogy a liszt különböző anyagok keveréke. Abból a célból, hogy ezeket szétválasszuk, készítsünk egy kis tésztacsomót s mossuk azt sokáig vízben, kezünkkel gyúrva és morzsolva. A lefolyó víz kezdetben tejfehér színű lesz, később azonban egészen átlátszóvá válik. Amikor ezt elértük, a kezünk között már nem tézta,

hanem olyan szürkésfehér, ragadós, nyúlós anyag lesz, mint a gumi vagy a bőr. Ez az úgynevezett *sikér*, a lisztnek az az alkatrésze, amely a tésztát nyúlóssá teszi. Ha viszont a mosás közben lefolyt vizet leüleptítjük, akkor az hamarosan megtisztul és a pohár fenekén igen vékony, finom tapintású, fehérszínű üledék marad; ez a *keményítő*, vagyis az a közismert anyag, amelyet a fehérenemű keményítéséhez, vagy majdnem tiszta alakban burgonyaliszt elnevezéssel korpapácként használnak. Így tehát csupán mosással a lisztet két alkatrészre: sikérré és keményítőre bontottuk szét. Ha pedig a lisztet éterbe tesszük, s a lisztről leöntött étert nyitott edényben elpárologtatjuk, az edény fenekén *olajos* üledék marad vissza. Mind ebből az következik, hogy a liszt és általában a gabonamagvak háromféle anyagból épülnek fel: *sikérből*, *keményítóből* és *olajból*.

A leírt eljárások — melyek ezeknek az anyagoknak az elválasztására szolgálnak — bár durva, de szemléltető példát adnak arról, hogy mit nevezünk *közvetlen* elemzésnek. Ennek az elemzésnek a során a testeket igyekszünk megváltoztatásuk nélkül felbontani s ehhez felhasználjuk oldhatóságukat vagy nem oldhatóságukat, illóképességüket, kristályosodásukat és más tulajdonságaikat. Az ily módon nyert három anyag, a keményítő, a sikér és a zsír egyúttal a növényi anyagok három legfontosabb és legelterjedtebb csoportját képviseli.

Ezek az úgynevezett *szénhidrátok*, *fehérjék* és *olajok* csoportjai. A többi anyag rendszerint aránylag kis mennyiségben fordul elő vagy csak bizonyos szervek vagy növények tartalmazzák azokat és így a növényi élet általános jelenségeire nincs hatásuk. A továbbiakban egy táblázatot mutatunk be, amelyben néhány növényre nézve a közvetlen alkotórészek elemzésének számszerű eredményeit közöljük. Ez az elemzés megerősíti azt az imént kifejtett tételt, hogy a növény fő tömege a felsorolt három anyagcsoportból áll.

Száz súlyegységben :	Lóhere (növény)	Búza (liszt)	Csillagfürt (mag)	Len (mag)
Szénhidrátok .....	16,6	73,7	43,0	26,2
Fehérjék .....	3,7	11,8	33,0	20,5
Zsírok .....	0,8	1,2	6,0	36,0
Hamu .....	1,7	0,7	3,5	5,0
Víz .....	77,2	12,6	14,5	12,3

A szénhidrát<sup>1</sup> elnevezése onnan ered, hogy ezekben a vegyületekben a hidrogén és az oxigén olyan arányban található, mint a vízben; minthogy pedig még szén is tartalmazznak, így a szén-

<sup>1</sup> A szénhidrát neve oroszul: uglevod, ami annyit jelent, mint szénvíz. A magyarázat erre a szőfejtésre támaszkodik. — Ford.

hidrátok mintegy szénből és vízből állanak. A szénhidrátok csoportjához a következő anyagok tartoznak : *cukrok*, a közönséges nád- és répacukor, továbbá a szőlőcukor vagy *glukóz*, amelyet régi mazsolaszemekben találhatunk, a *mézga* (példa rá a meggyfa törzséből folyó meggyfaenyv), a *keményítő* és végül a *cellulóz*, vagyis az az anyag, amely a növények szilárd vázát, a sejtfalakat alkotja és amelyet pamut- és lenszöveiteinkben vagy írópapirosunkban használunk fel. A szénhidrátok csoportját olykor cukoraryagnak is nevezik, mert a csoport néhány tagja, mint láttuk, valóban igazi cukor, a többit pedig könnyen cukorra alakíthatjuk. Így például, ha a keményítőre gyöngye kénsav-oldat hat, burgonyaszirupot kapunk. Ha ugyanazzal a savoldattal a cellulózt kezeljük, szintén cukrot kapunk. Ilyen módon tehát az őcska rongyból is készíthetünk cukrot. Az említett anyagok szinte folytatódólagos sort képeznek : a cukor és glukóz vízben könnyen oldódik és kristályosodásra képes ; a mézga, például a meggyfaenyv, a vízben könnyen oldódik, sűrű, nyúlós folyadék lesz belőle, de nem kristályosodik ; a keményítő hideg vízben nem oldódik, míg forró vízben megduzzad és csiriz lesz ; végül a cellulóz sem hideg, sem forró vízben nem oldódik és nem duzzad meg.

Vizsgáljuk meg most, hogy ezek közül az anyagok közül legalább a legfontosabbakat miként ismerhetjük fel. Valamennyi színtelen, de vannak eszközeink, amelyekkel jellegzetesen elszínezhetjük ezeket. Íme, ebben a színtelen folyadékot tartalmazó pohárban egy kis szőlőcukrot oldottunk fel, a másik pohárban pedig világos kékszínű folyadék van. Ha a kék folyadékba beleöntjük az első pohárban lévő színtelen folyadékot és azt egy kissé melegítjük, a folyadék zavaros lesz, piszkos zöldes színben játszik s csapadék keletkezik benne. A csapadék eleinte sárga, barna, s azután világos piros színű. Végül a csapadék a fenékre rakódik és a folyadék színtelen lesz. A szőlőcukor tehát ebben a kék folyadékban piros csapadékot vált ki, vagy másként: a kék folyadék színének megváltozásával kimutatja a szőlőcukor jelenlétét (az úgynevezett Fehling-féle reakció). Ez a reakció annyira érzékeny, hogy az oldatban a legkisebb szőlőcukormennyiséget is kimutatja. A Fehling-féle folyadék tehát igen értékes eszköz a legjelentéktelenebb szőlőcukortartalom kimutatására. Hasonló eszköz a keményítő kimutatására a jóddoldat. Vegyünk egy nagy pohár vizet s öntsünk bele pár csepp keményítő csirizt, majd keverjük el a folyadékot. A vízben tehát csekély keményítőnyomok vannak. Öntsünk hozzá egy pár csepp sárgaszínű jóddoldatot. A pohárban az egész folyadék nyomban azúrkékszínű lesz. Ugyanígy, ha egy pár csepp jóddoldatot tésztára vagy fehér kenyérdarabra cseppentünk, a cseppek helyén sötétkék, majdnem fekete foltok



keletkeznek, mert mind a kettőben keményítő van. Ha azonban jóddal megnedvesítjük egy darab siker alsó részét, ennek nyomán nem keletkezik fekete folt, mert a sikérből a keményítőt kimosta a víz. A jód tehát a szintelen keményítőt kékre festi s így a jód a keményítő jelenlétének bizonyítéka vagy reagens anyaga. Keressünk hasonló eszközt a cellulóz kimutatására. A jód magában nem festi kékre a cellulózt, azonban a jódos klórcink már kék foltot ad. Ha ebből az oldatból egy cseppet a fehér papírlapra cseppentünk, amely, mint tudjuk, cellulózból van, a csepp helyén tüstént kék folt jelenik meg. Ezek a leggyakoribb szénhidrátoknak, a szőlőcukornak, a keményítőnek és a cellulóznak a reagensai, a felismerésükre szolgáló eszközök.

Térjünk át a második csoportra, a *fehérjékre*. Azért nevezzük fehérjéknek, mert a csoport tagjainak jellegzetes típusa a tyúktojás fehérjeje. Ezek a fehérjeanyagok vagy oldott alakban fordulnak elő, mint például a káposztából kinyomott káposztalében, vagy nem oldott alakban, mint például az a siker, amelyet a búzamazgából kaptunk. Elegendő azonban felmelegíteni a káposztalevet, nyomban fehér pelyhek jelennek meg a lében, a fehérje összefutott éppen úgy, mint a tojásban, amikor megfőzzük. A kémia egész sor reagenst ismer, amelyek segítségével felismerhetjük a fehérjéket. Vegyük ezek közül az egyiket, amelyik, ha nem is a legbiztosabb, de a legszemléltetőbb. A pohárba vízzel hígított tojásfehérjét teszünk, ehhez közönséges cukorszirupot és erős kénsavat adunk. A folyadékban csapadék keletkezik, amely azonban ismét feloldódik és az egész folyadéknak fokozatosan szép málnaszíne lesz. A kénsavas cukor tehát olyan eszköz, amellyel a fehérjét felismerhetjük.

Hátra van a harmadik csoport, az *olajok* vagy *zsírok* csoportja. Ezekre vonatkozóan nincs ilyen egyszerű és szemléltető reagensünk, amellyel jellegzetes elszíneződéseket válthatnánk ki. Amint azonban már láttuk, elegendő, ha azt az anyagot, amelyben zsír vagy olaj jelenlétét tesszük fel, éterrel kezeljük. Az éter feloldja, kivonja a zsírt s ha az ilyen oldatot a levegőn hagyjuk, az éter elpárolog és megmarad a zsír vagy az olaj minden jellegzetes tulajdonságával együtt.

Ezeket az ismertetett reakciókat mikroszkóp alatt közvetlenül a sejtekre is alkalmazhatjuk. Kísérjük meg és adjunk ahhoz a vízhez, amelyben a sejtet vizsgáljuk, cukrot és kénsavat. Azt látjuk majd, hogy a protoplazma rózsaszínűre festődik annak jeléül, hogy főképpen fehérje anyagokból áll. A Fehling-féle reakció hatására, ha van a sejtnedvben szőlőcukor, piros színű csapadékot kapunk. Ha egy csepp jódot teszünk hozzá, azt tapasztaljuk, hogy a sejtüregben az apró, szintelen szemcsék kékre festődnek, annak jeléül, hogy

keményítők. A jódos klórcinktől az egész sejttal kékszínű lesz; tehát a sejttal cellulózból van. Végül adjunk hozzá étert, s tapasztaljuk, hogy azok az apró cseppek, amelyek zsíros fényükkel ragadták meg figyelmünket, eltűntek, feloldódtak; ebből nyilvánvaló, hogy ezek olajcseppek voltak. A kémiai analízis és a mikroszkópos vizsgálat tehát kölcsönösen kiegészítik egymást. A kémiai analízis tanulsága szerint (I. 66. oldalon az utolsó táblázatot) a növényben a szénhidrát az uralkodó anyag. A mikroszkóp megerősíti ezt a megállapítást, mert látjuk, hogy szénhidrátokból vannak a sejtfalak, s szénhidrátok vannak jelen a keményítőtartalmú szemcsékben és oldott cukor alakjában a sejtnedvényben is. Az analízis azt mutatja, hogy mennyiségi szempontból a második helyen a fehérjék állanak és hogy a növény fiatalabb részei gazdagabbak nitrogéntartalmú anyagokban, mint az idősebb részek. A mikroszkóp elénk tárja, hogy a protoplazma elsősorban olyan fehérjeanyagokból van, amelyek nitrogént tartalmaznak s hogy a fiatal sejtek állományának túlnyomó része protoplazma. Végül mind a mikroszkóp, mind az analízis olajos anyagok jelenlétét mutatja ki a növényben is, annak sejteiben is.

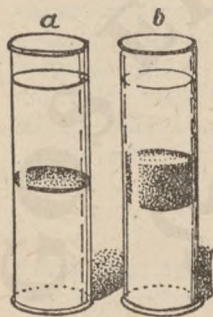
\* \* \*

Megismertük tehát azokat a fontosabb anyagokat, amelyeket a növényi sejt tartalmaz. Korábban pedig megállapítottuk azt, hogy a növényeknek mindezeket azokból az anyagokból, gázokból, sókból stb. kell előállítaniok, amelyek környezetükben vannak. Más szóval, kívülről kell a táplálékot felvenniök. Minden sejt a táplálékát a talajból és a levegőből, vagy pedig a másik, szomszédos sejtől veszi. Önkéntelenül adódik a kérdés: hogyan gyűjti össze magában a sejt — ez a kis hólyag — környezetének anyagait, hiszen vak, nincs rajta nyílás és nincsenek fogó szervei?

Ha magyarázatot keresünk a növényi táplálkozásnak erre az első mozzanatára, akkor egy időre el kell fordulnunk és egészen le kell térnünk a botanika útjáról. Ehelyett kizáróan fizikai jelenségekkel kell foglalkoznunk, meg kell ismerkednünk az anyagok néhány általános, olyan tulajdonságával, amelyek egyaránt jelentkeznek az élő és élettelen természetben. Ez az eljárás, amelyhez a jövőben is gyakran folyamodunk, az egyedüli helyes eljárás, ha valamely életjelenségre magyarázatot keresünk. *Magyarázni* ugyanis a fiziológus szemében azt jelenti, hogy bonyolult életfolyamatokat egyszerűbb, fizikai-kémiai jelenségekre vezet vissza.

A fizika azt tanítja, hogy az anyag részei mozgásban vannak, hogy nincs anyag mozgás nélkül. Ez a mozgás leghatározottabban az anyag folyékony, vagy még inkább gáznemű halmazállapotában

fedezhető fel. A gáznemű test részeinek nagy mozgási képességük van, egyenként arra törekszenek, hogy a térben minél inkább szétszóródjanak, elfoglaljanak minden helyet, amelyet még nem foglaltak el s ezt mindaddig folytatják, amíg egyenletesen el nem terjednek a számukra hozzáférhető egész térségben. Az anyagnak azt a képességét, azt az igyekvését, hogy a térségben szétszóródjék, szétterjesszkedjék, *diffúzió*nak nevezzük. A diffúzió jelenségét könnyen észlelhetjük, különösen ha gáznemű vagy illó anyagokról van szó. Elég, ha a levegőbe szórunk egy kis étert és a közvetlen környezetben nyomban, azután pedig a terem távoli sarkaiban is érezzük a Hoffmann-féle cseppek<sup>1</sup> jól ismert illatát. A levegőbe szórt éter gőzzé változott s a



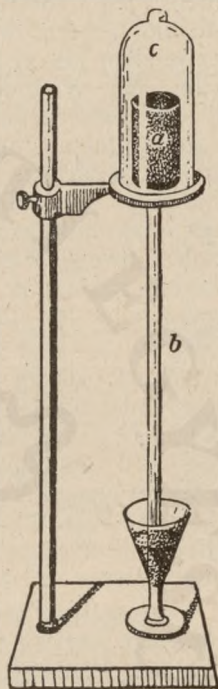
13. ábra

gőz szétterjedt az egész teremben. Könnyen felismerhetjük a folyadékok diffúzióját is. Emlékezzünk csak a vízzel és vörösborral végzett, sokak előtt ismert kísérletre. Ha a víz színére óvatosan vörösbort öntünk, a két folyadék világosan elhatárolt rétegben helyezkedik el. A két réteg között azonban lassan eltűnik az éles határ; a bor beleszivárog a vízbe és a víz a borba. A két folyadék lassan elkeveredik. Ugyanezt a kísérletet még szemléltetőbb alakban is elvégezhetjük (13. ábra). Itt van ez a két színtelen folyadék; öntsük össze a kettőt és vörvörös színű folyadék keletkezik. Öntsük azonban

ennek a keskeny, hosszú edénynek az aljára a nehezebb folyadékot s e folyadék fölé kellő óvatossággal a könnyebb folyadékot. A két folyadék határán keskeny, vonalszerű piros réteg keletkezik. A keskeny, alig észrevehető piros réteg azonban lassan megnő s mire majd az előadásom végére érek, a sáv már néhány ujjnyi vastag, néhány órával később, vagy talán másnapra pedig az egész folyadék egyenletesen piros színű lesz. A két folyadék tehát nyilvánvalóan kölcsönösen behatolt egymásba; ezt pedig csakis a részek láthatatlan mozgása, a térbeli szétterjedést célzó törekvése idézhette elő, mert egyébként mivel magyarázhatnánk meg, hogy a nehézségi hatás ellenére a legkönnyebb részek az edény aljára ereszkednek és a legnehezebb részek felszállnak a folyadék felszínére. Különböző anyagokban nagyon különböző mértékben van meg a diffúzió, az át-szivárgás képessége. Ez más szóval annyit jelent, hogy különböző anyagok részei különböző sebességgel mozognak. Ezt legjobban a

<sup>1</sup> Igen elterjedt népies gyógyszer. Egy súlyrész éter és két súlyrész spiritusz keverékéből áll. — Szerk.

gázokkal bizonyíthatjuk. Vegyünk egy gyöngén égetett, lyukacsos cserépedényt (14. ábra, *a*), amelynek az alsó részét egy üvegcsővel (*b*) egyesítjük. A cső alsó része vörös festékkel színezett vízbe merül. Az edényben és a csőben levegő van. A készülék célja az, hogy az edényben és a csőben lévő levegő legkisebb térfogatváltozását is kimutassa. Ha a térfogat valamilyen oknál fogva megnő, a levegő légbuborék alakjában a színes folyadékon keresztül távozik. Viszont fordítva, ha a levegő térfogata csökken az edényben és csőben, a színes folyadék szintje a csőben felemelkedik. Eddig még sem az egyik, sem a másik eset nem következett be, mert a készüléken belül és kívül ugyanaz a levegő van. Ha azonban az edényt más levegővel, más gázzal vesszük körül, akkor a kétféle gáz között az edény áthatolható lyukacsos falán keresztül kölcsönös cserefolyamat indul meg; mind a két gáz igyekszik majd a másikban szétterjedni. Nyilvánvaló azonban az, hogy ha mind a két gáz igyekszik szétterjedni és részecskéiknek terjedési sebessége különböző, akkor a készülékben átmeneti térfogatváltozás, térfogatcsökkenés vagy növekedés áll be, ami attól függ, hogy melyik gáz mozgása gyorsabb. Szóval itt ugyanaz történik, ami néhány perc múlva e terem ajtajában megtörténhetik. Tegyük fel, hogy ebben a pillanatban ebben a teremben 300 személy van. Tételezzük fel, hogy ezek közül 100 már nagyon megunta az előadást és türelmetlenül várja az előadás végét, hogy kisiessen a teremből. Az ajtón túl pedig ugyancsak száz ember várakozik, akik a terembe akarnak bejönni a következő előadásra. Ha a kimenők éppen olyan sietve távoznak, mint amilyen igyekezettel a belépők jönnek be, a teremben a személyek száma egy percre sem változik. Ha azonban a belépők, akik még nem fáradtak az egyórás előadás figyelemfeszítő állapotától, energikusabbak, mint a kilépők, akkor a a teremben az első percekben a jelenlévők száma megnövekszik, a terem telítődik s csak néhány perc múltával, amikor a távozni akarók már mind elmentek, csökken a jelenlévők száma ismét az eredeti 300 főre. Ugyanígy van ez a készülékkel is. Ha a lyukacsos edényt olyan gázzal veszem körül, amelynek részecskéi sebesebben hatolnak be az edénybe, mint ahogyan abból a benne lévő levegő-

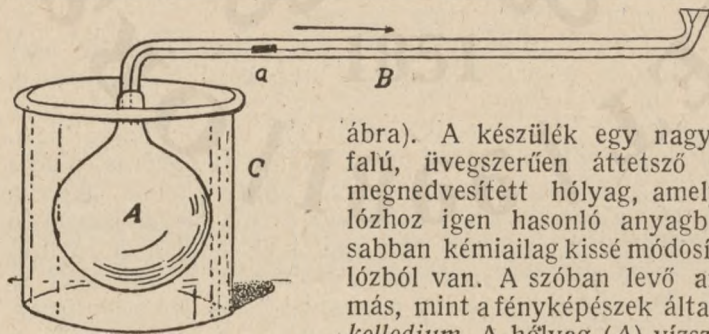


14. ábra

részecskék távoznak, akkor az edényben egy ideig több gázcsepecske lesz, mint amennyi befér és a fölös gázmennyiség buborékok alakjában a cső végén távozik. Vegyünk egy üvegharangot s töltsük meg hidrogénnel. A hidrogéngáz könnyebb, mint a levegő, ezért bizonyos ideig megőrizhetjük olyan edényben, amelynek nyílását lefelé fordítjuk. Tegyük rá a harangot (c) a lyukacsos edényre (a). Az edény belsejében közönséges levegő, kívül a harang alatt pedig hidrogén van. Ha a hidrogén részecskéinek mozgása gyorsabb, mint a levegő részecskéié, a belső gáz térfogatának meg kell növekednie; és valóban látjuk, halljuk, miként bugyborékolnak a gázbuborékok a talpas pohárba a festett folyadékon keresztül. Most pedig, ha a harangot levesszük, a feltételek teljesen megváltoznak. Most az edényben hidrogén van és körülötte levegő. A hidrogén kifelé törekszik, a levegő befelé. Minthogy azonban a hidrogén részecskéi gyorsabban mozognak, mint a levegő részecskéi, az edényben a térfogat csökken és íme látjuk, milyen gyorsan emelkedik a (b) csőben a piros folyadékoszlop.

Ezek szerint a gázok még inkább képesek diffúzióra, mint a folyadékok, azaz a folyadékoknál jobban képesek behatolni oda, ahol még gáz nincs. A hidrogén csupán azért törekedett az edénybe, mert ott még nincs hidrogén és azért igyekezett onnan kifelé, mert a terem levegőjében nincs hidrogén. Ehhez hasonlóan minden gáznemű test és folyadékban feloldott minden szilárd test igyekszik elfoglalni minden számára hozzáférhető teret és abban a térben egyenletesen eloszlani.

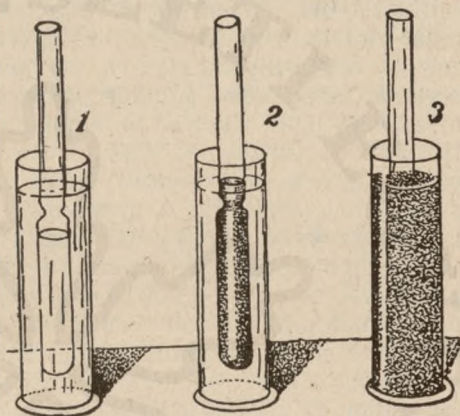
Vizsgáljuk meg, hogy a gázok és folyadékok diffúziójának jelensége hogyan függ össze a sejt táplálkozásáról felvetett kérdésünkkel. Van egy készülékünk, amely eléggé hasonlít a sejtre (15.



15. ábra

ábra). A készülék egy nagyon finom falú, üvegszerűen áttetsző és vízzel megnedvesített hólyag, amely a cellulózhoz igen hasonló anyagból, pontosabban kémiailag kissé módosított cellulózból van. A szóban levő anyag nem más, mint a fényképészek által használt *kollodium*. A hólyag (A) vízszintes hajszálcsővel (B) áll összeköttetésben.

A csőben egy csepp színes folyadék (a) van. Aszerint, hogy a csepp a hólyag felé vagy attól eltávolodva mozog, megállapíthatjuk, hogy a hólyagban a levegő térfogata csökken vagy nagyobbodik. A hólyagot egy üres, széles üvegedényben (C) helyezük el és az edénybe szénsavat öntünk. Ezt természetesen nem látjuk, mert a szénsav éppen olyan színtelen gáz, mint a levegő. Mégis joggal mondhatjuk, hogy beöntjük a szénsavat, mert a szénsav nehezebb mint a levegő s ha nem is látjuk, átönthetjük egyik edényből a másikba. Miként a könnyű hidrogént bizonyos ideig alul nyitott harangban tarthatjuk, éppen úgy a szénsavat felül nyitott edényben helyezhetjük el. Amikor a szénsavat betöltjük az üvegedénybe, amely a hólyagot körülveszi, az üvegsőben a színes folyadék-csepp megremeg és az ábrán a nyíllal megjelölt irányba mozdul el, jelezve, hogy a szénsav a mesterséges sejtnak, a hólyagnak a nedves falán kezd áthatolni, még hozzá gyorsabban, mint a levegő kifelé. Szóval a növényi sejtnak nincs szüksége arra, hogy a gázokat, például a szénsavat valamilyen képpen magához vonzza vagy szívja. Ha a sejtnél nincs jelen a szóban levő gáz, akkor az a diffúzió következtében magától behatol oda.



16. ábra

Most vizsgáljuk meg, hogyan viselkednek a növényi sejtek a talajvízben feloldott anyagokkal szemben. Vegyünk elő néhány olyan készüléket, amelyek lámpaalakú üvegek végére ragasztott kolloidumzacskókból állanak (16. ábra). Tegyük fel, hogy ezek a kolloidumzacskók képviselik a gyökérsejteket, amelyeken keresztül a növény a talajban levő tápanyagokkal érintkezésbe lép. A növények, mint ahogy elemek szerinti összetételükből tudjuk, egyebek között vassókat is igényelnek. Példának a vassókat vesszük, mert ezeknek igen szembeötlő reakciójuk van, melynek segítségével a folyadékban megláthatjuk az egészen jelentéktelen nyomokat is. Tegyük egy pohárba vizet s öntsünk hozzá néhány csepp vassót. Adjunk hozzá egy másik folyadékból (*tanninoldat*) egy keveset s az addig színtelen, vízszerű folyadék olyan fekete lesz mint a

tinta, sőt nem is helyes, ha azt mondjuk, hogy mint a tinta, mert hiszen a folyadék valóságos tintává vált. Merítsük a vízzel töltött kollodiumzsákocskát az ugyancsak vízzel teli edénybe (1), s öntsünk az edénybe vassót, a zsákocskába pedig tanninoldatot. Egy perc múlva a zsákocska falai körül szürke árnyalat mutatkozik és alig néhány perc múlva a zsákocska egész folyadéktartalma tintává változik (2). Látjuk tehát, hogy a vassó önmagától hatol be a mi mesterséges sejtünkbe s tudjuk, hogy ez a behatolás mindaddig tart, amíg csak a sejtben ugyanolyan fokú — telítettségű — nem lesz a sóoldat, mint a külső edényben. Csak ekkor hatol be a sejtbe ugyanis éppen annyi részecske, mint amennyi kilép abból, tehát ekkor áll majd helyre az egyensúly. Kérdés azonban, hogy ezt az egyensúlyállapotot a mi példánk esetében elérhetjük-e? Nyilvánvalóan nem. Amikor ugyanis a vassó bejut a sejtbe, ott olyan vegyületet alkot a tanninnal, amelyet az egyszerűség kedvéért tintának neveztünk. A zsákocskában tehát már tinta van és nem vassó; ha pedig nincs vassó, akkor új mennyiség érkezik belőle a külső edényből. Ez a mennyiség ismét tintává változik és ez így megy tovább. Ha elegendő tannin van a zsákocskában, az egyensúlyi állapot soha nem jön létre, a vassó pedig folytonosan áramlik a mesterséges sejtbe. Ezek szerint elegendő, ha a tanninos oldattal telt kollodiumzsákocskát bemejtjük a vassóoldattal telt edénybe, hogy ezzel kivonjuk az oldatból az egész sómennyiséget és átvigyük a zacskóba. Ha ezt a készüléket néhány órára vagy egy egész napig így hagyjuk, a külső edényben már nem találunk több sót, mert mesterséges sejtünk valósággal megette, felszívta azt.

Ezzel nyilvánvalóan közel jutottunk ahhoz, hogy a növények tápanyagainak a sejtekbe való bejutásáról egyszerű, fizikai magyarázatot adjunk. Láttuk, hogy a gáznemű vagy oldott állapotban levő anyag önmagától hatol be a sejtbe és a behatolást addig folytatja, amíg a külső és belső közeg egyenlő arányban tartalmazza ezt az anyagot. Láttuk azt is, hogy az egyensúlyállapot soha nem következhetik be, ha a sejtbe bejutó anyag ott megváltoztatja alakját, ha más vegyi kapcsolatra lép. Ebben az esetben a sejt felé történő áramlás állandó lesz, a külső anyag folytonosan a sejt felé törekszik s ott felhalmozódik. Ebben már felismerhetjük a növény tömegének gyarapodását, illetőleg a növényben az anyagok felhalmozódását előidéző egyik okot. A magyarázat azonban nem teljes és egy láncszem még hiányzik. Az anyagnak a sejtben történő felhalmozódását ugyanis csak akkor érthetjük meg teljesen, ha feltételezzük, hogy az anyagok kívülről könnyen bejuthatnak a sejtbe, de azok az anyagok, amelyekké ezek a sejtben átválnak, továbbá azok az anyagok, amelyek magában a sejtben vannak,

onnan nem kerülnek ki. A most bemutatott kísérlet ezt a feltevést megerősíti. Valóban csak a kollodiumzsákocskában levő folyadék feketedett meg; a külső folyadék olyan színtelen maradt, mint a víz. Ez nyilvánvalóan nem következhetnék be, ha a tannin vagy annak a vassóval alkotott vegyülete, a tinta kijöhetne a zsákocskából. Az ellenőrzés érdekében végezzük el ezt a kísérletet fordított sorrendben is. Öntsük a vassóoldatot a sejtbe és a tannint a külső edénybe. Pár pillanat múlva a külső edényben fekete csíkokat látunk s végül az egész folyadék annyira fekete lesz, hogy a kollodiumzacsokt már nem is láthatjuk (16. ábra 3). De ha kivesszük ezt a zsákocskát az edényből, láthatjuk, hogy az abban levő oldat éppen olyan színtelen, mint amilyen volt. Nem kétséges, hogy csak a vassó hatol át szabadon a hártyán, és pedig akár egyik, akár másik irányban, de sem a tannin, sem a vassós vegyületek nem haladhatnak át azon. Következésképpen kétfajta testnek kell lennie, olyannak, amelyik képes a sejtfalon áthatolni és olyannak, amelyik nem képes erre. A vassó példa az első csoportra, a tannin a másodikra.

Valóban ez a kétféle anyag a kémiai erő két típusát, két kategóriáját képviselheti. Az első kategóriához tartozó testek könnyen áthatolnak a növényi vagy az állati hártyákon, míg a második kategória testei nagyon nehezen vagy egyáltalában nem hatolnak át rajtuk. Amikor a folyékony anyagok diffúziójáról beszéltünk, említettük, hogy egyes testek gyorsabban diffundálnak, mások lassabban s hogy egyes anyagok mozgékonyabbak, mások kevésbé azok. Ehhez most hozzátehetjük, hogy éppen azok a testek, amelyek lassan diffundálnak, rendszerint még lassabban hatolnak át a hártyákon. A vegyészek az első kategóriába eső testeket *krisztalloid* testeknek nevezik; ezek mind képesek a kristályosodásra. A második kategória testeinek neve: *kolloidok*, ezek nem képesek kristályalkotásra.

Ilyen módon tehát kísérletünk megmagyarázza és megfejtí azt a jelenséget, amely a növényi sejt táplálkozása közben lejátsszódik. A vassó igyekszik a tanninhoz és nem fordítva, mert a vassó krisztalloid és a tannin kolloid test. Ha a sejt táplálkozását megfigyeljük, nagy vonásokban ugyanezt a jelenséget észleljük. Lássuk, milyen testeket talál a sejt a környezetében? Gázokat, vizet és vízben feloldott sókat, vagyis kristályos testeket, tehát lényegében igen mozgékony és a sejtfalakon könnyen áthatoló anyagokat. Milyen testeket tartalmaz a sejt? Milyen anyagokká alakítja át a kívülről felvett anyagokat? Főképpen fehérjeanyagokká, olajjá, mézavá, keményítővé vagy cellulózzá; azaz kolloidális, kevésbé mozgékony, a hártyákon át nem hatoló, vagy végül is teljesen oldhatatlan anyagokká, amint azt az alábbi táblázatból láthatjuk.



## A fontosabb

### *növényi anyagok*

cellulóz  
keményítő  
fehérjeanyagok  
olajok, zsírok

*oldhatatlan és kolloidális  
anyagok*

### *és ezek forrásanyagai*

szénsav  
víz  
sók

*gázok és krisztalloid anyagok*

A sejtet életének egész folyamán olyan anyagok veszik körül, amelyek nagyon könnyen diffundálnak át. Így például a levegő szén-sava folytonosan arra törekszik, hogy behatoljon minden sejtbe, amellyel érintkezésbe kerül. Ha azonban a szén-sav a sejtben megmaradna szén-savnak, akkor csak nagyon kevés juthatna be a sejtekbe. Valójában, mint később majd meglátjuk, nyomban átalakul, mielőtt a sejtbe behatolt: a szén-savból és vízből szénhidrát keletkezik. A szén-savnak ez az átalakulása azt eredményezi, hogy a sejtbe mind újabb és újabb szén-savmennyiség hatolhat be. A táplálkozásnak tehát két szakasza van: a táplálékanyagok felvétele és átalakítása, átsajátítása a sejt anyagává. A két folyamat egymással a kölcsönhatás viszonyában van. Az egyik folyamat feltételezi a másikat. Ha nem lenne átsajátítás, nem lenne újabb behatolás sem. Ha pedig nem lenne behatolás, nem lenne anyag az átsajátításhoz. Minthogy az átsajátítás közben a kívülről behatolt anyag kevésbé mozgékony vagy éppen nem mozgékony anyaggá alakul át, nem jut vissza a környezetbe, hanem lerakódik a sejtben.

Ha a növényi táplálkozását a fizika megfelelő általános nézőpontjából vizsgáljuk, egészen más fogalom alakul ki bennünk, s az eltér a növényi táplálkozás közhasználatú fogalmától. Nem a növény, a sejt vonzza, szívja magába a tápanyagokat, hanem éppen fordítva, maga az anyag tör be mozgékony-sága következtében a sejtbe. A térben a sejt úgy jelenik meg előttünk, mint valami mikroszkópikus központ, amelyben állandóan megbomlik a környező anyagok egyensúlya, mint valami mikroszkópikus örvénylés, amely felé szüntelenül áramlanak a könnyen mozgó anyagok, hogy ott átalakuljanak, elveszítsék mozgékony-ságukat és tartalékként lerakódjanak. A növényi sejt: verem, csapda, amely könnyen beengedi az anyagot, de vissza nem bocsátja. Ezzel könnyen megmagyarázhatjuk a növényi élet egyik alapvető, központi tulajdonságát: azt, hogy a tömegét nagyobbítja, az anyagot felhalmozza.

Hamarosan meglátjuk, hogy a sejt-táplálkozás általános fogalmára lépten-nyomon szükségünk van, amikor az egész növényi táplálkozásának jelenségeit vizsgáljuk. Ha arról beszélünk, hogy

a gyökerek a talajban levő anyagokból táplálkoznak vagy a levelek a légkörből vesznek fel táplálékot, vagy ha azt magyarázzuk, hogy az egyik szerv a többi szomszédos szervekből látja el magát táplálékkal, mindig ugyanarra az alapelvre kell visszatérnünk: a diffúzióra, azaz az anyagnak arra a tulajdonságára, hogy onnan, ahol éppen van, oda törekszik, ahol még nincs jelen és igyekszik átalakulni, azaz könnyen mozgó anyagból nehezen mozgó vagy egyáltalán nem mozgó anyaggá változni.

A növényi sejt táplálkozása alapjelenségeinek ismeretéből ezek szerint arra következtethetünk, hogy ezek mind az átáramlás, átszivárgás — diffúzió — jelenségeire vezethetők vissza, az utóbbi jelenség pedig nem az élő szervezetek kizárólagos jelensége, hanem ellenkezően, az anyag általános tulajdonsága. Meggyőződhetünk tehát arról, hogy a táplálékfelvétel alapmechanizmusa olyan törvények uralma alatt áll, amelyek egyaránt vonatkoznak az élő és az élettelen természetre.

### III. előadás

## A MAG

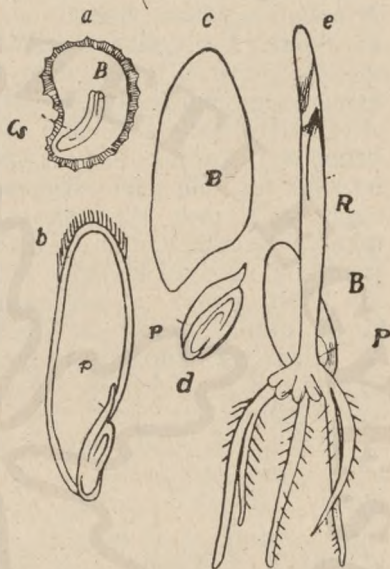
*A mag szerkezete és a csírázás külső jelenségei. — A csírázás három kelléke: a víz, levegő, meleg. — A víz mechanikai szerepe. — A víz kémiai szerepe. — Enzimek. — Fermentumok. — Diasztáz. — Pepszin. — Rovarevő növények. — A csíra önálló részei. — A csíra mesterséges táplálása. — A tápanyagok mozgásának mechanizmusa a növényben. — A mag viszonya a levegőhöz; a mag szénsavkiválasztása és oxigén-elnyelése: légzése. A légzési eredmények: súlyvesztés és hőmérsékletemelkedés. — A környezet hőmérsékletének szerepe. — Alacsony, magas, megfelelő hőmérséklet. — A mag életkorának hatása csírázóképeségére. — A magvak élettartama. — A csírázás időszakának általános jellemzése. — Munkamegosztás a növény különféle szervei között; ennek megnyilvánulása a legegyszerűbb növények esetében.*

Kezdjük a növények életműködésének szemlélését ott, amikor a mag, amelyet egész télen a hótakaró védett, vagy tavasszal a földműves keze a földbe vetett, életműködését észrevehetően megkezdi. A növény életének egyetlen jelenségére sem fordítottak akkora figyelmet, mint éppen erre az első megnyilatkozására. Tudósok, gondolkodók és költők elmélkedtek rajta. Bizonyos költői titokzatossággal burkolták be: az élet megtestesülését, az álomból és halálból való felocsúdás jelképét látták meg benne. Valóban van valami vonzó, izgató gondolat abban, amint hirtelen megkezdődik annak a testnek az életműködése, amely addig látszatra semmiben sem különbözött a környező természet többi élettelen testjeitől. Csakugyan van valami titokzatos abban az elzárkózott, rejtett életben, amely ekkor hirtelen előtör. Anélkül, hogy megzavarnánk a költői elképzelések szépségeit, bontsuk ezt a bonyolult jelenséget egyszerűbb részekre, alkalmazzuk reá a pontos tudományos elemzést, keressünk magyarázatot arra, hogy mi a különbség a nyugalmi állapotban levő és működő mag között, hogy mi az az impulzus, az a lökés, amely ezt az élettevékenységet megindítja.

A mag életműködése külsőre abban jelentkezik, hogy megduzzad, héja megreped, s megjelenik előbb a gyököcske, majd a

rügyecske a kis levelekkel együtt. Ezek a szervek minden nap fejlődnek, növekednek. Növekedésük nyilvánvalóan a növekvő részek táplálékául felhasznált anyagból származik. Bármennyire is gyors ez a növekedés, a növény éppen a csírázás időszakában alig függ a talajtól. A csírázás rendszerint a talajban megy végbe. Íme azonban itt van egy egész kötegre való zöld madársaláta, amelynek magjai nedves nemezen, vagy itt vannak olyan kukorica és babszemek, amelyek a lenge géz-szítán csíráztak ki, tehát úgy, hogy minden oldalról levegő vette körül őket s csupán gyökereik vége nyúlt desztillált vízbe.

Ha alaposabban megfigyeljük a csírázó magot, például a babszemet, észrevesszük, hogy amilyen mértékben kinyúlik a gyökér és a szár fiatal leveleivel, ugyanolyan mértékben kezd összezsugorodni, felszívódni, szemmel láthatóan összemenni az első levélpár, az úgynevezett sziklelevél (1. ábra). Ez a megfigyelés arra figyelmeztet, hogy a növény egyik része a másik rész rovására növekedhetik. Más magoknak, például a fűfélék magjainak valamivel bonyolultabb szerke-



17. ábra

zete van, mint a borsó vagy a bab magjainak. Ha hosszában kettévágjuk a búzaszemet, észrevesszük, hogy a maghéj alatt két, egymástól független rész van (17. ábra *b*, *c* és *d*). Alul, kissé oldalt kis testecske helyezkedik el. A kicsírázott szemeken könnyen meggyőződhetünk arról, hogy ez a kis testecske nem más, mint a csíra, illetőleg a növény kezdeménye (17. ábra *b*, *d* és *e*). Láthatjuk rajta a levélrügyeket és a gyököcske kezdetét. A mag többi és nagyobb részét egészen egynemű, lisztesnek látszó fehér tömeg tölti ki; az úgynevezett magfehérje (17. ábra *b* és *c*). A csírának azt a részét, amely szorosan a fehérjéhez simul, csírapajzsnek nevezzük (17. ábra *b*, *d* és *P*). A csírapajzs különleges módon fejlődött levél, illetőleg a csíra sziklevele. A búzaszemben azonban nincs két sziklelevél, hanem csak egy. A magfehérje szóban a fehérje a botanikusok nyelvén nyilvánvalóan mást jelent, mint a kémikusok nyelvén.

A kémikusok fehérjének vagy fehérjeanyagnak bizonyos anyagot neveznek, a botanikusok pedig a magnak bizonyos szervét. A magfehérje a magvakban igen különbözőképpen helyezkedhet el, s tulajdonságai is igen eltérőek lehetnek. A fűfélék magvaiban például lisztes alakban; ez alkotja a liszt főtömegét is, mert a gabonamagvakban a csíra viszonylag igen kicsi. Ezekben a magvakban a csíra oldalt helyezkedik el és csak a csírapajzs érintkezik a magfehérjével. A más magjában viszont a csírat a magfehérje minden oldalról körülveszi, s ez a fehérje nem lisztes, hanem zsíros, olajos (17. ábra,  $a - B =$  fehérje,  $Cs =$  csíra). Végül a kávémagok főtömege szarukeményiségű magfehérjéből áll; a magfehérje oldalán egészen kis csíra helyezkedik el. Erről a következő érdekes kísérlet győzhet meg bennünket. Tudjuk, hogy a kávémag abban az alakjában, ahogyan hozzánk jut, már nem csíraképes, mert csíraképeségét csak néhány napig tartja meg. Ha azonban a kávészemet forró vízbe vagy még inkább marólúgoldatba tesszük, akkor érdekes jelenségnek leszünk szemtanúi: a nyilvánvalóan holt mag mintha kicsírásznék. Egy óra, sőt félóra múlva a megrepedt burokból hófehér gyököcske lép ki és utána sokszor az egészen apró rügyecske is kinyomul. A jelenséget könnyen megmagyarázhatjuk: a kávémag szarukeményiségű magfehérjeje a forró víz vagy a lúg hatására megpuhult, igen rugalmas lett, megduzzadt s így kinyomta a résébe ékelt csírat.

Láthatjuk tehát, hogy kétféle mag van: az egyikben nagyon fejlett, húsos sziklevelet, a másikban lisztes, olajos vagy keményebb szaruszerű gazdag mag fehérjét találunk. Amint a csírázás során a sziklevelek összezsugorodnak, megkisebbednek, ugyanúgy a fehérje is lassanként elpusztul, mintegy felszívódik. Feltámad a gyanú: nincs-e összefüggés a sziklevel vagy a fehérje anyagcsökkenése és a növekedés fokozódása között? Vajjon nem gyarapodik-e a fiatal növény a sziklevelben, illetőleg a magfehérjében elraktározott tápanyagokból? De hiszen a nyugalmi állapotban levő magban is megvannak ezek az anyagok, miért csak a csírázás idején észlelhetjük áthelyeződésüket? A kérdésre könnyen megtaláljuk a választ, ha visszaemlékezünk azokra a tényekre, amelyeket az előző előadásunk során megismertünk. A magfehérje vagy a sziklevelek a tápanyagokat kemény vagy egyáltalában nem oldható anyagok alakjában tartalmazzák. Emlékezzünk csak a liszt, vagyis az őrölt mag elemzésére. A lisztben nem oldódó keményítőt, nem oldódó sikkert és olajat találtunk. Ezek az anyagok mozdulatlanok, nem képesek az egyik sejtből a másikba áthatolni, ami különben természetes is, hiszen másként nem lehetnének tartalékanyagok.

A magban tehát csíra és bizonyos részében, a sziklevelben vagy annak közvetlen közelében magfehérje van. Az utóbbi táp-

anyagtartalék, mozdulatlan, tehát a csírára nézve hozzáférhetetlen alakban. Kérdés most már: milyen feltételeknek kell megvalósulniok ahhoz, hogy a csíra felhasználhassa ezt a tartalékot, hogy forgásba hozhassa ezt a különben holt tőkét?

Ezek a feltételek közismertek. Vízre van szükség: száraz talajban a magvak nem csíráznak. Melegre van szükség: a hideg tavasszal elvetett mag nem fejlődik mindaddig, amíg az idő melegebb nem lesz. Végül levegőre van szükség: a földbe túl mélyen eltemetett mag, akármilyen hosszú ideig ott maradhat, mégsem csírázik ki.

Víz, meleg és levegő — ez hát az a három tényező, amely a magot életre kelti. Vizsgáljuk meg ezeket egyenként.

\* \* \*

Vegyük először a vizet. A magvakban mindig kevés a víz,<sup>1</sup> ez egyik lényeges sajátosságuk. A nedves mag elveszti azt a leglényegesebb tulajdonságát, hogy az életet valamiféle dermedt állapotban magába zárja, s hogy ebben az alakban éveken, évtizedeken, sőt évszázadokon keresztül is túlélje a telet. Ha a mag nem száraz, nem tárolható. A nedves, esős őszt beálltakor már nem természetünk magvakát, mert azok kicsíráznak a kévékben, sőt a gyökerén álló növényen is. A mag nyugalmi állapotának főoka tehát a víztartalom hiánya. Mihelyt a mag vízhez jut, észre vesszük, hogy működni kezd. A mag megduzzad és felreped az a burok, amely eddig védelmére szolgált. A vízfelszívódás rendszerint jelentékeny erő kifejtéssel kapcsolatos. Stephen Hales angol tudósnak a figyelmét már a 18. század elején felkeltette ez a körülmény. Egy kis vas- edényt színig töltött borsóval, megnedvesítette azt és fedővel letakarta. A fedőre egyre nehezebb súlyokat rakott. Kísérletével bebizonyította, hogy a megduzzadó borsómagvak 200 font súlyt is felemelnek. Hofmeister kimutatta, hogy a megduzzadó magvak hasonló körülmények között néhány atmoszféra nyomást gyakorolnak az edény falára. A magvaknak ezt a sajátosságát, mint tudjuk, az anatómusok is felhasználják. Amikor a koponyacsontot részeire akarják szétbontani, a koponyaüreget borsóval töltik meg s azt megnedvesítik. A megduzzadt borsó az egész belső felületre egyenletesen elosztott, erős nyomást gyakorol s ennek következtében a koponyacsontok a varratoknál szétválhatnak. Ilyen mechanikus hatása van a víznek a magra. Segíti a magot abban, hogy a már szükségtelessé vált burkát levethesse és leküzdhesse a körülötte levő talaj részecskéinek ellenállását. Még fontosabb a víz kémiai

<sup>1</sup> L. a 66. oldalon levő táblázatot.

hatása. Víz nélkül nincs oldódás, tehát a tápanyagtartalékokat sem lehet áthelyezni. Ehhez azonban egymagában a víz nem elégséges. Vannak ugyanis anyagok, amelyek, mint láttuk, vízben nem oldódnak. Ezeknek az anyagoknak előbb át kell alakulniuk, hogy vízben oldhatók legyenek. A keményítőt például feloldhatjuk a vízben, ha az előbb cukorrá, glukózzá változik. Ilyen átalakulás lehetséges. A burgonyaszirup készítése — mint láttuk — ezen alapul és ilyen átalakulás megy végbe a valóságban is, amint arról könnyen meggyőződhetünk. Ízleljünk csak meg egy árpaszemet s utána egy darabka malátát, vagyis kicsírázott árpát, s nyomban tapasztaljuk, hogy míg az előbbi ízetlen, addig az utóbbi édes ízű. Lehet azonban, hogy az ízeles csalóka. Vegyük elő tehát azokat a vegyszereket, amelyeket az első előadásom során már bemutattam. Láttuk, hogy a kékszínű folyadék (Fehling-féle reagens-szer) vöröszínű csapadékot ad, ha glukózt keverünk hozzá. Vegyünk vizes maláta-öntetet, tégünk hozzá Fehling-féle reagens-szert, s vöröszínű csapadékot kapunk. Ha vékony szeletet metszünk a kicsírázott magszemből, azt mikroszkóp alá tesszük, s ebből a reagensből egy cseppet rácseppentünk, a sejtek vörösre színeződnek. Ilyenképpen akár ízeles, akár a pontosabb vegyszeres reakciók meggyőzhetnek arról, hogy a kicsírázott magban cukor, glukóz jelenik meg. Alapos-e azonban az a feltevés, hogy ez a cukor keményítőtől képződött? A kérdésre a mennyiségi analízis és mikroszkópos megfigyelés ad választ. Az egyik azt igazolja, hogy a mag keményítőtartalma a csírázás arányában csökken; a másik pedig feltárja a keményítőszemcsék átalakulását. A szemcsék elveszítik jellegzetes alakjukat, berágódottak lesznek, néha darabkákra hullanak szét, mintha felolvadnának, egyszerűen eltűnnek, feloldódnak.

Most pedig próbáljuk megmagyarázni azt, hogy miként alakul át a keményítő cukorrá. Ezt az átalakulást mesterségesen kénsavval idézhetjük elő, amint azt a burgonyaszirup példáján láttuk. A mag azonban nem juthat szabad kénsavhoz. Éppen ezért a kalászosok magvaiban a csírázás idején egy különleges anyag: a *diasztáz* jelenik meg: ennek a keményítőre ugyanolyan hatása van, mint a kénsavnak. A diasztáz egy egész anyagcsoportot képviselhet előttünk. Az anyagcsoport gyűjtőneve: enzimek. Enzimnek általában olyan anyagot nevezünk, amelyből rendszerint igen jelentéktelen mennyiség elegendő ahhoz, hogy egy másik anyag kémiai átalakulását megindítsa. Enzim nagyon sokféle van. Így például a keserű mandulának önmagában alig van a mandulára jellegzetes illata és íze. Mind a kettő jelentkezik azonban a magokban levő enzim hatására; az enzim pedig nyomban hatni kezd, mihelyt a magvak vízzel kerülnek érintkezésbe. A mustármagoknak sem lenne meg önmagában

a jellegzetes csípős íze és illata, ha nem lenne benne a *mirozin* nevű enzim. Ez az enzim a vízzel együtt felbont egy, a mustármagban levő anyagot (az úgynevezett mironsav sóját) és lehasítja belőle a szúrós illatú mustárolajat. Hogy ez a jelenség valóban így van, arról egy nagyon érdekes kísérlet révén is meggyőződhetünk. A gyógyszertárakban néhol két papírlapból álló mustártapaszt árulnak, amelyeket egymásra kell tenni és azután meg kell nedvesíteni. Külön-külön egyik lap sem képez mustárt. Mihelyt azonban egymással érintkezésbe jutnak, nyomban jelentkezik a jellegzetes csípős mustárirrat. Ez azért van így, mert az egyik lapot enzimmal, a másikat pedig azzal az anyaggal kenték be, amelyre az enzim hat. Az enzim hatása pedig csak akkor következik be, ha a papírlapot megnedvesítjük. Az említett példák eléggé megvilágítják a növényi enzimek hatását. Ilyen hatása van a *diasztáznak* is, amelyet könnyen előállíthatunk malátafőzetből, illetőleg a kicsírázott gabonaszemekből. Ennek a diasztáznak egy súlyrész vizes oldata elegendő ahhoz, hogy ezer vagy még több súlyrész keményítőt cukorra változtasson át; minél melegebb az oldat, annál gyorsabb az átalakulás.

Ilyen módon megérthetjük, hogy a csíra hogyan táplálkozhatik a magfehérjében vagy a sziklevelekben elraktározott keményítőtől. Érdekes, hogy ez a folyamat tökéletesen olyan, mint az, amely az állati szervezet táplálkozása közben lejátszódik. A nyálban, a gyomorsavban és az emésztőcsatorna egyéb váladékaiban enzimek vannak, amelyek a diasztáz módjára a keményítőt cukorra változtatják. Erről könnyen megbizonyosodhatunk, ha egy darab fehér kenyert hosszabb ideig szopogatunk: a kenyér lassan édeskés ízű lesz. Ezek szerint az állat is, a növényi csíra is fel tudja használni a nem oldódó keményítőt, de azt előbb oldható cukorra változtatja át.

Hasonló jelenségeknek kell végbemenniök az olyan magvakban is, amelyeknek kemény, szaruszerű magfehérjéjük van (például kávé, datolya). Magfehérjéjüknek ezt a tulajdonságát a nagyon vastag cellulózfal adja meg. Csírázás idején ez a cellulóz feloldódik és a csírat táplálja. A feloldódást különleges enzimnek tulajdonították, amelyet meg is találtak.

Vizsgáljuk most meg a tartalékanyagok második csoportját, a fehérjeanyagokat. A gabonaszemekben, a lisztben — mint láttuk — a magfehérje anyagok nem oldott állapotban, vagyis mozdulatlan sikként fordulnak elő. Azonban az oldott állapotban levő fehérje, mint például a tyúktojás fehérje vagy a növényi fehérje is mozdulatlan, mert *kolloidális*, vagyis olyan anyag, amely a hártyán nem hatol át. Abból a célból tehát, hogy ez az anyag mozgékonyvá váljék, az egyik sejtől képes legyen áthatolni a másikba, s így a növények táplálékául szolgálhasson, a magfehérjének is olyanféle változáson



kell keresztülmennie, mint amelynek során a keményítő glukózzá alakult.

Ezúttal is az állati szervezet táplálkozási jelenségeire vonatkozó ismereteink azok, amelyek útmutatást adnak a csírázó magban lefolyó jelenségek megmagyarázásához. A gyomorsavban levő enzimnek, a pepszinnek megvan az a tulajdonsága, hogy néhány csepp sav közrehatásával oldhatóvá tesz olyan nem oldható fehérjéket, mint a kemény tojás vagy a főtt hús fehérjéje. Közben a fehérjéket úgynevezett *peptonokká* alakítja át. A peptonok oldódnak a vízben és a növényi és állati hártyákon is áthatolnak. A növényi világban hosszú ideig nem ismertek a pepszinhez hasonló anyagot, éppen ezért a fehérjeanyagok mozgását sem értették meg. Később azonban — különböző oldalakról csaknem egyidejűen — olyan tények merültek fel, amelyek azt bizonyították, hogy a növényi szervezetben is hasonló módon alakulnak át a fehérjék.

Már a múlt században felhívták a figyelmet a Vénusz légy-csapója (*Dionaea muscipula* Ell.)-nevű növényre, amely rendkívül ingerlékeny leveleivel megfogja a rárepülő rovarokat és táplálékul felhasználja azokat. Akkor azonban nem értékelték eléggé ezt a tényt, sőt a kételkedők el sem hitték. Ez az adat talán feledésbe is ment volna, ha Darwin nem irányítja reá újból a figyelmet. Darwin alaposan kibővítette ezeknek a *húsevő növényeknek* a névsorát és életműködésük sok érdekes részletét tárta fel a botanikusok előtt. Egyik későbbi előadásunkban ismertetni fogjuk ennek a jelenségnek mechanikus oldalát is, most azonban csak példaként említjük meg, hogy ez a növény táplálékában az oldatlan fehérjét is fel tudja venni. A növényi emésztés jelenségét először Darwin tanulmányozta, mégpedig a harmatfüvön, amely nálunk is elég közönséges tőzeglápi növény. Úgy látszik, hogy az a váladék, amelyet e növény leveleit takaró szőrök választanak ki, a pepszinhez hasonló anyagot tartalmaz. Ehhez az anyaghoz a szőrök ingerlése közben sav járul s ekkor, a gyomorsavhoz hasonlóan, alkalmas a fehérjék feloldására. A növény akár a természetes körülmények között leveleire került rovarokat, akár pedig a kísérletezés közben mesterségesen a leveleire helyezett tojásfehérje- vagy húsdarabkákat feloldja és elnyeli. Ezek a kísérletek bebizonyították, hogy a növény nem oldódó fehérjeanyagokkal is táplálkozhatik és a kutatók érdeklődését arra ösztönözték, hogy a csírázó magvakban pepszinhez hasonló enzimeket keressenek. Ezeknek felfedezése nem is késett sokáig. Az enzimeket először a hüvelyes növényekben találták meg, azután más növényekben, mint például a kenderben vagy lenben, végül pedig az árpamalátában mufatták ki. Különösen figyelemreméltó az az enzim, amelyet a dinnyefa (*Carica papaya* L.) tejszerű nedvében találtak.

Ez a nedv éppen úgy hat, mint a gyomorsav. Ilyen módon érthetővé válik, hogy a csíra hogyan táplálkozhatik a magfehérje-tartalékokból: csírázás közben a pepszinhez hasonló enzim keletkezik, ez hat a fehérjékre, illetőleg ez alakítja át azokat oldható, mozgékony alakká. A fehérjeanyagok egy része a csírázás folyamán még mélyrehatóbb átalakuláson megy keresztül; olyan testekké alakul át, amelyek kristályosodásra is képesek; a fehérjékből még mozgékonyabb krisztalloidok lesznek.

Így például a kalászos növény csírája nem csupán azzal a keményítővel, sikkrel táplálkozik, amelyet mi is táplálékként fogyasztunk, amikor kenyeret eszünk, hanem a mi emésztésünkhöz hasonlóan meg is emésztí s a mienkéhez hasonló enzimekkel glukózzá és peptonná változtatja azokat.

Az olajos magvakkal való táplálkozásra vonatkozó ismereteink kevésbé kielégítőek ugyan, de ebben a tekintetben is vannak már bizonyos útmutatások. Az olajok ebben az alakjukban egyáltalában nem képesek a nedves sejtfalakon áthatolni. Az olaj azonban az úgynevezett zsírsavaknak és a vízben könnyen oldódó glicerinnek a vegyülete, s vannak bizonyos tények, amelyek megalapozzák azt a feltevést, hogy csírázás közben az olaj alkotórészeire, tehát zsírsavakra és glicerinre bomlik valamely különleges enzim hatására. Ezenfelül tudjuk azt is, hogy a szabad zsírsav jelenléte nagyon elősegíti az olajcseppek vízben való felaprózását és úgynevezett emulziók képződését. Emulzióknak nevezzük a fehérszínű, olajtartalmú, tejszerű folyadékokat, mint amilyenek a tehéntej, mandulatej, máktej stb. Az emulzióképződésnek nagy szerepe van az állati szervezet táplálkozásában, s könnyen úgy lehet, hogy bizonyos szerephez jut a zsíros, olajos magvak csíráinak táplálkozásában is.

A fiatal rügyecske táplálkozásának első részét így megmagyaráztuk. A mozdulatlan tartalékanyag a víz és az enzim hatására mozgó állapotba kerül, hozzáférhetővé válik a rügy számára s közvetlenül bebizonyíthatjuk azt is, hogy a csíra ezekből a tartalékokból fejlődik. Ha csírázásnak indult hüvelyes mag szikleveleit levágjuk, a csíra továbbfejlődése megszűnik, noha gyököcskéje és szára már valamennyire kifejlődött. Ne gondoljuk azt, hogy a csíra fejlődését a sérülés állította meg. Kísérletekkel bizonyították ugyanis, hogy a csírában igen nagy életerő van. Messzük el a csírárt hosszában vagy keresztben, s ha az így keletkezett részecskék kapcsolatban maradnak a tápláléktartalékok elraktározó sziklevelekkel, tovább fognak fejlődni. Sőt, ha a gyököcskét metsszük le és csak a rügyecskét hagyjuk meg a sziklevével kapcsolatban, a rügyecske gyorsabban fejlődik, mint fejlődne akkor, ha az egész csíra meglenne. Fordítva is így áll a dolog: ha levágjuk a rügyecskét és a gyököcskét hagyjuk

a sziklevéllal összeköttetésben, akkor a gyököcske fejlődik erősebben, mint fejlődött volna ép csíra esetében. Ez érthető is, hiszen ebben az esetben két szerv közül csak az egyik használja fel a két szerv részére szánt tartalékanyagokat. A fehérje-magvakban a csíra és táplálkozásának forrása, a magfehérje között nincs szerves kapcsolat. A csíra szorosan hozzásimul a magfehérjéhez, vagy a magfehérje veszi körül a csírat, de mindkét esetben a csíra megsértése nélkül széjjelválaszthatók. Éppen ezért a csíra táplálkozásának tanulmányozására a fehérje-magvak a legalkalmasabb vizsgálati tárgyak. A kalászosok magfehérjéje eredetileg száraz, lisztszerű tömeg, de a csírázás folyamán megfolyósodik, kásás vagy tejszerű lesz. A csíra azon a részén pedig, amellyel a magfehérjéhez támaszkodik és amelyet csírapajzsnak (17. ábra, b, c, d, e — P) neveztünk, a külső sejtek csúcs vagy fonalak alakjában belenyúlnak a felpuhult fehérjébe és felszívják onnan a tápnedveket. A pohánka (hajdina) és más növények magcsírái még előnyösebb helyzetben vannak; ezek valósággal úsznak a félfolyékony fehérjeanyagban, tehát egész felületükkel felvehetik a tápanyagot. Ha ebben az időpontban a csírat elválasztjuk a magfehérjétől, fejlődése megszűnik. Fejlődését viszont mesterségesen fenntarthatjuk, ha a fehérjétől elválasztott csírat egy darabka — lisztből vagy keményítőből készült — tésztába burkoljuk. Azt, hogy a csíra ebből a tésztából táplálkozik, nemcsak azt bizonyítja, hogy a csíra tovább fejlődik, hanem az is, hogy a csírával érintkezésbe jutó keményítőszemcsék a bomlás nyilvánvaló jeleit mutatják, hogy megemésztődnek, felszívódnak.

Többször használtuk azt a kifejezést, hogy a csíra a sziklevelekből vagy a magfehérjéből felszívja a tápanyagot. Ezt a kifejezést természetesen jelképes értelemben alkalmazzuk, mert a tápanyagok mozgását a csírában a diffúzió általános jelenségével kell magyaráznunk; azzal a jelenséggel, amellyel előző előadásunkban megismerkedtünk. Valóban azt látjuk, hogy a csírázás folyamán minden tápanyag az oldat alakját veszi fel; ezeknek az oldatoknak pedig a diffúzió törvénye szerint a mag minden részében, tehát a csírában is egyenletesen kell eloszlanio. A diffúzió szerepe azonban ezzel az egyenletes elosztódással, ezzel az egyensúlyállapottal be is fejeződik. Mi bontja meg újból ezt az egyensúlyt, mi helyezi át úgyszólván a súlypontot a magfehérjéből a csírába? Ismét csak az, amivel a múlt előadásunkban azt magyaráztuk meg, hogy miként kerül a vassó a külső edényből mesterséges sejtünkbe, illetőleg, hogyan alakul vissza oldhatatlan anyaggá. A csírába bejutó oldatokat a szervezet sejtek képzésére, új szervek fejlesztésére használja fel. A szénhidrát-oldat, a glukóz nem oldható szénhidrogénné alakul, vagyis cellulóz lesz belőle, amiből a rügy újonnan keletkező sejtjeinek falai épülnek. Az oldódó, át-

hatoló fehérjék, a sejtek, nem oldódó és át nem hatoló protoplazma anyagaivá alakulnak. Ez az átalakulás pedig, mint a mesterséges sejt példáján láttuk, új glükózmennyiség, új fehérjemennyiség stb. behatolását teszi lehetővé. Az anyagoknak ez a feloldódása és lerakódása, mondhatnánk, a mag egyik részéből a másik részébe történő vándorlása mindaddig folytatódik, amíg ezek a részek érintkeznek egymással... A csíra kiszívja a táplálékot a magfehérjéből és a sziklevelekből. Azért szívja ki a táplálékot, mert fejlődik és azért fejlődik, mert kiszívja a táplálékot: íme, az ok és okozat itt is, mint minden életműködésben, milyen szorosan kapcsolódnak egymáshoz.

Látjuk tehát, hogy a csíratáplálkozás jelenségének alapja ugyanaz az általános diffúziós jelenség és az az átalakulás, amelyekkel előző előadásunk során a sejtek táplálkozásával kapcsolatban megismertedtünk. Ez másként nem is lehet, hiszen a csíra élete a csírátkotó sejtek életéből tevődik össze.

\* \* \*

Az eddigiek során csupán arról győződünk meg, hogy a csírázás folyamatában az anyag a mag egyik részéből áthelyeződik a másik részébe. Noha a fiatal növény látszólag megnagyobbodott, megnövekedett, a csírázás ideje alatt igazi növekedést, az anyag tömegének valóságos gyarapodását nem észlelhetjük; erről nyomban meggyőződhetünk, ha lemérjük a magot és a rügyet. Az egyszerű mérés azonban nem kielégítő. Ha ugyanis csak egyszerűen lemérjük a magot és azután a rügyet, akkor mindig a rügy lesz a nehezebb, ami természetes is. Láttuk, hogy a növény különböző részeinek mennyire eltérő víztartalma van; a magban igen kevés a víz, az egész növényben elég sok.<sup>1</sup> A csírázás folyamán kezdetben az egész mag, azután pedig a gyököcske vizet szív fel. Ez a magyarázata a súlytöbbletnek. Ha azonban a magot és a fiatal növényt a mérés előtt 100%-ig kiszárítjuk és a száraz súlyt mérjük, arról győződünk meg, hogy a növény a csírázás alatt, jóllehet megnövekedett, lényeges súlyvesztéséget szenvedett. Kérdés tehát, hogy hová lett ez az anyag? A növényeken — szemben az állatokkal — rendszerint sem szilárd, sem folyékony ürülék kiválasztását nem észlelhetjük s ha lenne is ilyen és azt számításba is vennénk, távolról sem fedezné a teljes súlyvesztéséget. Így csak az a feltevés van hátra, hogy a mag gáznemű termékeket veszít, hogy azok egy része elillan a levegőbe.

Ez a feltevés a csírázás három feltétele közül közvetlenül a másodiknak, a levegő szerepének vizsgálatához vezet. A levegő, mint

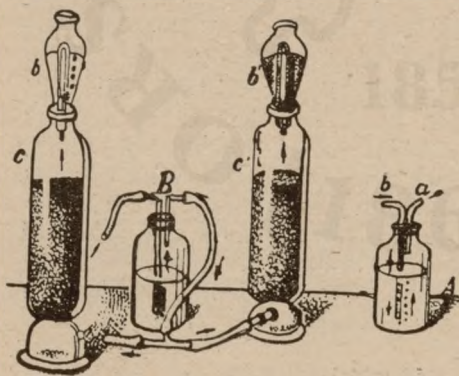
<sup>1</sup> Lásd az elemzések táblázatát a 66. oldalon.

tudjuk, oxigénből és nitrogénből áll. A kísérletek közvetlenül kimutatják, hogy a magnak az oxigénre szüksége van. A földbe túl mélyen vetett mag nem csírázik ki és a vízben levő mag sem csírázik, ha a vizet fel nem frissítik; de ugyanígy nem csírázik a mag, vagy ha már kicsírázott, a fejlődése abbamarad, ha oxigénmentes levegő veszi körül. Így hát kétségtelenül oxigénre van szüksége. Mi a hatása az oxigénnek? Könnyen bizonyíthatjuk, hogy a mag elnyeli az oxigént. Az oxigén az égés feltétele, oxigén nélkül az égő testek kialszanak. Ha tehát a csírázó magvak oxigént nyelnek el, akkor a korlátozott térfogatú levegőben tartott csírázó magvak bizonyos idő alatt megfosztják ezt a levegőt oxigéntartalmától és alkalmatlanná teszik arra, hogy az égési folyamatot fenntartsa. Ennek a szélesnyakú üvegpalacknak az aljára tíz órával ezelőtt csírázó magvakat szórtunk és száját üvegdugóval jól elzártuk. Most kinyitjuk és égő gyertyát bocsátunk bele: íme, ebben a pillanatban máris elalszik a gyertyaláng, nyilvánvaló jelül annak, hogy az üveg levegője már nem tartalmaz oxigént. Az oxigént elnyelték a magvak.

Mint ahogy látjuk, hogy mennyi hasonlatosság van az állati és a növényi táplálkozás között, joggal feltehetjük a kérdést: vajjon a mag nem ugyanarra a célra használja-e a levegő oxigénjét, mint amire az állatok? Vajjon ez az oxigén nem szolgál-e szintén a légzés céljára? A légzés tudvalevően lényegében nem más, mint égés. Belélekezzük az oxigént, a vér szétviszi a test minden részébe, oxidál vele, elégeti a szenet és a hidrogént, és kiválasztja szén-sav és víz alakjában. Erről könnyen meggyőződhetünk azzal az egyszerű kísérlettel, amely kimutatja, hogy a be- és a kilélekzett gáz nem azonos, hogy a kilélekzett gáz szén-savat is tartalmaz.

A szén-savat a többi gáztól a következő két ismertetőjél különbözteti meg. Ha a szén-savat meszes vízben, tehát olyan vízben bocsátjuk keresztül, amelyben égetett meszet oldottunk fel, akkor ez a különben teljesen átlátszó, szintelen víz zavaros lesz, az alján kréta, vagyis szén-savas mész — tehát a mész és szén-sav vegyülete — csapódik le.

Vegyünk egy üvegpalackot (18. ábra A) és dugóján keresztül bocsátunk bele



18. ábra

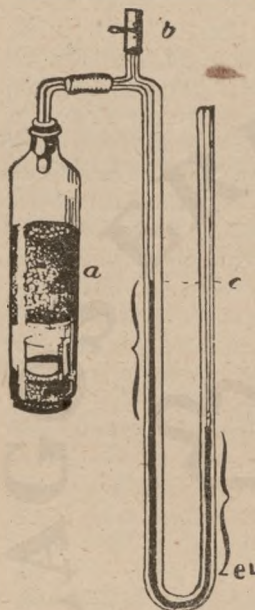
két könyökcsovét — egy hosszabbat és egy rövidebbet — úgy, hogy a hosszabbik cső vége a meszes víz szintje alá merüljön, a rövidebb cső pedig ne érje el a mesze svíz szintjét. Először a számba veszem a rövidebb cső (*a*) végét és kiszívom a levegőt. Ezalatt a másik, a hosszabb csövön keresztül a külső levegő bugyborékolva halad át a vízen, de ez nem zavarosodik meg. Most fordítok egyet az üvegen és a hosszabb cső végét (*b*) veszem a számba és kilélekzem a rövidebb csövön keresztül a beszívott levegőt. A levegő újra bugyborékolva halad át a vízen, ezúttal azonban a víz zavaros lesz. Hogy bebizonyítsuk, hogy az üveg alján lerakódott csapadék valóban kréta és hogy szénsavat tartalmaz, öntsünk hozzá pár csepp ecetsavat; a csapadék sisteregve feloldódik és a sistergő gázbuborékok nem eyebek, mint az imént kilélekzett szénsav.

A szénsav másik próbája a következő. Minden úgynevezett marólúg mohón nyeli el a szénsavat. Egy üvegcsövet, amelynek csak az egyik vége nyitott, töltsünk meg szénsavval, utána fogjuk be az ujjunkkal a cső nyitott végét és merítsük marólúgoldattal telt edénybe. Mihelyt elveszük ujjunkat a cső nyílásáról, a folyadék gyorsan emelkedni kezd a csőben, végül is megtölti; a szénsav, mely az üvegcsőben volt, eltűnt, illetőleg a folyadék elnyelte azt.

Mint hogy most már van olyan eszközünk, amellyel a szénsav jelenlétét felismerhetjük, térjünk vissza ahhoz a kérdéshez, hogy lélekenek-e a csírázó magvak? A kérdés első felét már megoldottuk, mert láttuk, hogy a csírák oxigén nélkül nem élhetnek és hogy az oxigént elnyelik. Most már csak azt kell bizonyítanunk, hogy az elnyelt oxigén helyett szénsavat választanak ki. Hogy kísérletünk szemléltető legyen, azt a következőképpen végezzük. Nyomjunk közönséges levegőt a középső edénybe (18. ábra, *B*) a nyíllal megjelölt nyíláson keresztül (közömbös az a technikai részletkérdés, hogy mi módon nyomjuk be a levegőt az edénybe, mert az a kísérlet lényegét nem érinti). A levegő buborékok alakjában halad át a marólúgoldaton s annak a szénsavnak a nyomait mutatja, amely mindenféle levegőben jelen van s még inkább jelen van az olyan terem levegőjében, ahol sok ember lélelzik. A középső edényből a szénsavtól már megfosztott levegő két irányban halad tovább. Miként az ábrán a nyíllak mutatják, két edényen (*c* és *c'*) halad át és mindkettőben mésvízen keresztül bugyborékolva jut a felszínre; a mésvíz a két készülék tetején lévő tölcéserekbe (*b* és *b'*) öntöttük. Mindkét készülék teljesen egyforma és ugyanazt a levegőáramlást hajtjuk mindkettőn keresztül, de a jobboldali készülékbe (*c'*) élő, csírázó kender- vagy borsómagvakat, a baloldali készülékbe pedig ugyanilyen, de előzetesen megölt, szublimáttal megmérgezett csírázó magvakat szórtunk. A készüléken áthaladó légáramlás állandóan érintkezik

a magvak felületével és azután halad át a (*b és b'*) tölcseáron. Íme, láthatjuk, milyen különbségek mutatkoznak : míg a baloldali edény tölcserében a folyadék átlátszó marad, a jobboldali edény tölcserében megzavarosodott, tejszínű lett ; néhány perc múlva pedig az utóbbi alján bőséges krétacsapadék rakódik le.

Nyilvánvaló tehát, hogy az élő, csírázó magrétegen áthaladt levegő szén-savat tartalmaz. Ezek szerint a magvak elnyelik az oxigént és szén-savat választanak ki. Most már csak azt kell bizonyítani, hogy a két folyamat összefüggésben áll egymással, vagyis, hogy a csírázó mag a szén-savat az elnyelt oxigén helyett választja ki. Ezt az alábbi kísérletből láthatjuk, ez a kísérlet egyszersmind fogalmat ad arról is, hogy milyen erőteljes ez a légzési folyamat.



19. ábra

Egy üvegburát (19. ábra, *a*) dróthálóval osszunk két részre. A felső részbe kicsírázott kendermagot szórunk, az alsó részbe marólúggal telt és gumidugóval elzárt kis pohárkát teszünk. A bura felső nyílását is gumidugóval zárjuk el, de a gumidugón könyökcsovet, úgynevezett manométercsövet vezetünk keresztül. Ebben a csőben színes folyadékoszlop van; a csövet (*b*) csappal elzárhatjuk. Hagyjuk a csapot nyitva, hogy a levegő az edényen belül és kívül egyensúlyban legyen. Ha azonban elzárjuk a csapot, a manométer balkönyökében a színes folyadék emelkedni és

a jobb könyökében esni kezd úgy, hogy szintje hamarosan az egyik szárban *c*-nél, a másikban *c'*-nél lesz. A kísérlet jelentőségét könnyen megérthetjük. Az edény felső részében elhelyezett magvak szén-savat választanak ki, ezt pedig a készülék alsó részén a pohárban lévő marólúg mohón elnyeli. Mindennek következtében a készülékben csökken a levegő térfogata, amit a manométer balszárán a folyadékoszlop emelkedése jelez. Ez a kísérlet közvetlenül megmutatja, hogy a szén-sav a magvak által elnyelt másik gáz helyett jön létre, mert ha a szén-sav csupán keveredne a készülékbe zárt levegővel, akkor két eset lenne lehetséges : vagy növekedne a levegő térfogata a készülékben vagy változatlan maradna (feltéve, hogy a marólúg a szén-savat a kiválasztás arányában nyelné el). A térfogatcsökkenés tehát azzal függ össze, hogy az oxigént a magvak elnyelik, az oxigén helyett rendszerint ugyanakkora

térfogatban kiválasztott szénsavat pedig a marólúg nyeli el. Ezzel a feltétellel a térfogatcsökkenés egyidejűleg szolgál az oxigén-belélekezés és a szénsav-kilélekezés mértékéül. A folyadékoszlop olyan gyorsan emelkedik, hogy az előadásom iolyamán többször ki kell nyitnom majd a (b) csapat, hogy a színes folyadékot egy szintre hozzam. A manométer folyadékoszlopának ez az állandó emelkedése azt mutatja, hogy a magvak, bár hangtalanul, láthatatlanul, szem és fül által nem érzékelhetően, de elég energikusan lélekeznek.

A legújabb kutatások bebizonyították, hogy a légzéssel szoros kapcsolatban van a már ismert enzim, nevezetesen a diasztáz képződése. Amikor a vízzel megduzzasztott magvakat levegő helyett hidrogénnel töltött edénybe helyezték, nem fejlődtek tovább és nem lehetett bennük diasztázt kimutatni, ezzel szemben azokban a magvakban, amelyek a levegővel érintkezettek, diasztázt tartalmazó rügyek keletkeztek. Ilyenformán érthetővé válik előttünk a növényt életrekelítő légzés egyik közeli következménye.

A légzés ténye szolgáltat magyarázatot arra a száraz anyag tekintetében jelentkező állandó súlyvesztésre is, amely figyelmünket a mag és a levegő viszonyára irányította. A légzés a szerves anyagban lévő szénnek és hidrogénnek állandó, lassú égése. Ha összevetjük a mag és a belőle származó rügy elemeinek analízisét, azt látjuk, hogy a súlycsökkenés éppen ezekre az elemekre esik, míg a nitrogén mennyisége változatlan marad.

\* \* \*

Miután meggyőződünk arról, hogy a csírázó magban lényegében ugyanaz a lézési folyamat megy végbe, mint az állati szervezetekben, tovább mehetünk egy lépéssel, s joggal feltehetjük azt a kérdést, hogy a növényi szervezet lézésének folyamata nem jár-e ugyanazokkal a következményekkel, mint az állati szervezeteké. A lézés folyamata ugyanis, amely lényegében lassú égés, fenntartja az állat hőmérsékletét, melegíti azt. Vajjon a lézés nem melegíti-e fel a fiatal, meginduló növényt is és nem látja-e el azzal a hővel, amelyre fejlődéséhez szüksége van? Ez a kérdés elvezet a csírázás három feltétele közül az utolsónak: a meleg hatásának vizsgálatához.

Nemcsak a pontos kísérletek, de a meglehetősen nyers megfigyelés is azt mutatja, hogy a magvak csírázás idején — nyilván a lézés következtében — felmelegsznek. Így például malátakészítés közben régen megfigyelték, hogy a csírázó árpamag-rakások annyira felmelegsznek, hogy a fejlődő meleget hőmérő nélkül, pusztán a kezünk érintésével is érzékelhetjük. Előfordultak olyan esetek is, hogy befülledt magvakban öngyulladás keletkezett, de ezekben az



esetekben a rendes életfolyamathoz még a romlás, rothadás folyamata — tehát láthatatlan mikroszkópikus lények élete — is társult. Pontosabb kísérletek során, amikor is a rothadás forrásait igyekeztek lehetőleg kiküszöbölni, azt észlelték, hogy a csírázás 4—10<sup>0</sup>-kal, sőt még többel is emeli a magvak hőmérsékletét a környezet hőmérséklete fölé. Ez a hőmérsékletemelkedés nyilvánvalóan hasznára van a fejlődő csírának. A földművesek igen sok megfigyelése és a botanikusok pontosabb kísérletei egyaránt azt igazolják, hogy a csírázás gyorsasága, tehát a gyököcske kibúvása és a csíra további fejlődése közvetlenül összefügg a hőmérséklettel és hogy különböző növényekre más és más hőmérsékleti határok irányadók, amelyeken megszűnik a csírázás lehetősége. Nagyon sok növényre nézve meghatározhatjuk azt a legalacsonyabb hőmérsékletet, amelyen csírázni kezd és azt a legmagasabb hőfokot, amelynél ismét elveszíti csírázóképességét. A két hőmérsékleti határ között a csírázás gyorsasága bizonyos pontig fokozódik és azt követően csökken. Ilyenképpen három hőmérsékleti pontot különböztethetünk meg: a csírázási hőmérséklet *alsó és felső* határát, továbbá *legalkalmasabb* fokát, amelyen a csírázás folyamata a legeredményesebb, illetőleg a leggyorsabb. Így például a gabonafélék rendszerint plusz 2—3 foknál kezdenek csírázni s a csírázás a hőmérséklet további emelkedésével egyre gyorsul; 15—16<sup>0</sup> R-től<sup>1</sup> kezdve azonban a folyamat lassabb lesz és 30<sup>0</sup> R mellett csaknem megszűnik. Sokáig azt tartották, hogy 0<sup>0</sup>-on, vagyis a víz fagyási pontján semmiféle élet, tehát csírázás sem lehetséges. Nem régen azonban megfigyelték, hogy a magvak még jégben is csírázhatnak. A következő kísérletet végezték: egy darab jégbe egy kis gödröt vájtak, ebbe beletették a magvakat és a gödröt egy másik jégdarabbal befedték, s az egészet egy arsin<sup>2</sup> vastagságú jégréteggel letakart ládába tették, majd a ládát januártól, illetőleg márciustól kezdve veremben tartották. Két hónap múlva, tehát márciusban, illetőleg májusban a legkülönbözőbb növények — búza, rozs, borsó, káposzta, mustár — magjait mind kicsírázott állapotban találták. A vékony gyököcskék behatoltak a vastag jégbe. Ez a különös, meglepő, de hiteles kísérlet, más hasonló tényekkel — mint például a hó alatt fejlődő bizonyos alpesi növények kivirágzásával — együtt csak úgy magyarázható, hogy valószínűen a növény légzésével létrehozott hőmennyiség az, amely a jeget a növény közvetlen közelében felolvasztja. Általában 0<sup>0</sup> alatt bármiféle életet lehetetlennek tartottak annál fogva, hogy a víz ezen a hőmérsékleti ponton megfagy. Ez a vélekedés azonban nem helytálló, mert tudvalevő, hogy a víz 0<sup>0</sup> alatt

<sup>1</sup> R = Réaumur (ejtsd: réomür). 1 R<sup>0</sup> = 1,25 C<sup>0</sup> (C = Celsius). — Szerk.

<sup>2</sup> Arsin = régi orosz hossz mérték; 0,7112 m. — Ford.

nem feltétlenül fagy meg ; például a nagyon finom hajszalcsövekben —10 R<sup>0</sup>-on sem fagy meg.

Láthatjuk tehát, hogy a csírázás és általában az élet folyamatai áránylag szűk hőmérsékleti határok, 0<sup>0</sup>—40<sup>0</sup> R között folynak le. Ezek a határok azonban nem irányadók a nyugalmi állapotban lévő magvakra. Vízszintes, száraz állapotban sokkal szélsőséesebb hőmérsékleti határokat is károsodás nélkül viselnek el. Ilyen állapotban csírázókéességük elvesztése nélkül egyfelől 100—120 R<sup>0</sup>-os melegnek, másfelől az olyan alacsony hőmérsékletnek hatását is kibírják, amilyent a cseppfolyós levegő segítségével állíthatunk elő. Egyszóval a nyugalmi állapotban lévő magvaknak a hőmérséklettel szemben igen nagy az ellenállóképességük és ez egyik legfontosabb tulajdonságuk.

Ez tehát a csírázás harmadik tényezőjének, a hőmérsékletnek a jelentősége. Ne higgyük azonban, hogy a meleg siettető és a hideg késleltető hatása, vagy az említett hőmérsékleti határok olyan tulajdonságot jeleznek, amely kizárólag csak az élő szervezetekre jellemző. Ellenkezően, tudjuk, hogy a legtöbb kémiai és fizikai folyamat, amely az élő szervezetekben végbemegy, összefügg a hőmérséklettel. Így például a hőmérséklet emelkedése meggyorsítja a diffúziót, valamint a folyadékok mozgását a finom, hajszalcsöves edényekben. A hőmérséklet emelkedésével meggyorsul a diasztáznak a keményítőre gyakorolt hatása is. A kérdést azonban megfordíthatjuk : ha a hőmérséklet emelkedésével a fizikai vagy a kémiai folyamat meggyorsul, hogyan lehetséges, hogy bizonyos ponton túl a hőmérséklet emelkedése már lassítóan, visszatartóan hat a magvak életműködésére? Miért vannak úgynevezett legkedvezőbb hőmérsékleti pontok? Nem kell-e ebben az élő szervezet sajátosságát látnunk? Egyelőre nincs szükség arra, hogy ezt tegyük fel. Tudjuk, hogyha hő hat közre az életjelenségek gyorsulását elősegítő egyes kémiai folyamatokban, akkor ugyanez a hő idézi elő azokat a folyamatokat is, amelyekkel az élet összeférhetetlen. Így például a fehérje, amely a protoplazma alkatrésze, már 50<sup>0</sup> R körül úgy megalvad, mint a tojásfehérje, valószínű azonban, hogy már korábban kezd megváltozni. Érthető tehát, hogy ha a fokozott hőmérséklet a mag életműködésére egyidejűleg kedvező és hátrányos folyamatokat indít el, akkor ennek az életműködésnek bizonyos középhőmérsékleten kell a legenergikusabban lefolynia, azon a fokon, ahol a hőmérséklet kedvező és hátrányos hatása a legelőnyösebben találkozik. Így hát a hőmérsékletnek a csírázó magra gyakorolt hatásában sem látunk semmi olyasmit, amire tekintettel fel kellene adnunk az idevágó jelenségek lefolyásának fizikai-kémiai magyarázatát.

A mag életének van még egy oldala, ami azonban, sajnós, távolról sincs eléggé felderítve. Arra az eltérő mértékre gondolunk, amely szerint a különböző magvak csírázókéességüket, illetőleg életképességüket megtartják. Vannak magvak, amelyek évekig, évtizedekig, sőt évszázadokig megtartják csírázókéességüket. Mások viszont az anyanövénytől történt elválasztásuk után csak néhány napig maradnak csírázóképesek s ennek az időnek elteltével megszűnik ez a képességük; ilyen például a kávémag vagy a fűzfamag. Végül vannak olyan növények — mint például a legtöbb csonthéjas termésű — amelyeknek magjai csak jelentékeny idő eltelte után képesek csírázni. Ha a jelenséget alaposan megvizsgálánk, minden valószínűség szerint megtalálnánk annak közvetlen okát is. Az a tulajdonság, hogy a csírázókéesség hosszú évekig megmarad, lényegében nem tekinthető valamilyen furcsaságnak. Ha a mag nem tartalmazza azt a vízmennyiséget, amely a kémiai változásokhoz szükséges és ha burka útján vagy más módon el van szigetelve a légköri behatásoktól és így valójában meg van fosztva attól az egyik feltételtől, amely a kémiai változásokat megindítja, akkor nehéz lenne elképzelni, miféle hatással lehetne rá az időmúlás, persze amennyiben a mechanikai sérülések lehetőségét valóban kiküszöbölték. És csakugyan kétségbevonhatatlan tények szólnak amellett, hogy olyan magok is kicsíráznak, amelyek előbb a herbáriumban<sup>1</sup> száz évnél is tovább száradtak. Példaként hivatkozni szoktak az úgynevezett múmia-búzára is, amely évezredekig pihent az egyiptomi sírokban. Ez a példa azonban nem teljesen hiteztérdemlő. Az a képesség különben, hogy az élőlény hosszú éveket tölt a dermedtség állapotában anélkül, hogy elvesztené az újraéledés lehetőségét, nemcsak a magvak kizárólagos sajátossága. Tudjuk, hogy sok mikroszkópikus méretű atkászerű lény vagy egyéb állat, amely egészen a porszerű állapotig kiszárad, évekig marad meg ebben az állapotban, de ha nedvesség éri, ismét feléled. Nehezebb magyarázatot találni a másik végletre, nevezetesen arra az esetre, amikor a mag gyorsan, néha néhány nap alatt elveszíti csírázókéességét. Itt a tények inkább arra a feltevésre utalnak, hogy a magvak idővel elvesztik különleges életképességüket. Azt azonban mégsem állíthatjuk, hogy az ilyen magvak mindenféle magyarázat elől kitérnek s nem összehasonlíthatók olyan jelenségekkel, amelyek a szervezeteken kívül mennek végbe. Így például a kávémag tápanyagtartaléka elsősorban abban a cellulóz-alakban van jelen, amelyből szaruszerű, kemény magfehérjéjük van. Könnyen lehetséges, hogy ennek a fehérjének oldhatósága idővel erősen módosul, mert a cellulóz a szervezeten

<sup>1</sup> Növénygyűjteményben. — Szerk.

kívül is hasonló változásokon mehet keresztül. A frissen kicsapott vagy nedves állapotban tartott cellulóz bizonyos reagens-szerekben könnyen oldódik ; ugyanez a cellulóz azonban, ha kiszárad és szilárd szaruszerű anyaggá lesz, szinte oldhatatlanná válik. Lehetséges, hogy hasonló a helyzet a kávémaggal is, tehát hogy csak a friss mag tartalmaz olyan cellulózt, amely oldható állapotba hozható. Ami pedig az utolsó kategóriát, tehát azokat a magvakat illeti, amelyeknek néha esztendőkre van szükségük ahhoz, hogy kicsírázzanak, (például a csonthéjas termésűek magvai), már pusztán az a mechanikai akadály is, amelyet le kell küzdeniök, okát adhatja ennek a lassúságnak. Valóban, ha az ilyen magvak vagy termések kemény burkát megsértjük, csírázási folyamatukat meggyorsíthatjuk.

\* \* \*

Foglaljuk össze a csírázás jelenségeire vonatkozó ismereteinket. Igyekezzünk elképzelni a növény életében ennek az egészen sajátos időszaknak általános jellemvonásait.

A csírázás időszakát mindenekelőtt az jellemzi, hogy ez alatt az idő alatt a növény nem kíván külső táplálékforrásokat, abból a tápláléktartalékból él, amely a magféhéjében vagy a sziklevelben van elraktározva. A magvak életműködésének megindulásához víz, oxigén, levegő és meleg szükséges. A víz hatása kettős : mechanikai és kémiai. Mechanikai hatása megduzzasztja a magvakat, felrepezti a héjukat és erőt ad a környező talajszemcsék ellenállásának leküzdésére; a víz kémiai hatása abban nyilatkozik meg, hogy feloldja a különböző enzimeket, majd ezek közrehatásával a nem oldódó tartalékanyagokat is. Ezek az oldatok behatolnak a csírába és ott felhasználódnak a növekedéshez, s újból nem oldódó vagy nehezen oldódó anyagokká változnak át. Ezekkel a folyamatokkal egyidejűen megindul a magvakban a légzés folyamata is, nem számítva most azokat a ritka és kivételes eseteket, amelyekről még szó lesz. A légzés minden szervezetnek, a Föld minden élőlényének jellemző sajátossága. A légzés folyamata egyszersmind megmagyarázza a csírázó magvakon észlelhető súlyvesztéseket és hőmérsékletemelkedést is. A növény tehát, jóllehet a terjedelme látszatra megnövekedik, fejlődésének ebben a szakaszában nem növeli tömegét, nem halmoz fel anyagot, hanem ellenkezően : elfogyasztja tartalékanyagát. A csírázás alatt az anyag csak átalakul, de nincs anyagátsajátítás. Meggyőződünk tehát arról, hogy a táplálékanyagok átsajátítása és a növekedés nem mindig járnak együtt. Legjobban azzal jellemezhetjük a csírázás időszakát, ha azt mondjuk, hogy a csírázás folyamán a *növekedés átsajátítás nélkül* megy végbe ...

Ennek a fejlődési szakasznak a végén a növénynek teljesen kialakult és életműködésre kész szervei vannak. Vannak olyan növények is, amelyeken az egész csírázási időszak érdekes módon, az anyanövényen megy végbe. Ilyen a nevezetes mangrovefa (*Rhizophora conjugata* L.).

A trópusi tengerek partjain, rendszerint olyan helyeken él ez a fa, amelyet dagálykor a tengervíz elönt. Ennek az élő ivadékot adó növénynek a magvai már akkor kicsíráznak, amikor még a termés az anyanövényen van, s hosszú, erős és hegyes gyökereket eresztenek. A fejlődés bizonyos szakaszában azután a magvak leválnak s gyökereik befúródnak a lágy iszapba. A fiatal növény így minden megszakítás nélkül folytathatja életét.<sup>1</sup>

A csírázás időszakának végén a növényben már fiziológiai munkamegosztást is észlelhetünk. A növény általános élettani nézőpontból két, többé-kevésbé fejlett felületet



20. ábra

mutat, amelyek megfelelően alkalmazkodnak környezetükhöz: a gyökér- és a levélfelületet. A két felületet egy közbenő szerv: a szár köti össze. Ez a növény általános élettani vázlata; ezt a vázlatot igen korán, sőt a növényi élet legalacsonyabb fokán is felismerhetjük. Vannak például moszatok, amelyek csupán egy sejtből állnak, s mégis olyan részeket tüntetnek fel, amelyek a levélre, a gyökérre és a szára emlékeztetnek. Íme, itt vannak azok a moszatok, amelyek gyakran elő-

<sup>1</sup> Lásd a 64. sz. ábrát 225. oldal.

fordulnak a nedves, elöntött réteken. Kerek, zöld fejük és színtelen, elágazó tövük van, amely gyökérre hasonlít és amellyel a talajban megkapaszkodnak (20. ábra, baloldalt, fenn). Noha ez a moszat csak egy egyszerű hólyagocska, mégis élettani nézőpontból két különböző részt láthatunk rajta.

De itt van egy másik, még meglepőbb példa, a déli országok tengereiben élő *Caulerpa* moszat példája (21. ábra). Ennek a moszatnak egy példányát Pozzuoli városból, a nápolyi öböl vidékéről hoztam magammal. Ha kisimítjuk, a papíron tenyérnyi felületet takar el, de akadnak belőle ennél nagyobb példányok is. Ez a gigászi méretű sejt — a szerves világ legnagyobb méretű sejtje — olyan részekre vagy levélképződményekre tagozódik, amelyek feltűnően hasonlítanak a zöld levelekre, a szárazokra és a színtelen fehér gyökerekre. A szárazak a tenger fenekén kúsznak, a levélalakú lapátkák felemelkedve vízszintesen helyezkednek el, a gyökerek pedig az iszapba fúródnak; mindennek ellenére az egész együtt egyetlen sejt, egyetlen, oszthatatlan belső üreggel.<sup>1</sup>



21. ábra

Természetes dolog, hogy az olyan, egymáshoz nem hasonlító szervek, mint amilyenek a gyökér, a szár és a levél, egészen eltérő működésekre alkalmasak. Éppen ezért a további vizsgálat során ezeknek a szerveknek az életével külön-külön kell foglalkoznunk.

Mielőtt előadásomat befejezném, még egy körülményt kell felderítenünk, még egy kérdésre választ kell adnunk: mikor zárul le a csírázás életszakasza s mikor kezdi a növény önálló életét? A csírázás életszakasza tulajdonképpen akkor zárul, amikor kimerül a tápanyagtartalék, az önálló élet pedig akkor kezdődik, amikor

<sup>1</sup> A 20. és 21. ábra kétféle *Caulerpa* moszatot tüntet fel. A 20. ábrán közönséges *Caulerpa* moszat látható, amely a Földközi-tengerben él. — Az orosz kiadás jegyzete.

a levelek működni kezdenek. Ebből a célból a leveleknek fényhatásra van szükségük. Fény nélkül nem zöldek, hanem sárgák, beteges színűek maradnak. Itt van tehát a csírázásnak még egy utolsó jellemző sajátossága: a csírázás folyamán a növény független a fény hatásától, egyáltalában nincs szüksége fényre, hiszen ez az élet-szakasz teljes sötétségben, a föld alatt is lefolyhat. Az első fény-sugárral azonban, amely a zöldülő levélre esik, megkezdődik a növény önálló élete. A növény új szerveket kezd kialakítani, s most már nem más részeinek rovására, hanem a környezet szervesen vegyületeiből él. A súlyvesztés folyamata mind lassúbb s végül megkezdődik a súlygyarapodás. Kezdetét veszi az *anyagok átsajátítása*.

## A GYÖKÉR

*A gyökér jelentősége. — A talaj összetétele. — A szükséges tápanyagok meghatározása. — Mesterséges táptalajok. — Táptalaj szerves anyagok, televényföld nélkül. — A víz mint táptalaj. — A nitrogén, a kálium, a vas és a szilícium jelentősége. — A gyökér által felvett szükséges tápanyagok. — A talaj közvetlenül tápláló anyagai és tartalékanyagai. — A talaj elnyelőképessége. — A talaj salétromtartalmának jelentősége. — A hüvelyes növények nitrogénátszajátítása. — Milyen alakban fordulnak elő a tápanyagok a talajban. — A gyökér szerkezete. — A gyökér csodálatos hosszirányú fejlődése és ennek a tulajdonságának jelentősége. — A gyökér viszonya a folyékony és a szilárd anyagokhoz. — A gyökér táplálékfelvételének általános mechanizmusa.*

[ Előző előadásunk végén arra a megállapításra jutottunk, hogy a fiatal növény a csírázás idején még nem mutatja a növényi élet egyik jellegzetes vonását, tömegének gyarapodását. Térfogatának látható megnövekedése ellenére súlyából állandóan veszít, s anyagának egy részét légzés közben elégeti.

Csupán attól kezdve, hogy a növény szervei elkülönülnek és működésbe lépnek, amikor a gyökér a talajba mélyed, s a szár a levelekkel a levegőbe, a fény felé nyúlik — nyilatkozik meg a növény életének teljes önállósága. Az önállóság abban jut kifejezésre, hogy a növény a külső környezet anyagaiból táplálkozik, a külső környezet anyagait valóban átszajátítja.

Már azt is tudjuk, hogy miféle anyagoknak kell a külső környezetben meglenniök: annak a tizenkét elemnek, amelyet a fentiek során felsoroltunk. Megoldásra vár azonban az a kérdés, hogy honnan veszi a növény ezeket a különféle anyagokat, melyik közegből, a földből, a vízből vagy a levegőből és milyen úton-módon jutnak a növénybe? Ha ezt a kérdést megoldjuk, egyszersmind megoldjuk azt a kérdést is, hogy a két szerv: a gyökér és a levél közül melyik a növény táplálkozási szerve, vagy hogy mindkét szerv táplálkozási szerv-e, s mindkettő a maga módján ugyanazt a célt szolgálja-e.



A gyökérrel kezdjük, mert feladatunk ézzel a szervvel kapcsolatban könnyebb. Először is aligha kételkedett bárki is valaha abban, hogy a gyökér a növény táplálásának célját szolgálja; másodsor könnyű bizonyítani, hogy legalább is az anyagok egy része nem juthat más úton a növénybe, mint a gyökereken keresztül. Így például a hamu összetételéhez tartozó testek rendes körülmények között nem lehetnek gázneműek, mert elégségnél is a hamuban maradnak, s nem távoznak a növényi anyag eléggő, elillanó részével. Mindannak eredetét tehát, amit a hamuban találunk, a talajban kell keresnünk. Ebből pedig arra kell következtetnünk, hogy ezek az anyagok csakis a gyökereken keresztül juthatnak a növénybe. A többi anyag akár a talajból, akár a levegőből származhatik; ezek eredetére nézve egyelőre bizonytalanságban maradunk. Amíg a kísérlet egyenes választ nem ad, nem mondhatjuk meg, hogy a talajból vagy a levegőből származnak-e, s ehhez képest a gyökereken vagy a leveleken keresztül kerülnek-e a növénybe.

Foglalkozzunk tehát elsőnek a gyökérrel. Vizsgáljuk meg, hogy *mit* von ki a gyökér a talajból, *hogyan* vonja ki azt, amit kivon és *miért* vonja ki éppen azt, amire a növénynek szüksége van.

Mielőtt azonban a gyökérnek és működésének vizsgálatába kezdenénk, meg kell ismerkednünk azzal a környezettel, amelyben a gyökér működése lefolyik. Vessünk tehát futó pillantást a talajra és annak összetételére.

Minden talaj, amelyen növény él, két, határozottan különböző alkatrésze bontható: éghető és nem éghető, vagyis szerves és nem-szerves alkatrésze. A szerves alkatrész, amely nem más, mint bomló növényi maradványok tömege, adja meg a föld fekete színét. A talajnak ezt a részét, amely hevítés esetén elég, televénynek nevezzük. Ebből az alkatrészből még a legfeketebb talajokban, a valódi csernozjom talajban is aránylag kevés van. Ritka az az eset, amikor arányrésze meghaladja a 10%-ot. Az izzított, tehát a televényes szerves anyagoktól megfosztott talaj színe már nem fekete, hanem sárga vagy vöröses. A talajnak a hevítés után megmaradó, mennyiségileg nagyobb, ásványi tartalmú részét az oldhatóság alapján három csoportba oszthatjuk. A legjelentéktelenebb az a csoport, amelynek tagjai a vízben oldódnak; a második, nagyobb csoport tagjai vízben nem, de sávakban oldhatók; végül a harmadik, legnagyobb csoport tagjai sem vízben, sem sávakban nem oldódnak. Az oldhatóságnak ez a hármas fokozata bizonyos mértékig azt a hármas fokozatot is kifejezi, mely szerint a növény ezekhez az anyagokhoz hozzáférhet vagy sem. Az első csoportnak a talajvízben könnyen oldódó anyagaihoz a növény is nyilvánvalóan könnyen hozzáférhet. A második csoport anyagai már kevésbé hozzáférhetőek. A harmadik csoport anyagai

pedig vagy teljesen hozzáférhetetlenek a növények számára, vagy csak évek hosszú során alakulnak át és részben az első két csoport anyagaivá válnak.

Ennek megfelelően adott pillanatban a talaj ásványi alkotórésze elsősorban az az alapmennyiség, amely jelenleg nem hasznos, s csak a távoli jövőre tartalmaz tápanyag-készletet, továbbá az az anyag-készlet, amely aránylag könnyen hozzáférhető a növények számára, és végül az a kismennyiségű anyag, amely a növény táplálására kész állapotban levő táplálékot tartalmaz. Ennek a megállapításnak a helyességéről könnyen meggyőződhetünk. Vegyük elő a legtermékenyebb földet, hevítsük fel, kezeljük savakkal. Utána a maradvány csaknem fehérszínű és egészen terméketlen lesz.

Ha tehát a talajt a jelen szempontjából vizsgáljuk, joggal mondhatjuk azt, hogy a talaj legnagyobb része élettelen váz, kemény, száraz föld, amely a beléje kapaszkodó növényt rögzíti, de annak táplálkozási folyamatában közvetlenül nem vesz részt. A növényi táplálékot tehát a többi alkatrészekben, a televényföldben és azokban az anyagokban kell keresnünk, amelyek vízben és savakban oldódnak. Vizsgáljuk meg, hogy ezekben miként oszlik el az a tizenkét elem, amelyet a növényben találtunk. A televényföld szerves anyagai négy elemet tartalmaznak: szenet, hidrogént, nitrogént és oxigént. A vízben és savakban oldódó anyagok sók. Ezek a sók a növényi hamuban talált valamennyi elemet tartalmazzák, ezenfelül még két nitrogéntartalmú vegyületet is magukba foglalnak, nevezetesen salétromot, vagyis a nitrogénsav sóját és ammoniákat, tehát a nitrogén és a hidrogén vegyületét. Ezek szerint a szerves anyag négy eleme — tehát a hamuelemek és két nitrogénvegyület, a salétromsav és az ammóniák — alkotják azokat az anyagokat, amelyeket a talajanalízis a gyökerek lehetséges táplálékforrásaiként tüntet fel. Vizsgáljuk meg most, hogy e lehetséges források közül melyek a valóságos, a szükséges források. Ennek megállapítása céljából a kérdést közvetlenül a növényhez kell intéznünk és a növényeket olyan körülmények közé kell helyezni, hogy válaszadásra kényszerüljenek.

Hogyan tudhatjuk meg, hogy milyen anyagokra van szüksége a növénynek? Első pillanatra azt hihetnők, hogy elegendő, ha elvégezzük a növény anyagának analízisét, s ezzel megtudjuk, hogy a növény milyen anyagokból épül fel; ezeket az anyagokat pedig a növény számára szükséges anyagoknak nyilváníthatjuk. Ennek a következtetésnek helyessége iránt azonban nyomban kétségek merülnek fel. Nyilvánvaló ugyanis, hogy a növényben sok olyan anyag is lehet, amelynek jelenléte felesleges fényűzés, vagy nem hasznos, esetleg káros véletlen, s hogy ezek az anyagok csupán azért kerültek a növény szervezetébe, mert jelen voltak a növény környezetében is. Csakis

azokat az anyagokat tekinthetjük a növény számára szükséges anyagoknak, amelyek nélkül a növény nem élhet és nem fejlődhet. Az ilyen anyagokat pedig csak éppen olyan pontos kísérlet útján határozhatjuk meg, mint amilyennel az imént a talaj ásványi vázának terméktelenségét meghatároztuk. Az ilyen kísérlet fő feltételei a következők: bocsássuk *egy* növény rendelkezésére *mindazokat* az anyagokat, amelyeket az analízis magában a növényben vagy abban a talajban kimutat, amelyben ez a növény jól fejlődik. Ugyanakkor bocsássuk ugyanahhoz a növényfajta-hoz tartozó másik példány rendelkezésére *mind ezeket az anyagokat, egynek a kivételével*, melyeket az előbbi növénynek adtunk s figyeljük meg, hogy ez milyen következménnyel jár. Ha a két növény fejlődésében nem mutatkozik számbavehető eltérés, alaposan következtethetünk arra, hogy az elvont anyagoknak nincsen jelentősége a növény táplálkozásában. Ha azonban eltérő mutatkozik — tehát a második esetben — vagyis tökéletesen azonos körülmények között satnyább növény fejlődik, ezt az eltérést joggal írhatjuk a különböző kísérleti körülmények rovására, vagyis az elvont anyag hiányára . . .

Ha ilyen módon egyenként és külön-külön elvonjuk a növényben és a talajban talált valamennyi anyagot, megtudjuk, melyek azok az anyagok, amelyekre a növénynek táplálkozása céljából feltétlenül szüksége van. Nézzük ezeknek a kísérleteknek fontosabb eredményeit.

Gyanúnk elsősorban a szerves, televényanyagok felé vezet. A mindennapi tapasztalat szerint a fekete talajok termékenyebbek, mint a világosszínű talajok. Ebből nyilvánvaló, hogy a fekete anyag adhatja a növény főtáplálékát. A pontos kísérlet azonban egészen más eredményt ad. Ha fel is hevítjük ezt a fekete földet, ha el is égünk benne minden szerves anyagot, akkor is készíthetünk belőle olyan talajt, amelyben a növény rendesen fejlődik. Az ilyen *fehér* földben olyan növényt nevelhetünk, amely semmiben sem tér el a legjobb fekete földben termesztett növénytől. Nem a televényben van tehát a növények tápláléka. Televényföld nélkül is meglehetnek a növények. Azt már láttuk, hogy a talaj ásványi anyagainak legnagyobb része azok az anyagok, amelyeket a talaj nem oldható vázának nevezünk, táplálék szempontjából nem hasznosak. Azoknak az anyagoknak a köre tehát, amelyek között a növény táplálékát keresnünk kell, még szorosabbra vonódik: csak a vízben és a savakban oldható anyagok tartoznak bele. Azt azonban hasztalanul kísérelnők meg, hogy a növényt olyan mesterséges talajban neveljük, amely kizárólag csak tápanyagokból, például növényi hamuból áll. Az ilyen talaj teljességgel alkalmatlan lenne a célra, mert a tápanyagokat túlságosan tömény alakban tartalmazná és a növény bizonyára elpusz-

tulna benne. A tápanyag csak akkor lehet valóban tápanyag, ha hígított állapotban van, ha elkeveredik egy másik, növényre nem ható anyagban, mint amilyen a talaj nem oldható ásványi váza. Amennyiben pedig az utóbbinak valóban ez a jelentősége, akkor pótolhatjuk más, kevésbé bonyolult összetételű anyaggal is. A kísérletek csakugyan azt bizonyítják, hogy mesterséges talajt homokból, örlött habkőből, üvegtörmelékből vagy aprószemcséjű gránitból és egyéb anyagokból is készíthetünk, s ha ahhoz hozzáadjuk a szükséges tápanyagokat, tökéletes, termékeny talajt kapunk. Tegyük meg egy lépést s elérjük a mesterséges táptalaj elképzelhető legegyszerűbb alakját. Ha a természetes talaj túlnyomó része, vagy a most felsorolt mesterséges talajok csupán azt a célt szolgálják, hogy a tápanyagokat egyenletesen eloszák, mintegy felhígítsák, nem lehetne-e a talajt olyan desztillált vízzel helyettesíteni, amelyben feloldjuk a növény táplálására szükséges anyagokat? Az erre irányuló kísérletek hosszú évek alatt és sok kudarc árán végül is teljes sikerre vezettek. Ma már bizonyos óvatossági szabályok betartásával a talajt ezzel a teljesen átlátszó közeggel pótolhatjuk és vizes oldatban a legkülönbözőbb növényeket ugyanolyan rendes méretű, fejlett növényekké nevelhetjük fel, mint a legtermékenyebb talajban.

Ebből a célból olyan üvegedényt veszünk, amely *három* vagy *négy* font desztillált vizet tartalmaz; a vízben feloldjuk néhány sónak fél-zolotnyik<sup>1</sup> súlyú keverékét. Lényeges az, hogy ezeknek a feloldott sóknak a mennyisége ne haladja meg a *2 ezreléket*; ellenkező esetben az oldat túlságosan tömény lenne. Ennek az edénynek a felső részére úgy erősítjük oda a kicsírázott magvat, hogy csak a gyököcskéje érjen a vízbe. Azután már csak az van hátra, hogy megfigyeljük a növény levegőbe nyúló részének és gyököcskéjének fejlődését, amely így egészen a szemünk előtt zajlik le.

Az alábbi fényképek azoknak a kísérleteknek az eredményeit ábrázolják, amelyeket a nyizsegorodi kiállításon 1896-ban mutatam be. Ezeket a kísérleteket azért tartom jelentősnek, mert addig aligha végeztek tízezer szemtanú előtt ilyenféle kísérleteket, feltárva azok minden stádiumát<sup>2</sup> és részleteit. Elégtétellel gondolok vissza egy kételkedő nyizsegorodi emberre, aki bevallotta nekem, hogy majd minden nap figyelte a víztenyészetek kísérleteit, s az a haragos szándék élt benne, hogy majd leleplezi a szemfényvesztéseimet, mígnem őt is megfogták és hatalmukba kerítették ezek a kísérletek.

Íme, mennyire leegyszerűsödött feladatunk: abból a fekete, televényföldtömegből, amely egy-egy növénynek jut, táplálkozás

<sup>1</sup> Zolotnyik = régi orosz súlymérték; körülbelül 2,25 g. — Ford.

<sup>2</sup> Stádium = itt fejlődési szakasz. — Szerk.

szempontjából az adott pillanatban csak elenyésző kis rész, néhány csipetnyi sókeverék lényeges és fontos. Nézzük meg most, hogy milyen kémiai elemekből állnak ezek a sók. Ebből a célból sok kísérletet kellett végeznünk vagy a korábban ismertetett fehérsínű terméketlen talajjal, amelyhez hozzáadtuk a szükséges sókat s így az a növényben található mindenféle ásványi anyagot magában foglalt, vagy pedig az imént leírt oldattal.

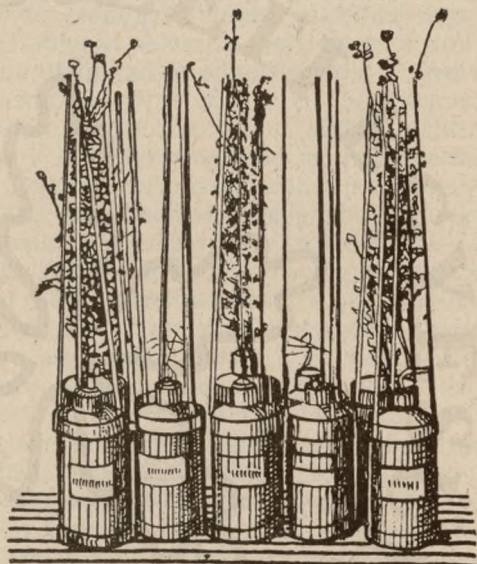
Lássuk először azt a kísérletet, amellyel a növény *nitrogén-szükségletét* mutatjuk ki (22. ábra). Két virágcserepet megtöltöttünk felhevített, azután savakkal kimosott, tehát fehérsínű és terméketlen talajjal. Az egyik csérep talajához növényi hamut kevertünk s így az a növényben előforduló minden ásványi anyagot tartalmazott. A másik csérep



22. ábra

talajához ugyanezt a hamut és azonfelül *nitrogént* tettünk, mégpedig nitrátsó, tehát salétrom alakjában. Mind a két cserépbe két-két, teljesen egyenlő súlyú napraforgómagot ültettünk. A magvak kikeltek és a kísérlet végül is meglepő eltéréseket mutatott. Az első cserépben két vézna, nyomorúságos növényke tengődött, jóformán alig látszottak ki a talajból. A másik cserépben két egészséges példány fejlődött, virágozott és termést hozott. Száruk és leveleik nagysága semmiben sem maradt el a legkitűnőbb kerti földben nőtt napraforgó szára és levelei mögött.<sup>1</sup> A két kísérlet között pedig csupán annyi a különbség, hogy a második cserép földjéhez egy kis salétromot, vagyis *nitrogént* is kevertünk. Ugyanilyen eredményre jutunk, ha a *nitrogént* salétrom helyett ammónia-só alakjában adjuk a talajhoz. Állapítsuk meg tehát, hogy a növénynek szüksége van *nitrogénre*.

A második kísérlet a következő. Töltsünk meg néhány üvegedényt tápoldattal (22. ábra). Az egyik edény oldatában benne van valamennyi szükséges só, a többi edény oldatából hiányzik a káliumsó. Ültessünk minden edénybe teljesen egyforma pohánkamagvakat. Bizonyos idő elteltével az első edényben a



23. ábra

kicsírázott magból egészséges növény fejlődik; kiverágozik és egészséges magvakat terem. A többi edényben a kicsírázott növény nem fejlődik, satnya marad és elpusztul. Ha a kísérletet megismételjük tízszer, mindig ugyanazt az eredményt kapjuk. Vonjuk le a következtetést: a növénynek szüksége van *káliumra*, nem élhet meg *kálium* nélkül.

<sup>1</sup> A 22. ábra, baloldalon, salétrom jelenlétében nevelt növényt mutat be; összehasonlításul egy kerti példány levelét is bemutatja. — Jobboldalon azt a növényt látjuk, amelynek nem adtunk salétromot. Ez a klasszikus Bous-singault-féle kísérlet. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

Hasonló kísérletet mutat szintén a pohánkával a 23. ábra. A sorban első, harmadik és ötödik növény teljes tápoldatot kapott, a másodiktól elvonták a nitrogént, a negyediktől a káliumot és a foszforsavat. Az eredmények önmagukért beszélnek.

Végül még egy kísérlet, amelynek eredménye valóban szemléltető és meglepő. A növény táplálásához szükséges sók között a vassó is előfordul; a növényi hamu összetételének ez is egyik, szinte elenyészően kis része. Ezt a sót vízi tenyészetben oldat alakjában nem használhatjuk, mert a növény táplálásához szükséges másik anyaggal, a foszforsóval, vízben nem oldható csapadékot képez. Ezt a vízben nem oldható fehér csapadékot úgy keverjük az oldathoz, hogy a gyökerek felületére szórjuk. Vegyünk néhány üvegedényt és egyet töltünk meg átlátszó, szintelen tápoldattal, olyanal, amelyben nincs vassó, a többi edénybe pedig öntsünk a vassó jelenléte miatt kissé zavaros tápoldatot. Mindegyik edényben neveljünk egy-egy növényt, például kukoricát. Két-három hét múlva már alapos különbségeket észlelhetünk a növények között. A teljes folyadékot tartalmazó edényekben rendes növények fejlődnek ki, virágzanak és csöveiken egészséges magvak teremnek. Az első edényben ezzel szemben a növény néhány keskeny, sovány levelet hajt, azután pedig elpusztul. Az utóbbi növény levelein érdekes tünetet észlelhetünk. Az első két-három levél színe a szokásos zöld, a további levelek azonban szintelenek, fehérek. Nyilvánvaló tehát, hogy a vassó hiánya megakadályozta a növény fejlődését és a növényen egy különleges betegségnek, az úgynevezett *sápkór*nak (klorózis) tüneteit idézte elő. Arról, hogy ez a következtetés helytálló, egyszerű módon meggyőződhetünk. Adjuk hozzá az előbbi oldathoz a hiányzó vassót: a kóros tünetek megszűnnek, a növény kizöldül és fejlődik tovább. Sőt elég az is, ha a fehér, beteg levél egy részét bemártjuk a vassó oldatába; a levélnek ezen a részén bizonyos idő elteltével zöld folt jelenik meg. Már több vonatkozásban megfigyeltük, hogy a növényi és az emberi szervezet életműködései között mennyi hasonlatosság van. A vassók hatása is meglepő példa erre nézve. Az utóbbi időben sajnálatos módon gyakran előfordul, hogy egyik-másik férfi vagy nőismerősünk rossz közérzészről panaszkodik. Betegségük külsőre természetellenes sápadtságban jelentkezik. Ha orvoshoz fordulnak, ez szinte az első tekintetre felszólítja őket, hogy nyissák ki a szájukat és a foghúsukat vizsgálja meg. Azután az orvos megírja a receptet, pirulát vagy port rendel. A beteg beveszi az orvosságot és bizonyos idő után arc-színe ismét egészségessé válik. Az orvosság vassót tartalmazott. Ugyanaz a vassó adta vissza a halványszínű levélnek természetes zöld színét is, amely visszaadja a beteg ember arcának egészségés színét.

A nitrogénnel, káliummal és vassal kapcsolatban leírt eredményekhez hasonló eredményeket kapunk ugyanezzel az eljárással a foszforra, kénre, klórra, mészre és magnéziumra vonatkozóan is. Mindezek az anyagok szükségesek a növény táplálkozásához, s ezek nélkül a növény előbb vagy utóbb elpusztul.

A növény hamuelemeihez tartozik még a szilícium is. A szilícium és az oxigén *kovasavat* vagy *kovaföldet* képeznek. A kovaföld tiszta alakban a hegyi kristályban, kevésbé tiszta alakban a kovakőben, a fehér homokban stb. fordul elő, az üvegnek is fő alkotó része. Sok növénynek a sejtfalában is megtaláljuk a kovaföldet, amelyeket az egészen üvegszerűvé tesz. Ha az ilyen sejtet elégetjük, megmarad az üvegváz úgy, hogy a mikroszkóp alatt az élő sejt alakjának legkisebb részleteit is megfigyelhetjük. Az ilyen *üvegfalú* sejtek létezéséről bizonyára valamennyiünknek alkalma volt többször is meggyőződni — igen kellemetlen körülmények között. A csalán égést okozó szőrszálai ugyanis hosszú, hegyes sejtek, amelyeknek falai, különösen a sejt végén, annyira telítettek kovafölddel, hogy törékenyek, mint az üveg. Könnyen átszúrják bőrünket, beletörnek a sebbe és belebocsátják mérgező nedvüket. A legtöbb kovaföld a gabona-félék szalmájában és a zsúrlófű szárában van. A zsúrlófű szára annyira merev, hogy az asztalosok facsiszolásra használják. A kovaföld tehát széles körben előfordul a növényekben s így ennek alapján feltehető, hogy a növényeknek szükségük van kovaföldre. Olyan vélemény is akadt, hogy a kovaföld nemcsak a gabonafélék burkának merevségét adja meg, hanem a szalma keménységét és szilárdságát is. Azt gondolták tehát, hogyha a kultúrgabonában fokozzuk a kovaföldtartalmat, megelőzhetjük a gazdaságilag annyira káros *megdőlést*. A kísérletek azonban megdöntötték ezt a föltevést, bármennyire is valószínűnek látszott az. A gabonanövények akár a mesterséges talajokban, akár a víztenyészetekben, akkor is rendes példányokká fejlődtek, ha táplálékukból a kovasav teljesen hiányzott. A növény tehát megél kovaföld nélkül is. Ezenfelül nagyméretű kísérleteket végeztek szántóföldön is. Kovasavtartalmú trágyákkal trágyázták a gabonát, de az eredmény negatív volt. A kovafölddel trágyázott növény még jobban megdőlt, mint a nem trágyázott növény. Eleinte azt hitték, hogy a kovaföld nem jutott a növénybe, az elemzés azonban kimutatta, hogy az ilyen növények valóban gazdagabbak kovaföldben, mint a nem trágyázott növények. Az érthetetlennek látszó eredmény azonban érthetőbbé vált, amikor a növény általános elemzése után, annak egyes részeit is elemezték. Ekkor ugyanis kitéjt, hogy nem a növény szárának — a szalmának — kovaföldtartalma gyarapodott, hanem a leveleké, s így a kovaföld-többlet inkább károsan hatott, mert még inkább lehajlította a növé-



nyek szárát, ahelyett, hogy szilárdította volna azt. A végeredmény tehát az, hogy a növény megélhet kovaföld nélkül is, s hogy a kovaföld jelenléte a szalma szilárdságával nincs kapcsolatban, amint azt korábban hitték. Egyik későbbi előadásunk során majd meglátjuk, hogy a gabona *megdőlését* más okokkal kell magyarázni és hogy más eljárással ennek a jelenségnek elejét is vehetjük.

A hamuelemnek a második előadásban közölt jegyzékéből töröljük tehát a kovaföldet és vezessük a helyére a szükségesnek bizonyult nitrogént; így *nyolc* olyan anyagunk lesz, amelyet föltétlenül szolgáltatnunk kell a gyökérnek a növény táplálásához. A nyolc elem közül négy — a *nitrogén*, a *foszfor*, a *kén* és a *klór* — savképző elem. Savaik páronként négy fémmel — *káliummal*, *calciummal*, *magnéziummal* és *vassal* — vegyülve, sókat alkotnak. Így négyféle só keletkezik és ez a négyféle só jelenti a gyökerek táplálékszükségletét. Ezekből a sókból készítettük azokat a tápoldatokat is, amelyekkel az említett kísérleteinket végeztük. Még a legterméketlenebb talaj is termékeny, teljesen alkalmas talajjá válik a növényi *táplálkozásra* nézve, ha ilyen oldattal megöntözzük.

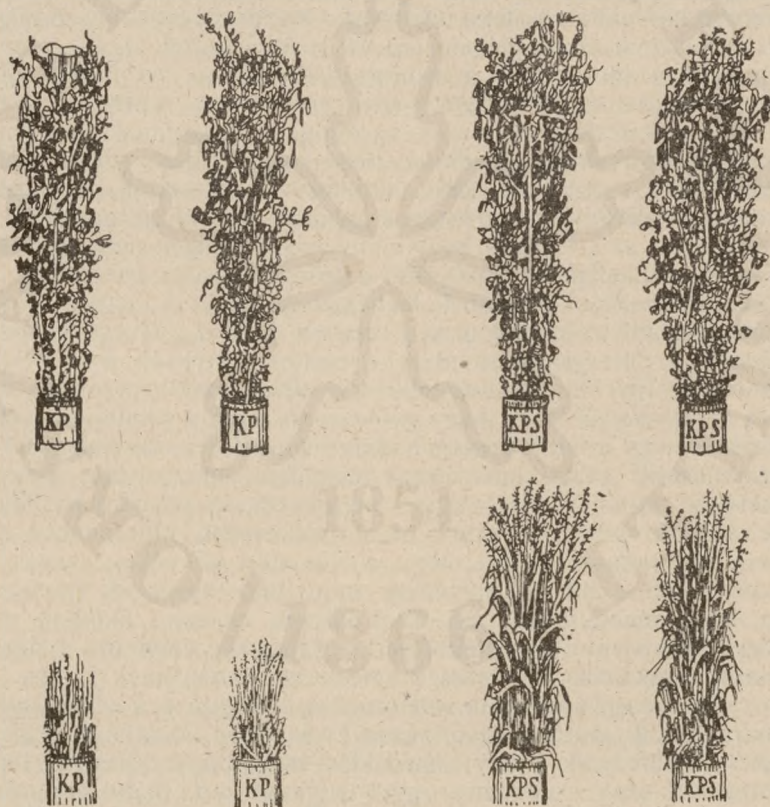
A gyökér élettanának kutatása ezekre az egyszerű, de ragyogó eredményekre vezetett. Ne feledjük azonban, hogy az egyszerű eredmények mögött sok-sok tudós, kutató évtizedekre terjedő megfeszített munkája húzódik meg.

Most pedig önként felmerül az a kérdés, vajjon helytálló-e az a következtetésünk, hogy a talaj zömét alkotó egyéb anyagot a növényre nézve haszontalan és fölösleges anyagnak tartjuk? Nyilván nem helytálló. Ezek az anyagok ugyanis, habár egy adott pillanatban nem szolgáltatják magát a táplálékot, később táplálékká válhatnak. Más alkotórészek, ha nem is vesznek közvetlenül részt a táplálásban, közvetve kedvező hatással lehetnek arra. Így például a talajban a salétromon és ammóniakon kívül még sokkal több nitrogén van szerves anyagok alakjában is. A nitrogént azonban a növény ebben az alakjában közvetlenül nem használhatja fel tápláléknak. Az a talaj, amely csak ilyen alakban tartalmaz nitrogént, terméketlen. A talaj azonban ezt a nitrogént apránként átalakítja ammóniákká, salétrommá és ebben az alakban a nitrogén már alkalmas a növényi táplálkozásra. Ez példája annak, hogy a talajnak az adott pillanatban még nem hasznós része a jövőre nézve tartalékanyagot jelent. A talajban levő anyagok közvetett módon is sok tekintetben hasznosak lehetnek a növényre nézve. Így hasznosak annál fogva, hogy megtartják a nedvességet, elraktározzák a hőt, vagy előmozdítják a tápanyagok megmaradását és egyenletes eloszlását. Az utóbbi vonatkozásban meglepő a talaj úgynevezett *elnyelőképesége*. Ha egy tölcseért teletöltünk talajjal és arra az ismert tápoldatot ráöntjük s fel-

fogjuk azt a vizet, amely a talajon ily módon átszűrődött, azt látjuk, hogy nagyon kevés tápanyag maradt benne. Különösen erősen elnyeli a talaj az ammóniákat, a foszfort és a káliumot. Valamennyi olyan anyag, amelyekre — mint láttuk — a növénynek szüksége van. A talajnak ez a bámulatos képessége igen nagy jelentőségű a természet gazdaságosságának szempontjából. Ennek köszönhetjük, hogy azokat a növény számára szükséges anyagokat, amelyek csak korlátolt mennyiségben fordulnak elő, az eső nem mossa ki, hanem megmaradnak a talajban, s a talaj csak igen takarékosan és apró adagokban adja át a szilárd részecskéin keresztül szivargó víznek. E szabály alól csak a salétromsav kivétel, amelyet a víz könnyen kimos a talajból, pedig éppen ez az anyag adja — mint láttuk — a növény legfontosabb tápanyagát: a nitrogént. A talajkémikusok kutatásai a gazdák figyelmét egyre inkább arra irányítják, hogy minél inkább használtassák fel a nitrogént a kultúrnövényekkel. A növény és a salétrom viszonyában kerestek magyarázatot arra a szerepre, amelyet a hüvelyesek a váltógazdálkodásban betöltenek. Ez a szerep egészen az utóbbi időkig igen kérdéses volt. A hüvelyesek több nitrogént tartalmaznak, mint a gabonafélék, ugyanakkor azonban a nitrogéntartalmú trágyák kevésbé hatnak rájuk, sőt ha a hüvelyesféléket a gabonafélékkel váltakozva termesztjük, ugyanolyan gabonatermésünk lesz, mintha a gabonát ugarral váltanánk. Ebből származott az a felfogás, hogy a hüvelyes növények nem merítik ki, hanem gazdagítják a talajt. Ezt a felfogást szoros értelemben csak akkor tarthatnánk helyesnek, ha bebizonyíthatnánk, hogy a hüvelyes növények nitrogénjüket nem a talajból, hanem a levegőből veszik. Ennek a feltevésnek azonban a pontos kísérletek sokáig ellene mondtak. Így hát a hüvelyeseknek a nitrogénnel kapcsolatos szerepét azzal magyarázták, hogy gyökérrendszerük a talajba mélyebbre hatol és hogy a talajt hosszabb ideig foglalják le; ezért alaposabban kimeríthetik a talaj salétromsav-tartalmát, amelyet más növények esetében az eső kimos és így a mezőgazdaság számára kárbavész. A talaj nitrogéntartalékának ez a tökéletesebb kihasználása részben megmagyarázná azt, hogy a hüvelyes növények termésében miért több a nitrogéntartalom, mint más növények termésében és hogy mozdulatlan, eső által ki nem mosható alakban miért hagynak vissza nitrogénfelesleget a talajban, valamint gyökereik maradványaiban a következő vetésforgó növényeinek javára.

Ez a magyarázat sem volt azonban kielégítő és a kérdés nyitott maradt, míg azután a nyolcvanas évek végén váratlanul megoldódott. A felfedezés, amely a megoldást megadta, a növények táplálkozásáról szóló tudomány egyik legfényesebb, újabb eredménye; éppen ezért valamivel részletesebben foglalkozunk vele. Említettük

már, hogy a salétrommal való trágyázás, amelynek olyan kedvező hatása van a gabonafélékre, néha csaknem hatástalan a hüvelyesekre. Erre nézve a 24. ábra kísérletet mutat be. A KP jellel ellátott edényekbe vetett zab — a salétrom kivételével — minden szükséges ásványi trágyát megkapott. A KPS betűkkel jelzett másik két edényben a zab az ásványi trágyákon felül salétromot is kapott. Az eredmény önmagától beszél. Ugyanilyen kísérletet borsóval is végeztek (az ábra felső részén, hasonló jelzéssel). Ebben az esetben azonban az eredmény nemleges volt, vagyis a salétrom hiányát semmi sem mutatta. A borsó tehát megszerzi a nitrogént akkor is, ha az a talaj összetételéből hiányzik. Nyilvánvaló tehát, hogy a borsó a levegőből kaphatja a nitrogént. De milyen úton-módon? Amikor a



24. ábra

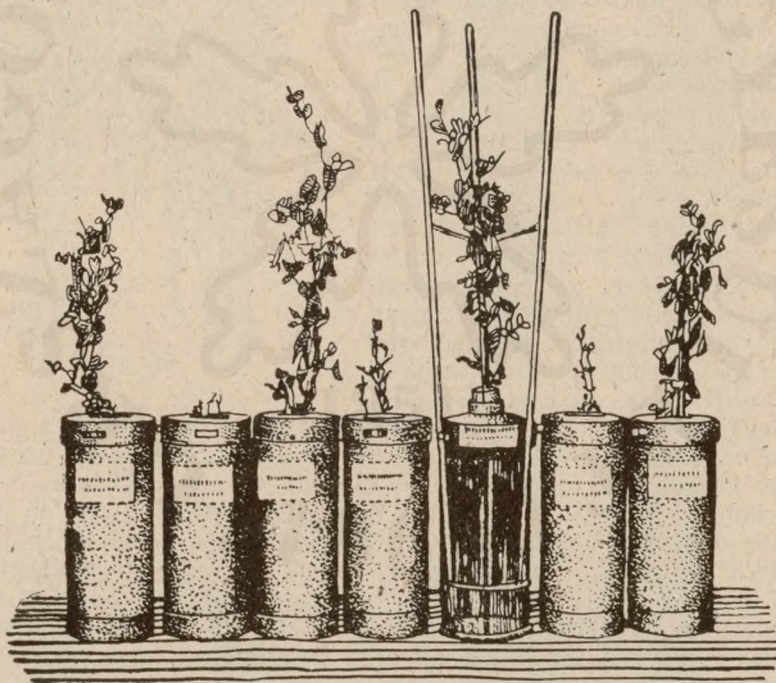
kutatók ezzel a kérdéssel szembekerültek, eszükbe jutott, hogy a hüvelyesek gyökerein apró gumócskák vannak. Ez a jelenség egyébként már az ókoriak figyelmét is megragadta (25. ábra). A gumókat a gyökereken baktériumok által történő fertőzés idézi elő. Ezek a baktériumok a talajban nyilván igen elterjedtek. Ezt könnyen be is bizonyíthatjuk. Neveljünk víznyészetben egy hüvelyes növényt úgy, hogy gyökerének mind a két felét más-más edénybe tesszük. Az egyik edény felforralt oldatot, a másik edény fel nem forralt oldatot tartalmaz, melybe egy csipetnyi, talajbaktériumot tartalmazó kivonatot teszünk. Kitűnik, hogy a gyökérnek azon a részén, amely a forralt oldatban van, nem jelentkeznek a baktériumos gumók. Azt pedig, hogy éppen ezektől a talajbaktériumoktól függ a levegő nitrogénjének átsajátítása, az alábbi kísérlettel bizonyíthatjuk (26. ábra). Egy sorozat üvegedénybe, nitrogénmentes talajra borsót ültettünk. A talajt baktériumot tartalmazó talajkivonattal fertőztük meg. A második sorozat üvegedényben a borsót hevítéssel fertőtlenített vagy olyan talajba ültettük, amelyet előzetesen felfőzött talajkivonattal öntöttünk le. Az eredmény meglepő: csak azok a növények nőnek fel rendesen, amelyek a gumót okozó baktériummal megfertőzött talajban voltak (26. ábra, páratlan számú edények), a többiek pedig satnyák maradtak (26. ábra, páros számú edények). Ilyenképpen meggyőződhetünk arról, hogy a borsónak és a többi hüvelyes növénynek az a gabonaféléktől eltérő sajátsága, hogy a légkör szabad nitrogénjét átsajátítják, összefügg gyökereiknek azzal a tulajdonságával, hogy a talaj bizonyos baktériumai által megfertőződtek. Azt azonban, hogy hol és hogyan történik a nitrogén elnyelésének folyamata, eddig még nem derítették ki teljesen.



25. ábra

Még egy kérdés, amire válaszolnunk kell: hogyan lehetséges, hogy a növények táplálásához olyan rendkívül gyenge talajoldatok

elégésenek, mint amilyenekről fent szó volt? Erre a kérdésre csak a következő számítások segítségével felelhetünk. Tudjuk, hogy egy bizonyos földterületre mennyi csapadék esik, tudjuk, hogy az esővíz mennyi tápanyagot old ki a talajból s tudjuk azt is, hogy mennyi hamut tartalmaz az összes termés hozam, amelyet ezen a területen learattunk. Ezek az ismert adatok elégésenek ahhoz, hogy megoldjuk a kérdést: hogyan elégedhetik meg a növény ezzel a folyékony tápanyagmennyiséggel. A válasz csak akkor pozitív, ha a talaj nagyon termékeny, ha ellenben a talaj soványabb, negatív választ kapunk. A növény nyilvánvalóan nem éri be egyedül a folyékony táplálékkal, hanem a talajvízben levő oldatlan anyagokat is felplálja. A gyökérnek azonban ilyenkor meg kell keresnie azt a táplálékot, amelyre szüksége van, körül kell járnia a környező talaj minden apró részecskéjét, hogy a terméketlen anyag tömegéből kikeresse az annyira ritka, oly takarékosan elszórt tápanyagrészec-



26. ábra

kéket. Így jutunk el a második kérdésünk vizsgálatához. Azt már tudjuk, hogy honnan van a gyökér tápláléka, most igyekezzünk megtudni azt, hogy hogyan szerzi meg ezt a táplálékot.

\* \* \*

Hogy a gyökér működését megismerhessük, tisztában kell lennünk szerkezetével.

A növények gyökerei külsőre két típushoz tartoznak. Az egyik típus gyökerei egyetlen tömör tengely alakjában hatolnak a földre és fokozatosan elvékonyodva, finom száiba mennek át; ilyen például a cukorrépa, a sárgarépa vagy a len gyökere. A másik típus pedig szinte nyomban a talaj felszíne alatt szétágazik, s egész sorozat szájalakú hajszálgyökérbe megy át; erre példa a gabonafélék, a búza, rozs stb. gyökérzete. Az első típust *tengelyes* (főgyökeres), a második típust *bojtos* gyökérzetnek nevezzük. Ez a két szélső típus képviseli ennek a szervnek szétágazó, különféleképpen bonyolódó sokféle alakjait.

Minden gyökér, akár tengelyes, akár bojtos rendszerű, vagy ha csupán a gyökér egyik ága is, úgy növekszik, mint a szár: a csúcsánál nyúlik, hosszabbodik. Ha azonban a gyökér és a szár csúcsait összehasonlítjuk, feltűnő különbséget állapíthatunk meg. Ha eltávolítunk a rügyről minden levelet s csupaszá tesszük a szár csúcsát, az úgynevezett szártenyészőcsúcsot, akkor azt látjuk, hogy ez a szárnak a legfiatalabb, legkényesebb része; amely apró és még nem egészen fejlett sejtekből áll. Ha ellenben a gyökér csúcsát nézzük, amely eredetileg is mindig csupasz, minthogy sohasem borítják levelek, sokszor már szabad szemmel, gyakran azonban csak nagyítóval, de legjobban mikroszkóp alatt rendezetlennek, kuszának látjuk. A csúcsot néhány sejtsor úgy takarja, mint valami kis sisak. A sejtsorok tagjai külsőre elvesztették egymással kapcsolatukat és csupán valami nyálkaféle kapcsolja őket össze. Ez a kis sisak, vagy amint rendszerint nevezik, *gyökérsüveg*, elhaló, pusztulóban lévő szövetréteg, amely eltakarja és megvédi a mögötte levő tenyészőcsúcs kényes, fiatal szövetét (27. ábra).<sup>1</sup> A gyökérsüveget néha úgy lehúzzhatjuk



27. ábra

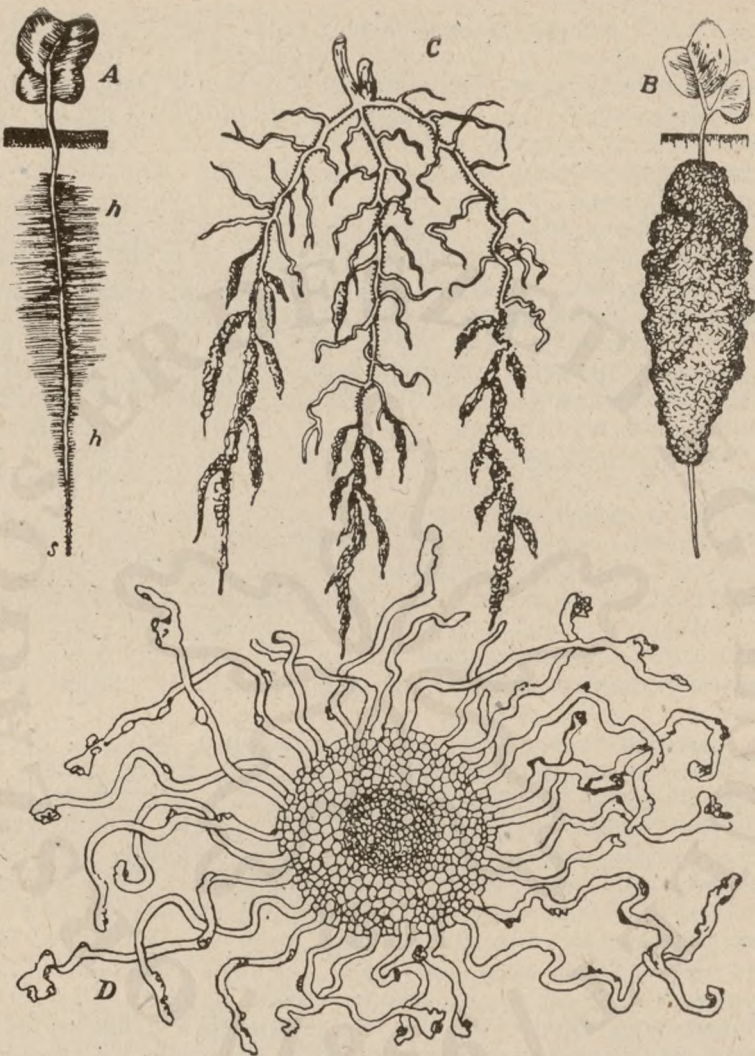
<sup>1</sup> A 27. ábra a gyökér tenyészőcsúcsát a gyökérsüveggel kissé megnagyítva ábrázolja. — Az orosz kiadás jegyzete.

a gyökércsúcsról, mint a kesztyűt az ujjakról. Ennek a szervnek a fiziológiai szerepét könnyen megérthetjük: védőpajzs, amelynek oltalma alatt a kényes, növekedő gyökércsúcs utat tör a talajban. Ha a legfiatalabb sejtekben végződő gyökércsúcs csupasz lenne, nyilván nem felelhetne meg rendeltetésének. Csak úgy képes a kemény, durva és érdes talajrészecskéken keresztülhatolni, hogy maga előtt tolja a gyökérsüveget.

A gyökérsüveggel fedett csúctól valamivel távolabb, a gyökér külső bőrét hosszú, finom szőrök borítják (28. ábra).<sup>1</sup> Minden ilyen szőrszál a bőrnek egy-egy erősen megnyúlt sejtje. A csúctól még távolabb megszűnik a szőrővezet. A gyökérfelületét ott már olyan bőrszövet borítja, amely szőrét elvesztette (28. ábra). A bőrszövet itt részben repedezett, részben hiányos és a hiányt olyan szövet pótolja, amilyen a szár kérgén van. Ezt a szövetet a botanikusok *parásodott* kéregnek nevezik, mert a parafával közös tulajdonsága van: nem engedi át a vizet. Ilyenképpen a gyökér hosszában három övezetet különböztetünk meg: a csúcson a gyökérsüveget, a gyökérszőrök övezetét és az idősebb részt, amelyen a bőrszövet megszáradt és elparásodott. Az utóbbi övezet nem alkalmas víz és tápanyag felvételére. A gyökércsúcs nem szív fel, vagy nem elegendő mennyiségben szív fel nedvet és táplálékot, amint azt kísérlettel is kimutathatjuk. Így tehát a gyökér felszívó felülete a gyökérszőrök övezetére korlátozódik. Valóban, ezen a szöveten a víz a legnagyobb mértékben áthatolhat, sokkal inkább, mint a növény légtérbe nyúló részeinek bőrszövetén.

A gyökér elsősorban mint felszívó szerv érdekel minket. Ebből a szempontból igen tanulságos, ha fogalmat alkotunk arról, hogy ennek a szervnek mekkora a terjedelme és felszívó felülete. Ha egy pillantást vetünk akármelyik növény gondosan megmosott és a talajrészecskéktől megtisztított gyökérzetére, máris sejthetjük, milyen jelentékeny a gyökér teljes hossza, ha számtalan elágazását és valamennyi hajszálgyökerét egy hosszban egymáshoz illesztjük. A valóság azonban ebben a vonatkozásban a legmerészebb elképzelést is túlszárnyalja. Egy német tudós a következő fáradtságos munkára szánta rá magát. Felszerelte magát csipeszekkel, mérőeszközökkel, körzőkkel és szinte végtelen türelemmel, s nekilátott, hogy egy búzánövény gyökérzetének legkisebb elágazásait is megmérje. Meglehető eredményre jutott: kiderült, hogy egy ilyen gyökérzet teljes hossza

<sup>1</sup> A 28. ábra szőrökkel borított fiatal gyökeret (A) ábrázol. Ugyanaz a gyökér a szőrökhöz tapadt talajrészecskékkal (B). Fejlettebb, elágazó gyökér, szőrétvesztett öregebb részekkel (C). A gyökér keresztmetszete mikroszkóp alatt; a szőrök szerkezete és összefogásuk a talajrészecskékkal (D). — *Az orosz kiadás jegyzete.*



28. ábraj

510 méter, vagyis körülbelül egy félverszt.<sup>1</sup> Bármilyen nagyknak látszik is ez a szám, még mindig kicsi a gyökér felszívó felületének teljes hosszúságához képest. Hiszen a valódi felszívó felületet maguk

<sup>1</sup> Verszt = régi orosz hossz mérték; 1,0668 km-nek felelt meg. — Ford.



a szőrszálak jelentik. Vizsgáljuk meg tehát, hogy hány szőr lehet a búzán. Ezt nem is olyan nehéz megállapítani — természetesen csak hozzávetőlegesen. Meghatározzuk mikroszkóp alatt, hogy hány szőr jut egy  $\text{mm}^2$ -re és ezt a számot megszorozzuk a gyökér egész felületével. Az eredmény körülbelül 10 000 000. Ezt a számot ismét megszorozzuk a szőrök átlagos hosszával és ekkor valóban kolosszális számot, mintegy 20 km-t, tehát körülbelül ugyanannyi versztet kapunk. Ekkora utat jár be egy közönséges virágcserep talajában egy búza gyökérzete valamennyi gyökérszőrével együtt. Azt mondtam, hogy a búza gyökérzete valamennyi szőrével együtt járja be ezt az utat; a valóságban azonban ez az út a növény életének nem minden pillanatában olyan hosszú, mint ahogy azt ez a szám jelzi. Nem minden gyökérszőr működik ugyanis egy időben. Így például a 28. ábrán a C alatt bemutatott gyökérnek csak az alsó részei működnek; feljebb már nincsenek szőrök, sőt ott nincs is rájuk szükség. Az ott volt szőrök ugyanis már átvették a talajrészecskéktől a tápanyagot. Ha kiszámítjuk, hogy mekkora együttes felületet jelentenének azok a gyökérszőrök, amelyeket a búza gyökérzete egész élettartama alatt a szőröket hordozó gyökérszálakkal együtt képzett, azt látnánk, hogy az százszorosa lenne annak a földfelületnek, amely egy-egy búzanövényre jut. Ha pedig azt számítjuk ki, hogy mekkora térfogatot tölthetnénk meg azokkal a gyökérszőrökkel, amelyeknek együttes hosszúsága csaknem eléri a húsz versztet, látni fogjuk, hogy elférnének egy gyűszű nagyságú (körülbelül  $1.5 \text{ cm}^3$ -es) edényben is.

Ilyenformán a gyökérben, különösképpen pedig a gyökérszőrökben olyan szervvel ismerkedtünk meg, amely csekély térfogata ellenére is jelentékeny felületet képvisel; ez a térfogat hosszirányban kinyújtva majdnem eléri a húsz versztet. A természet itt ahhoz a cselfogáshoz folyamodott, amelyet a költői hagyomány Didónak, Carthago megalapítójának tulajdonított. Dido a monda szerint akkora földdarabot kért a maga számára, amelyet egy ökör bőrével betakarhat. Kiderült azonban, hogy ez a bőr akkora területet ölelt magába, hogy azon egész Carthago felépülhetett. Dido ugyanis az ökörbőrt finom, vékony szíjakra hasította. Úgy látszik azonban, hogy Dido szíjai mit sem jelentenek a gyökérszőrökhöz képest, melyek még az emberi hajszálnál is lényegesen vékonyabbak.

Könnyen rájöhettünk arra, hogy a gyökerek túlnyomóan hosszirányú növekedésének milyen óriási élettani jelentősége van. Az ilyen növekedés következtében a gyökér minél kevesebb építőanyag felhasználása mellett a lehető legnagyobb számú talajrészecskét tudja bejárni s ezekkel a részecskékkel a legszorosabb érintkezésbe jut. A rendelkezésünkre álló adatok elégségesek ahhoz, hogy hozzá-

vetőlegesen kiszámíthatjuk azt a távolságot, amennyire a talajrészecskék a búza gyökérszőreinek felületétől vannak.

Ebből a célból statisztikai módszerhez kell folyamodnunk és a statisztikusoknak azt az eljárását alkalmazzunk, amelyben figyelmen kívül marad az egyes személy, az egyes élet, s csak átlagemberekről és átlagéletekről beszélnek, sőt nemcsak beszélnek, hanem igen szemléltető módon ábrázolják is átlagos értékeiket. Bizonyára mindannyian emlékezünk a pétervári mezőgazdasági múzeumnak arra a baljóslatú, tekintélyes belmértű edényére, amely az *átlagorosz* által — ideértve az asszonyokat és gyermekeket is — megivott vodkápálinka évi mennyiségét ábrázolta. Rögtön az edény mellett ott emelkedett az a gabonarakás is, amely ennek a vodkaadagnak az előállításához szükséges. Kövessük hát a statisztikusok példamutatását és igyekezzünk a lehető legszemléltetőbben elképzeltetni, hogy mekkora térfogatú talaj jut az átlagos búza hajszálgyökereinek. Tudjuk azt, hogy átlagosan mekkora földterület jut a szántóföldön egy-egy búzára. Ismerjük annak a talajrétegnek átlagos mélységét, amelyet a gyökerek átfognak és így tudjuk azt is, hogy mekkora térfogatú földmennyiség esik egy-egy növényre. Ebben az üvegben ki van mérve ez a mennyiség. Képzeljük el, hogy ezt az egész földmennyiséget egy olyan edénybe, helyesebben csőbe akarjuk tölteni, amelynek hossza egy félverszt lenne, tehát éppen annyi, mint a gyökerek összesített hossza. Kérdés: milyennek kell lennie a cső átmérőjének. A számítás szerint az átmérőnek 3 mm szélesnek kell lennie. Ha ilyen átmérőjű csőbe belébocsátjuk a hajszálgyökereket a gyökérszőrökkel együtt, a szőrök a cső falát érintik.<sup>1</sup> Így tehát, ha minden hajszálgyökert egészen egyenletesen eloszthatnánk a neki adott talajban, akkor minden hajszálgyökérre csupán olyan hengeralakú talajrész jutna, amelyen a gyökérszőrök minden irányban áthatolnak. A talajrészecskék és a gyökérszőr között ennélfogva a legnagyobb távolság fele lenne annak a köznek, amely e között a gyökérszőr és a szomszédos gyökérszőrök között van. A távolság így körülbelül 1/15 mm lenne. A számítás alapján megkaptuk azt a legnagyobb távolságot, amelyről az *átlagos* hajszálgyökér a táplálékot kapja. Így következtethetünk arra, hogy milyen szoros érintkezésbe kerül a gyökér a szilárd talajrészecskékkel. Természetesen nem mindegyik hajszálgyökér van ennyire *kedvező* helyzetben, aminthogy nincs minden orosz ember sem olyan *kedvezőtlen* körülmények között, hogy kiigya azt az évi porciót, amelyről fent említést tettünk. Ismételjük tehát, hogy csak statisztikai átlagról van szó, amely szemléltető képet ad arról, mennyire tökéletes felszívó szerv

<sup>1</sup> A szerző ezt az előadás alkalmával lámpaüveggel és ahhoz való lámpafejével mutatta be. — Az orosz kiadás jegyzete.

a gyökér. Ez a tökéletes alkalmazkodás még csak fokozódik a gyökér azon bámulatos tulajdonsága által, hogy leginkább a talajnak azok között a részecskéi között növekszik, ahol a legtöbb táplálékot találja. Ezt a következőképpen bizonyíthatjuk. Töltsünk meg egy virágcserepet földdel úgy, hogy abban a termékeny és terméketlen rétegek váltakozzanak. Meglátjuk, hogy a termékeny rétegben pompásan fejlett gyökereket találunk, míg a terméketlen rétegben csak satnya, sovány hajszálgyökerek hatolnak be. A gyökereknek ez a tulajdonsága, kapcsolatban a gyökérszőrök nagy kiterjedésével, mintegy figyelmeztet arra, hogy a gyökereknek maguknak kell a táplálékot megkeresniök és rendszerint nem elegendő számukra a talajnedv által szolgáltatott híg táplálék. Ezt a feltevést, úgy látszik, megerősíti az a tény, hogy víztenyészetben vagy vízzel előtöltött talajban a gyökereknek rendszerint kevés vagy éppen nincs is gyökérszőrük, s hogy ezt a körülményt a növények egyáltalában nem sánylik meg. De ez természetes is, hiszen a folyékony közegben a tápanyag maga igyekszik a gyökér felé, így gyökerének nincs szüksége különösen nagy felületre.

Ismételten említettük, hogy a gyökér valószínűen a talaj szilárd részecskéiből is vesz fel táplálékot; most magyarázzuk meg ezt. A gyökér minden külső része, bőrszövege és szőrei sejtekből, illetőleg zárt hólyagocskákból vagy csövekből vannak, amelyeknek a falain soha nincs nyílás. A talajrészecskék ugyan igen szorosan hozzátapadhatnak a gyökérszőrökhöz — ezt az ábrán (28. ábra D) is láthatjuk — de sohasem törik át a gyökérszőrök falait. Hogyan egyenlíthetjük ki ezt az ellentmondást, hogy a gyökerek szilárd testekből táplálkoznak, de ezek nem hatolnak át a sejtfalakon? E látszólagos ellentmondás tisztázása végett ismét szemléltető kísérlethez folyamodunk. Töltsünk meg egy üvegedényt színi vízzel s a száját kössük le szorosan hólyaggal. A hólyag külső felületét szárítsuk meg gondosan itató papírral, s szórjunk erre a száraz felületre krétaport. A kréta szilárd test, a hólyagon pedig nincs nyílás, mégis hamarosan azt látjuk, hogy a kréta eltűnik, keresztülhatol a hólyagon, bejut az oldatba, az üvegedénybe. Be sem kell várni, amíg a kréta egészen eltűnik, mert vannak olyan érzékeny kémilőszereink, amelyekkel hamarosan felismerhetjük a vízben a mérszó jelenlétét. Íme, ennek a színtelen oldatnak (ammóniumoxalátsó) az a tulajdonsága, hogy a vízben feloldott mérszóval fehér csapadékot képez. Öntsünk ebből az oldatból ahhoz a vízhez, amelyet a kísérlet előtt az edényből visszaöntöttünk; látjuk, hogy nincs csapadék. Ha azonban az üvegedényből most veszünk ki a próbához vizet, miután a hólyagon egy ideig már ott volt a krétapor, a vízhez adott reagensszer bőséges fehér csapadékot ad, jelölül annak, hogy a víz most már mérszót is

tartalmaz, tehát a kréta egy része áthatolt a hólyagon. Ennek az első látszatra zavarba ejtő kísérletnek a magyarázata igen egyszerű. Bármilyen gondosan töröltük is meg a hólyagot itatós papírral, az legfeljebb csak látszat szerint száraz, valójában azonban teljesen átítatja az a folyadék, amely az alsó oldalával érintkezik, s hozzá még ez a folyadék nem is egyszerű víz, hanem ecetsavval enyhén savanyított víz. A hólyag tehát savval van átítatva, a sav pedig, mint tudjuk, oldja a krétát. Azokon a pontokon, ahol a kréta a nedves hólyaggal érintkezik, feloldódik s az oldat áthatol a hólyagon és az edénybe jut. Mindez a szem által észrevétlenül folyik le s ezért látjuk úgy, mintha a száraz, szilárd test érthetetlen módon áthatolna a száraz hólyagon. Ennek a kísérletnek alapján azt a következtetést vonjuk le, hogy ha a sejtfalak a savtól nedvesek, akkor könnyen át-bocsáthatják azokat a szilárd anyagokat, amelyek ebben a savban oldódnak.

Vajjon nincs-e valami ehhez hasonló a gyökerek működésében? Hasonló jelenség lehetőségét bizonyítottnak kell vennünk, ha a gyökerek felülete savanyú reakciót mutat. Ebből a célból elégséges, ha a gyökereket az úgynevezett lakmuspapírra tesszük, amelyet a vegyészek a sav jelenlétének kimutatására használnak. Ennek a papírosnak eredeti kék színe pirosra változik, ha sav hatása éri. A gyökércsúcsok a kék papíroson valóban piros nyomokat hagynak. Vannak bizonyos adatok, amelyek arra utalnak, hogy egyes esetekben ez a sav ugyanaz az ecetsav, amelyet kísérletünkönél mi is alkalmaztunk. A gyökér ezenfelül — csakúgy, mint a növény egyéb részei is — állandóan lélelzik, vagyis szénsavat választ ki. Erről ugyanannak a kísérletnek a segítségével győződhetünk meg, mint amellyel a csírázó magvak lélelkezését bizonyítottuk. A szénsav pedig sok olyan anyagot is felold, amely a vízben különben nem oldódik. Így például ha szénsavat bocsátunk keresztül azon a vízen, amelyhez finom por alakjában foszforos mészsót kevertünk — amely tehát a növényre nézve a két legfontosabb tápanyagot tartalmazza — a csapadék néhány perc múlva eltűnik és a só felolvad.

A gyökerek tehát savanyú reakciót mutatnak és ezenfelül szénsavat választanak ki; ezeknek a savaknak oldó hatást kell gyakorolniuk a környező talaj részecskéire annál is inkább, mert a gyökérszőrők — mint láttuk — nagyon szoros érintkezésben vannak, csaknem összenőnek ezekkel a részecskéikkel (28. ábra, *D*). E közvetett elgondolásokon felül azonban kívánatos lenne, ha kísérlettel közvetlenül is meggyőződhetnénk arról, hogy a gyökereknek ilyen oldó hatása van a talaj szilárd részecskéire. Vegyünk ebből a célból egy teljesen simára csiszolt márványlapot — a márvány vegyi összetétele azonos a krétaéval — és helyezzük egy lapos virágcserep fenekére,

majd temessük be földdel. Ültessünk ebbe a cserépbe akármilyen növényt, például babot. A bab gyökerei hamarosan elérik a márványlapot, szétkúsznak rajta és szorosan hozzátapadnak sima felületéhez. Ha ezt követően néhány nap múlva kivesszük a márványlapot, lemoszuk, megszáritjuk és a fény felé tartva gondosan megvizsgáljuk, a fényt visszatükröző sima felületen fénytelen, féregalakú nyomokat látunk. A nyomok nem egyebek, mint a gyökerek lenyomatai; a gyökerek savas felülete érintkezésbe került a sima márványlappal és kimarta benne tükröképüket. Ezek a nyomok természetesen nem mélyek, de határozottan észrevehetőek.<sup>1</sup>

Ezek után nem lehet kétséges, hogy a növény táplálékát akár az oldatokból, akár a talaj szilárd részecskéiből meg tudja szerezni. Ezt a fényt még egy érdekes kísérlettel erősíthetjük meg. Mossuk meg alaposan egy már eléggé fejlett növény gyökérzetét és osszuk két részre. Az egyik részt tegyük vízbe, a másikat pedig olyan földbe, amelyet többé nem öntözünk. A növény ennek ellenére tovább fejlődik, mert a gyökereinek egyik részével vizet vesz fel, a másikkal pedig kivonja a talaj szilárd részecskéiből a szükséges tápanyagokat.

Végül vannak olyan növények is, amelyek — mint például a zuzmók — leplek vagy telepek alakjában kövek csupasz felületén, sőt azt mondják, csiszolt üvegen is megtelepednek, megtámadják ezeket az anyagokat, és megszerzik belőlük a szükséges ásványi táplálékukat. Figyelemre méltó, hogy ezekben a növényekben bőségesen van sav, különösen oxálsav.

\* \* \*

Abból a három kérdésből, amelyet előadásunk kezdetén felvetettünk, még egy vár megoldásra. *Mi az oka annak*, hogy a növény gyökere a talajban található különféle anyagok közül éppen azokat vonja ki, amelyekre a növénynek szüksége van? Mielőtt a kérdésre válaszolnánk, ismerkedjünk meg valamivel részletesebben magával a ténnyel, amelynek okát keressük. Ha a növényt két só — mondjuk salétromsó és közönséges konyhasó — oldatában neveljük, csakhamar azt tapasztaljuk, hogy a növény gyökerei az egyik sót, nevezetesen a salétromsót az utolsó cseppig felszívták, míg a konyhasót, amelyre a növénynek nincs szüksége, alig érintik. Az efféle tények önkéntelenül is zavarba hozták a tudósokat. Szinte az a látszat, hogy a növény meg tudja ítélni, mire van szüksége, *válogatni* tud a táplálékban, az egyik anyagot felveszi, a másikat ott hagyja. Valójában

<sup>1</sup> A nyomokat feltűnőbbé tehetjük, ha grafitporral bedörzsöljük. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

hogyan is magyarázhatjuk ezt a válogatást? Hiszen nem tételezhetünk fel a gyökérben valami sajátos akaratot vagy ösztönt. A magyarázat igen egyszerű és régen ismert. Emlékezzünk csak vissza mesterséges sejtünkre és annak a vassóval szemben tanúsított magatartására (II. előadás). Mindkét só, a salétrom és a konyhasó is, könnyen diffundál, tehát mindkettő bejut a gyökérsejtekbe és innen a növény többi részeibe. További szerepük azonban igen eltérő a növényben. A salétrom felbomlik és nitrogénje fehérjék és más összetett nitrogéntartalmú szerves vegyületek létrejöttében vesz részt,<sup>1</sup> ennek következtében a növénybe újabb salétrommennyiség kerül, amely ismét a növény anyagává alakul át és így folytatódik tovább. Más a helyzet a konyhasó esetében. A konyhasó oldata a diffúzió törvénye értelmében csak addig hatol be a növénybe, míg ott el nem éri a külsőnek megfelelő telítettség állapotát. Amikor ez bekövetkezik, több konyhasó már nem juthat a növénybe. Ha a növényben véletlenül több konyhasó lenne, mint amennyi künn van, akkor ugyancsak a diffúzió törvénye értelmében ez a többlet a növényből visszavándorolna az oldatba. Így azután megérthetjük, hogy a növény miért éppen azokat az anyagokat sajátítja át, amelyeket feldolgoz, miért éppen azokat az anyagokat vonja ki az oldatból, amelyekre szüksége van (példánk esetében a salétromot) és miért hagyja érintetlenül, vagy pontosabban miért érinti alig azokat az anyagokat, amelyekre nincs szüksége (példánkban a konyhasót).

A gyökér e válogatásának megmagyarázásához nincs szükség arra, hogy valamilyen értelmes akaratot, szokást, ízlést vagy ösztönt tételezzünk fel a növényben; a magyarázathoz teljesen elegendők a fizika törvényei.

Ezzel be is fejezzük a gyökér tárgyalását; legközelebbi előadásunkban majd a növény másik szervével, a lomblevéllel foglalkozunk. Természetes dolog, hogy egy rövid előadás során nem meríthetjük ki az ilyen gazdag és feldolgozott tárgykör anyagát; annyit azonban mégis megtudhattunk, hogy általános képünk lehet a gyökér életéről, a növénynek arról a szervéről, amely igen szűk térben sok versztre terjedő utat tesz meg, gyökérszőrök millióival szívja, gyúrja és emészti a talajt. kiszedi belőle a fukaron szétszórt nitrogént és hamuelemeket, azt a nyolc anyagot, amely nélkül a növény nem élhet.

<sup>1</sup> Ezt jogosan állíthatjuk, mert növényt úgy is nevelhetünk, hogy csak az egyik nitrogénforrást — a salétromot bocsátjuk rendelkezésére. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

## V. előadás

### A LEVÉL

*A levél jelentősége. — Milyen tápanyag kerül a levélen keresztül a növénybe? — A levél viszonya a szénsavhoz. — A levél szerkezete. — Oxigénkiválasztás. — A szénsav felbomlása a vízben. — Az erre vonatkozó kísérlet szemléltető alakja. — A szénsav felbomlása mesterséges gázkeverékekben és a légköri levegőben. — Szénhidrát (keményítő) képződése a klorofill-testecskékben. — A szénsav felbomlási folyamatának jelentősége az energia átalakulása szempontjából. — A növény táplálkozása szerves anyagokból. — Gombák és élősdiek. — A levél élettani szerepe.*

Előadásunk céljával azt tűztük ki, hogy a levél életének főbb vonásait megismerjük. Ez a feladat valamivel nehezebb, mint az előbbi volt, mert nincs a növénynek még egy szerve, amelyikről annyira hézagos és hamis felfogás keringene a tudományban járatlan emberek között. Egyetlen növényi szervnek sem jutott nagyobb osztályrés az emberi igazságtalanságból, mint a levélnek. Évszázadokon keresztül, egészen a múlt század végéig, az ember konokul tagadta, hogy a levél közvetlenül hasznos lenne a növény életére. Ugyanakkor emberemlékezet óta elismerték, hogy a gyökér hasznos szerv, mert ez táplálja a szaporodás szerveit, a virágokat és a magvakat. A leveleket pedig csak az a kétes dicsőség övezte, hogy pompázó, de haszontalan kellekei a növénynek. Már nagyon messze mentek, ha elismerték annyit, hogy a levél az ártalmas kipárolgások eltávolító szerve. Ezzel szemben, mint majd hamarosan meglátjuk, a növény táplálkozásában a levél éppen annyira szükséges szerv, mint a gyökér; sőt, a levél szolgáltatja a növénynek a mennyiségi és minőségi szempontból fontosabb táplálékot. Elmondhatjuk, hogy a levél életében testesül meg a növényi élet lényege, hogy a növény — levél.

A levélről és annak szerepéről olyan sokáig uralkodó helytelen felfogást tökéletesen megmagyarázza az, hogy az ebben a szervben lejátszódó táplálkozási folyamatnak sajátos jellege van, amely sem a táplálék természetét, sem annak felvételi módját illetően nem hasonlít az állati szervezetben végbemenő táplálkozás folyamatához, holott

akaratlanul is ez utóbbira gondolunk, amikor a »táplálkozás« kifejezést használjuk. Éppen ez az oka annak, hogy a levélben végbemenő folyamatok alkotják a növények legsajátosabb jellegzetességét — mint már mondtuk — a növény életének lényegét.

Milyen anyagokat vesz fel a levél? Mi az, amit táplálékként felhasznál? A felelet részben nem várhat magára. Nyilvánvalóan olyan anyagokat, amelyek a növény összetételéhez tartoznak és amelyeket a gyökér nem szolgáltat.

Láttuk, hogy a hamu felsorolt tizenegy<sup>1</sup> eleme közül hét, nevezetesen a foszfor, a kén, a klór, a kálium, a kalcium, a magnézium és a vas, továbbá a nitrogén is, a gyökereken keresztül jut a növénybe. Ugyanezen az úton kerül a növényi szervezetbe a víz is, vagyis az oxigén és a hidrogén. Hátra van még a *szén*, minden szerves anyag alapja. Mesterséges táptalajaink elkészítésekor a szénről egyáltalában nem gondoskodunk, mégis olyan növényeket neveltünk fel azokkal, amelyekben ezerszer, sőt tízezerszer több szén volt, mint amennyit a kísérlethez felhasznált mag tartalmazott. Habár a szén mennyiségi szempontból is a növény legfontosabb része (körülbelül 45%-a), ezt az anyagot nemcsak hogy nem bocsátottuk a növények rendelkezésére, hanem még rendszeresen távol is tartottuk a környezetétől. A növény tehát megélhet anélkül is, hogy a gyökerein keresztül szenet kapna. Más kérdés azonban, hogy a növény a valóságban, azaz a természetes életkörülmények között kap-e ezen az úton szenet. Ha ugyanis azt mondjuk: *lehetséges* az, hogy a növény *nem kap* szenet a gyökereitől, ez korántsem jelenti, hogy *nem is kaphat* szenet a gyökereitől, bár sokan esnek ebbe a tévedésbe. Eddig még nem bizonyították be, hogy a növény nem képes megszerezni a szenet a talaj szerves anyagaiból. Ennek a kérdésnek vizsgálata túl messze vezetne, ezenfelül a mi szempontunkból nem is túlságosan érdekes. Nem nehéz bizonyítani, hogy ha ez a szén részt is venne a növény életében, szerepe jelentéktelen lenne és alig figyelemre méltó. Ha a növény a szenet valóban kizárólag, vagy elsősorban a talaj szerves anyagaiból vonná ki, akkor az olyan növényzet által takart talaj, amelynek termékeit a földről betakarítják, idők folyamán elszegényedne, elvesztené a televényt. Ezzel szemben a mindennapi tapasztalat szerint a szántóföldek, rétek és erdők talajának televénytartalma egyre gazdagabb lesz. A szántófield művelése során ugyanis minden évben több szerves anyagot szállítunk el a termőföldről termés alakjában, mint amennyit trágya alakjában ráhordunk. A gondosan trágyázott talaj televényföldje azért mégis gyarapszik. Nyilvánvaló tehát, hogy végeredmény-

<sup>1</sup> A tizenkettedik elem, a szilícium nem bizonyult szükségesnek. — *Az orosz kiadás jegyzete.*



ben a növények nem vonják ki a szerves anyagokat a talajból, hanem ellenkezőleg: gazdagítják. Egyszóval, akárhogy nézzük a dolgot, a növénynek nem a talajban van a fő szénforrása. Ha pedig ez nem a talajban van, akkor a levegőben kell lennie. Ha viszont a levegőben van, akkor valószínű, hogy elsősorban a növény levegőbe nyúló szerve, a levél veszi fel azt. Vizsgáljuk meg tehát, hogy milyen szénforrás áll fenn a levegőben és hogyan táplálkozik abból a növény.

A légköri levegő a nitrogénezen és az oxigénezen felül elenyésző mennyiségben szénsavat is tartalmaz. A szénsav szénből és oxigénből áll, tehát ez a színtelen gáz, amely látszatra semmiben sem különbözik a levegőtől, szénrészecskéket is tartalmaz. Bár meggyőződésem szerint senki sem vonja kétségbe ennek a ténynek a valóságát, mégis helyes, ha minden tényről lehetőleg a saját szemünkkel győződünk meg, s ez a jelen esetben nem is ütközik nehézségekbe. Abból a célból, hogy a szénsavban kimutassuk a szén jelenlétét, ki kell vennünk a szénsavból az oxigént. Ezt úgy érhetjük el, hogy az oxigént olyan testtel való vegyülésre készítjük, amely vele a szénnel közelebbi vegyrokonságban van. Ilyen például a magnézium fém (a magnéziumszál égés közben vakító fényt ad). Égessük el a magnéziumszálat úgy, hogy előzőleg üvegedénybe dugjuk, amely közösleges levegőt tartalmaz. A szál elég és az edény aljára hófehér hamu hull: ez a magnézium és oxigén vegyülete. Ismételjük meg ezt a kísérletet; most azonban az égő magnéziumszálat szénsavval telt edénybe dugjuk. A magnéziumot tehát arra kényszerítjük, hogy a szénsavból szerezzon magának oxigént, ezért az oxigént a széntől el kell vonnia és az utóbbinak az edényben meg kell mutatkoznia. Valóban, ezúttal a magnéziumszál nem csendesen, hanem sisteregve, szinte egész sor kis robbanás közben ég el és az üvegedény falára fekete korom rakódik. Ez a felszabadult szén.

Ezek szerint a légköri levegőben szemmel nem érzékelhető alakban állandóan hatalmas mennyiségű szénkészlet van.

Minden olyan vízben is található szénsav, amely a légköri levegővel érintkezésben áll. Így jutnak szénsavhoz a víz alatt élő növények. A vízalatti növényeken, vagy általában a vízbe mártott levélen — nemcsak a vízinövények levelein — könnyen megfigyelhetjük, hogy a levél és a vízben feloldott gázok között anyagcsere van. Bemutatunk néhány olyan kísérletet, amelyet bármelyik napos reggelen elvégezhetünk.

Szedjük minél nagyobb felületű leveleket és anélkül, hogy elhervadnának, helyezük vízzel színing telt üvegbura alá, s az üvegharangot borítsuk egy üvegedényre (29. ábra). Mindezt természetesen olyan vizes vederben végezzük, amelybe az edény is és a bura is

belefér. Ha a kísérlethez közönséges vizet vettünk, vagy még inkább, ha a kísérleti vízen előzőleg szénsavgázt bocsátottunk keresztül, azt látjuk, hogy a fényhatásnak kitett készülékben a levelek alsó felületét hamarosan ezüstös réteg (finom buborékok) vonja be. Ha a készüléket még tovább hagyjuk a fényen, az üvegharang felső részében jelentékeny mennyiségű gáz gyűlik össze, s az így fölössé vált víztöbblet a külső edénybe szorul, amint azt a 29. ábrán láthatjuk.

Ismételjük meg ugyanezt a kísérletet itt, az első edény mellett, de forralt, vagy más olyan vízzel, amely nem tartalmaz szénsavat. Azt tapasztalhatjuk, hogy nem jelentkeznek gázbuborékok. Levonhatjuk tehát azt a következtetést, hogy a levelek gázt választanak ki, de csak akkor, ha a víz szénsavat tartalmaz.

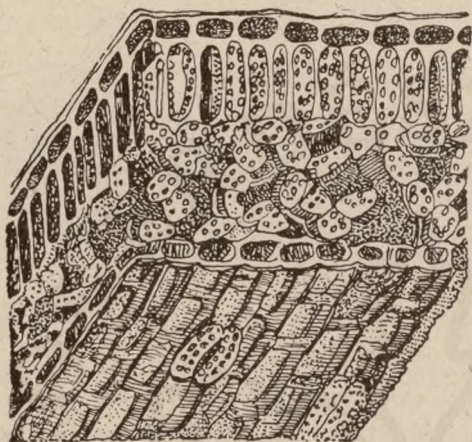
Első tekintetre meglepő, hogy a gázbuborékok csak a levél alsó, fonák oldalán választódnak ki. Ezt a jelenséget is megértjük azonban, mihelyt megismerjük a levél mikroszkópikus szerkezetét.

Minden levélen, vagy szabatosabban minden levéllemezen első tekintetre két, gondosabb vizsgálat alapján pedig három különböző részt láthatunk. A két szembezőkően eltérő rész a levél ereze és az erzet között a »levélhús«. Alaposabb anatómiai vizsgálat alapján azonban azt tapasztaljuk, hogy a levéllemez alsó és felső felületét még egy különleges szövet is takarja. Ez a hártyszerű bőrszövet, ha a levelet vízben áztatjuk, könnyen leválasztható. A vízben áztatott levelet három rétegre bonthatjuk: a felső bőrszövetre, a középső részre és az alsó bőrszövetre. A középső részről, amely erzetből és »húsból« áll, a »húst« könnyen eltávolíthatjuk, ha puha kefével finoman ütögetjük. A »húsréteg« eltávolítása után az erek igen finom, vékony és áttetsző, pókhálószerű hálózata marad meg. A levélnek erre a részére még majd visszatérünk, most azonban fordítsuk figyelmünket kizárólag a »húsra« és a bőrszövetre. A bőrszövet egyetlen sejtrétegből áll, s sejtjei egy síkban helyezkednek el. A »hús« laza, szivacszerű szövet, amelyben jelentékeny számban vannak levegővel telt részecskék. Ez az oka annak, hogy a levél úszik a vízen, ha azonban a víz alatt kinyomjuk belőle a levegőt, lesüllyed. Ugyanakkor azonban átlátszóbb és sötétebb színű lesz. Ennek az az oka, hogy a sejtek közeiből kinyomott levegő helyére víz került. Ezeknek a magyarázatoknak előrebocsátása után megérthetjük a 30. ábrát, amely erősen felnagyítva és kissé vázlatosan bemutat egy erek közül kivágott négyszögletes levéldarabkát. Az



29. ábra

ábrán két metszessíkot, hossz- és keresztmetszetet, továbbá a levél alsó felületét látjuk. A »hús« kétfajta sejtől áll. A levél felső rétegében elhelyezkedő sejtek *oszlopos (paliszád)* alakúak és a levéllemez felületére merőlegesen úgy helyezkednek el egymás mellett, mint a



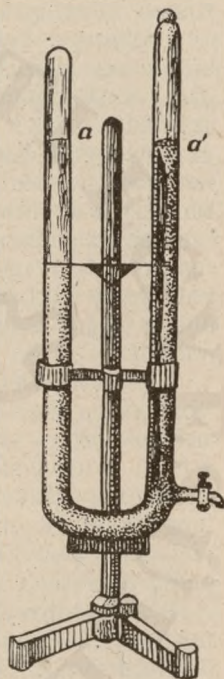
30. ábra

palánkkerítés deszkái. A »levélhús« többi részében a sejtek alakja különféle és szabálytalan, pedig jelentékeny rések vannak közöttük. A »levélhús« minden sejtje, de kivált az oszlopalakúak, zöldszínű szemcséket tartalmaznak. Ezekre a szemcsékre majd még visszatérünk, most csak annyit jegyezzünk meg róluk, hogy a levelek éppen úgy, mint általában a zöld növények, eredetileg színtelenek és zöld színüket ezeknek a szemcséknek köszönhetik. Ennyit a levél »húsáról«. A bőrszövet, amelyet ábránkon keresztmetszetben

és felületi síkjában is láthatunk, lapos, hosszúkas, majdnem hárszerű sejtekből áll. Az alsó felületen a sejtek között különös alakú szervek vannak elszórva. Az egyik ilyen szerv éppen a metszés síkjába került és ezt ketté is vágta. Látjuk, hogy két sejtől áll, amelyek egymás felé hajló ívre emlékeztetnek, s hosszúkas rést zárnak be. Ezek az alsó bőrszövetnek a levél belseje felé vezető rései, szellőztető nyílásai. Ezeket a szerveket *levegőnyílásoknak* nevezzük. A levegőnyílások száma szinte megszámlálhatatlan. Így például a hársfa egyetlen levelén több mint *egymillió levegőnyílás* van. Ebben a számban pedig ne kételkedjünk, mert a nyílások számát pontosan és egyszerű módon meghatározhatjuk. Az a körülmény, hogy ezek a szervek leginkább a levél alsó felületén — fonákján — helyezkednek el, megmagyarázza, hogy az előbbieken leírt kísérlethez hasonló kísérletekben a gáz többnyire miért a levelek fonákján választódik ki. A levegőnyílásokkal a továbbiakban majd még foglalkozunk.

Vizsgáljuk most meg, hogy milyen gázt választ ki a levél, amikor a napfény hatása alá kerül. Folytassuk tehát tovább a megkezdett kísérletet, amint a bura alatt (29. ábra) elegendő gáz gyűlik össze. Ekkor óvatosan húzzuk ki a bura dugóját és a nyakon keresztül dug-

junk a burába egy alig parázsló faforgácsot. A szilánk nyomban fellángol és szikrázva lobog. Ez kétségtelenül az oxigén jele; tehát az a gáz, amelyet a levelek kiválasztanak, oxigén vagy legalább is igen gazdag oxigéntartalma van. Azt azonban már láttuk, hogy a kísérlet csak akkor sikerül, ha a vízben szénsavat oldunk fel. Felvetődik tehát az a kérdés, hogy vajjon nincs-e közvetlen összefüggés a szénsav jelenléte és az oxigén megjelenése között. A szóban levő kísérlet erre a kérdésre egyenes választ nyilván nem ad. Abból a célból tehát, hogy felderítsük a szénsav szerepét, folytassuk a kísérletezést a következőképpen. Vegyünk egy patkóalakú csövet, amelynek egyik vége zárt, a másik vége pedig csiszolt dugóval elzárható (31. ábra). Öntsünk a csőbe vizet és utána bocsássunk bele szénsavat úgy, hogy az a baloldali zárt szárban a teret egészen a mozgatható jelzésig elfoglalja. Ez a jelzés az állványhoz van erősítve, miként azt az ábrán is láthatjuk. A jobboldali nyitott szárba hosszú gabonalevelet bocsátunk és ezt a szárát színig megtöltjük vízzel, majd a csiszolt üveg dugóval elzárjuk úgy, hogy a dugó és a víz szintje között a legkisebb légbuborék se maradjon. Ezek után a készüléket kiteszük a fényre. A már jól ismert jelenséget látjuk: a levelet apró buborékok borítják el. Amikor a buborékok bizonyos nagyságot elérnek, a cső felső részébe szállnak fel. A felső részen szemmel láthatóan mind nagyobb gázmennyiség halmozódik fel. Miközben pedig a gáz térfogata a jobboldali szárban növekszik, a bal szárban a szénsav térfogata csökken. Amikor a víz szintje a jobb szárban az  $a'$  pontig száll alá, a bal szárban már az  $a$  pontnál lesz. A jobboldali szárban összegyűlt gáz nyilvánvalóan oxigén; hogy azonban ebben egészen bizonyosak legyünk, vegyük ki a dugót és próbáljuk ki a gázt parázsló faforgáccsal. Miután meggyőződünk arról, hogy az összegyűlt gáz valóban oxigén, töltsük meg újra a csövet vízzel és ismételjük meg a kísérletet. A jobboldali szárban ismét bizonyos oxigénmennyiség gyűlik össze és a másik szárban annak megfelelő mennyiségű szénsav tűnik el. Bár tudjuk, hogy az eltűnt gáz szénsav volt — hiszen magunk bocsátottuk a csőbe — a biztonság kedvéért néhány hasonló kísérlet után töltsük meg újra a jobboldali szárát vízzel, zárjuk el a dugóval és fordítsuk



31. ábra

meg az egész csövet úgy, hogy a gázmaradvány a baloldali szárból átkerüljön a jobboldali szárba. Ha ezután próbáljuk ki a gázt, meggyőződhetünk arról, hogy ebben a gázban nemcsak a parázsló faforgács nem lobban lángra, hanem az égő láng is teljesen elalszik. Ez a gáz tehát szénsav volt és szénsav is maradt. A kísérlet lefolyását könnyen megmagyarázhatjuk: a baloldali szárban levő szénsavgáz állandóan oldódik a vízben, de az oldat a jobboldali szárban a levél hatására felbomlik és oxigén válik ki belőle. Ennek következtében a víz újabb szénsavmennyiséget old fel és a folyamat így folytatódik tovább. Ez a kísérlet — bár nem különösen pontos, de mindenesetre igen szemléltető alakban — azt a tényt bizonyítja be, hogy a szénsav akkor, amikor a cső egyik szarából a levél mellett áthalad a másik szárba, oxigénné alakul, azaz felbomlik és eközben az egyik szár végén eltűnő szénsav térfogata hozzávetőlegesen megegyezik a másik szár végén megjelenő oxigén térfogatával. Minthogy pedig a kémia tanítása szerint, amikor a szén az oxigénben elég és szénsav keletkezik, a meghatározott térfogatú oxigén ugyanakkora térfogatú szénsavgázt képez: nyilvánvaló, hogy a kísérletünkben a szénsav egészen felbomlott, a szénsavból az egész oxigén kivált és az egész szénmennyiség a növényben maradt.

Ezt a kísérletet még szemléltetőbb módon mutathatjuk be a fehér vagy sárga tündérrózsa nagy úszó levelével. Az ilyen vízi növényeknek jellegzetes sajátsága az, hogy úszó leveleiken a levegőnyílások a felső, a levegővel érintkező felületen helyezkednek el és a levegőnyílások alatt levő sejtközi légüregek közlekednek a levéllemez és a hosszú levélnyél sejtközi légüregeivel, valamint légjárataival. Helyezzünk egy ilyen levelet vízzel telt, széles edénybe, a levélnyelet pedig bocsássuk hosszú, szintén vízzel megtöltött és fokbeosztással is ellátott csőbe. Amint a csövet függőleges helyzetbe állítjuk, a levélnyél metszési felületén buborékok jelennek meg és a cső hamarosan megtelik levegővel addig a szintig, ahol a csőben levő víz szintje eléri az edényben levő víz szintjét. Az a körülmény, hogy a levegő a levéllemez levegőnyílásaiba behatol és a levélnyél metszsfelületén kiválasztódik, azt bizonyítja, hogy mindaddig, amíg a csőben a víz szintje magasabb, mint a külső edényben, a levélnyél metszési felületére ható víznyomás kisebb, mint a külső levegő nyomása. Töltsük meg a csövet újra vízzel, bocsássuk bele ismét a levélnyelet, a levéllemezt azonban nyomjuk a víz alá és fedjük le olyan üveglappal, amelyen a levélnyél számára nyílás van. Végezzük az első kísérletet forrált vízzel, amelyben tudvalevően nincs szénsav. Ilyen feltételek mellett semmiféle változást nem észlelünk. Ezt követően töltsük meg az edényeket szénsavtartalmú vízzel (például közönséges ásvány-

vízzel) és fedjük be a széles edényt kartonlappal, nehogy a levéllemezre napfény jusson. Ekkor sem észlelünk semmit. Mihelyt azonban levesszük a kartonlapot és a napfény a levéllemezre esik, a levélnyél metszésfelületéről láncszerű sorban nagy levegőbuborékok emelkednek fel. Az összegyűlt levegőt meg is mérhetjük, hiszen ezért van az üvegcső mércével ellátva. Abból, amit már tudunk, arra következtetünk, hogy ennek a gáznak, amely csupán szénsav jelenlétében és csak a napfény hatására választódik ki, oxigénnek kell lennie. Húzzuk ki óvatosan a csőből a levélnyelet, zárjuk el a nyílást és fordítsuk meg a csövet, ügyelve arra, hogy állandóan zárva maradjon. Vegyünk egy egyenes, vékony faforgácsot, különösen alkalmas erre a faredőnyből kiszedett pácika... Gyujtsuk meg, majd oltsuk el úgy, hogy csak a csúcsa maradjon parázsló. Vegyük el az ujjunkat óvatosan a cső szájáról és helyezzük be a csőbe a parázsló faforgácsot. A gyenge parázs kissé sísteregve azonnal lángra lobban és fényes, fehér lánggal égni kezd. Ez a jelenség oxigén vagy legalább is olyan gázkeverék jelenlétét mutatja, amelynek gazdagabb oxigéntartalma van, mint a levegőnek. Húzzuk ki óvatosan a forgácsot az üvegcsőből, s zárjuk el gyorsan a cső száját ujjunkkal. Gyujtsuk meg és oltsuk el újra a forgácsot s vörösen parázsló végével dugjuk be ismét a csőbe. A parázs újból fellángol s a kísérletet akár tízszer is megismételhetjük mindaddig, amíg csak a csőben lévő oxigéntöbblet ki nem fogy. Ezek szerint egy lomblevéllel néhány perc alatt bebizonyíthatjuk azt az elvi jelentőségű tényt, hogy a napfényre tett levél a szénsavat oxigénné alakítja át.

Az utóbbi időben már igen elterjedt készülékkel, az úgynevezett szcioptikonnal,<sup>1</sup> ezzel a tökéletesített vetítőkészülékkel — ha vászonra vetítjük a növénynek és annak a csőnek felnagyított ábrázolását, amelyben a növény által kiválasztott gázt vizsgáljuk — bármikor, akár nagyszámú hallgatóság előtt is bebizonyíthatjuk, hogy a növény felbontja az szénsavat. Íme, itt van ennek a kísérletnek egyik legszemléltetőbb alakja (32. ábra). Ez a kis üvegcád egy patkóalakúra hajlított üvegrúdból (*e*) és két tüköruveglemezből (*d*) áll. A kád kis akvárium, tele közönséges vízinövényekkel. Ha elég erős a fényforrásunk, például napfény, villany- vagy Drummond-fény,<sup>2</sup> akkor ezt a miniatűr-akváriumot, amely egy szaszeny,<sup>3</sup> vagy annál is nagyobb lehet, vászonra vetíthetjük. Azokon a helyeken, ahol a leveleket vagy a levélnyeleteket elmetszettük, érdekes jelenséget észlelünk:

<sup>1</sup> Szcioptikon a »bűvös lámpa« (Laterna magica) egyik régies elnevezése. — Ford.

<sup>2</sup> Drummond-fény akkor áll elő, ha magas hőfokú lángba mézhengert helyezünk. Fényereje igen nagy. — Szerk.

<sup>3</sup> Szaszeny — régi orosz hossz mérték; körülbelül 2,13 m. — Ford.

a növény oxigént választ ki, illetőleg elbontja a szénsavat.<sup>1</sup> Ebből a célból természetesen a víznek szénsavat kell tartalmaznia és a fényforrásnak eléggé fényerősnek kell lennie. Ha ez a két feltétel hiányzik, nem tapasztaljuk a buborékok kiválasztását. Ha azonban a fény elég erős — napfény vagy elektromos fény — a gázbuborékok rózsafüzszerű sorban igyekeznek felfelé. Most már csak azt kell megállapítanunk, hogy a gáz oxigén-e, illetőleg, hogy elég gazdag oxigéntartalma van-e, mert az ilyen gázhoz rendszerint a vízben feloldott más gázok is keverednek. Ebből a célból vezessük be néhány ágacska szárát a mércével ellátott üvegcső (a) kiszélesedő nyílásába, amely csakúgy, mint a kád, vízzel van tele. Ebben a csőben gyűjtjük össze a kiválasztódó gázt. A cső kinyúló részét olyan szorosan elzárja egy üvegpálca (c), mintha csiszolt üvegdugó lenne, mely áthalad a cső tölcseralakú felső részén (b). Amikor már elegendő gázmennyiség gyűlt össze, megkezdjük annak vizsgálatát.<sup>2</sup> Lehetséges, hogy ez a gázmennyiség a növény által kiválasztott oxigénből, légköri levegőből és szénsavból áll; az utóbbi a vízben van feloldva, tehát innen hatolhat be a növény belső üregeibe. Öntsünk a cső tölcseralakú részébe marólúgos oldatot és húzzuk ki óvatosan az üvegpálcikát, hogy a lúg a csőnek beosztással ellátott alsó részébe kerüljön. A lúg, mint már tudjuk,<sup>3</sup> elnyeli a szénsavat. Ha a csőben kezdetben például 50 rész gáz volt, a szénsav elnyelése után feltehetően 48 rész marad. Öntsünk ekkor más anyagot a tölcserbe, mondjuk az úgynevezett pirogalluszsav oldatát. Ennek a savnak az a jellegzetessége, hogy mohón elnyeli az oxigént és közben sötétbarna színt vesz fel. Húzzuk ki óvatosan a pálcikát és mihelyt ennek a folyadéknak az első cseppjei a csőbe kerülnek s a csőben levő gázzal érintkeznek, megfestik a folyadékot és a gáz térfogata gyorsan csökken. Végül is a 48 rész helyett csupán mintegy 15 rész marad. Az így megmaradt gáz: nitrogén. A gázelegyenben tehát mindössze 33 rész oxigén volt. A légköri levegőből azonban 15 rész nitrogénnel együtt legfeljebb csak 5 rész oxigén hatolhatott be a növénybe, úgyhogy a növény által a szénsav elbontása útján előállított oxigénre 28 rész esik.

<sup>1</sup> A vízinövények vízalatti részein nincsenek levegőnyílások. Sejtközi levegőüregeibe és járataiba azonban behatol az oxigén; ez az oxigén a véletlenül keletkezett nyílásokon válik ki. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> A 32. ábrán a szaggatott vonalú körök azt a fényteret jelölik meg, amelyet a vetítógép az ernyőre vetít. Az egész készüléket két részletben vetítjük ki, hogy a részleteket ényegesen megnagyíthassuk. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>3</sup> V. ö. a III. előadásnak a magvak lélekzéséről szóló részeivel. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

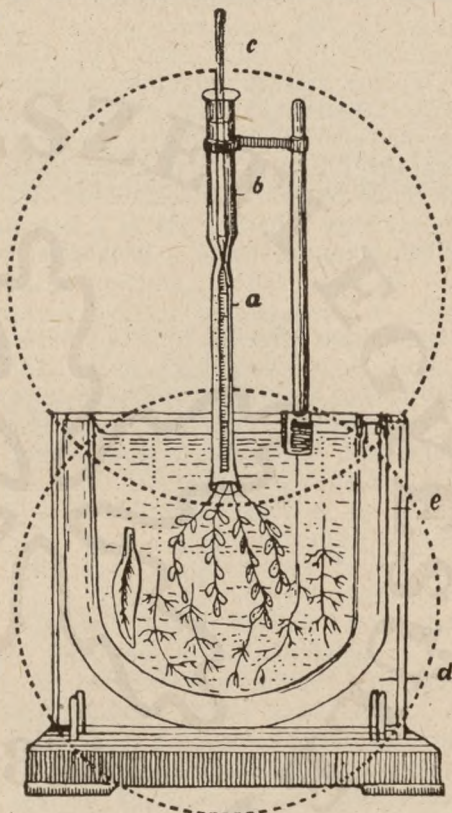
A leírt készülék és a rendelkezésünkre álló villanyfény először nyújt alkalmat arra, hogy ezt a természetben kizáróan nappal és csak a melegebb évszakban lefolyó jelenséget téli estén, nagyszámú hallgatóság előtt olyan egyszerűen mutassuk be, mintha valamilyen ábrát ábrázolnánk a táblára.

Természetesen ezt a készüléket vetítőlámpa nélkül is használhatjuk, mint egyszerű és kényelmes vizsgálati segédeszközt.

Eddig azzal a kérdéssel foglalkoztunk, hogy a vízbe mártott növény miként bontja fel a szénsavat. Az ilyenféle kísérletek kezdetben igen alkalmasak arra, hogy ezzel a jelenséggel általában megismerkedjünk, mert igen szemléltetően mutatják be azt, hogy a növény miként választja ki a gázt. Ellenőrzésre vár azonban az a kérdés, hogy akkor is hasonló felbomlási folyamat megy-e végbe, amikor a levél nem vízzel, hanem szén-savtartalmú levegővel érintkezik.

Az ilyen célú kísérlet legegyszerűbb alakja ma is ugyanaz, amellyel ezt a jelenséget száz évvel ezelőtt Priestley felfedezte. Vegyünk egy üvegedényt (olyant, mint a 29. ábrán), öntsünk az aljára egy kis vizet és állítsunk bele egy égő gyertyavéget (természetesen akkora gyertyavéget, hogy a vízből kiálljon). Borítsunk a gyertya fölé egy olyan üvegburát, mint amilyent a 29. ábrán bemutatunk, és pedig úgy, hogy a burra pereme a vízben az edény aljára érjen. Ilyen módon a burra alatt levő levegő vízzel van elzárva a külső légkörtől.

A gyertyavég egy ideig még ég, azután elalszik. A burra alatt tehát elfogyott az égést tápláló oxigén és helyette az égés folytán szénsav



32. ábra



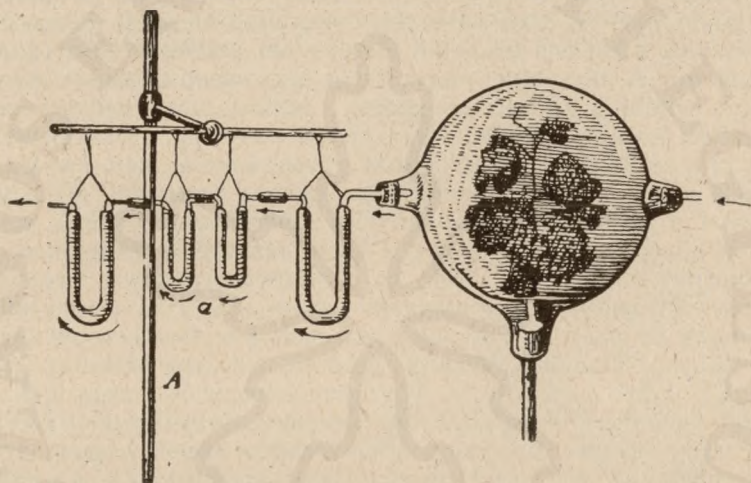
keletkezett. Ha most a burába, annak nyakán keresztül égő forgácsot bocsátanánk, az nyilván elaludnék, éppen úgy, mint a gyertyacsonk. De ha a vízen keresztül óvatosan a bura alá bocsátunk egy zöld ágat, vagy néhány zöld levelet és az egész készüléket húzamosabb fényhatásnak tesszük ki, hosszabb idő eltelte után meggyőződhetünk arról, hogy az égő forgács nem alszik el, tovább ég a bura alatt; ott tehát ismét van oxigén, jöllehet korábban nem volt. A növény nyilván oxigénné változtatta a gyertya égése folytán keletkezett szénsavat. Ezt a kísérletet más változatokban is elvégezhetnénk. Tehetünk az égő gyertya helyett a bura alá élő egeret. Ha az eger megfullad, ez annak bizonyítéka, hogy a bura alatt nem kapott elegendő oxigént a lélekzéséhez. Ha pedig ezután ismét zöld ágat helyeznénk a harang alá és a készüléket a napra tennénk, a levegő újból alkalmas lenne a lélekzésre, mert visszaadnánk az oxigént.

Az eddig leírt valamennyi kísérlet során megelégedtünk azzal, hogy a szénsavnak a növény közreműködésével oxigénné történt átalakulását kizáróan minőségi nézőpontból vizsgáljuk. Elégnek tartottuk, hogy a kísérletek során eltűnő szénsav és megjelenő oxigén egymáshoz való arányát csupán megközelítően értékeljük. Ennek a jelenségnek a tanulmányozására természetesen a tudomány sokkal pontosabb mennyiségi módszereket is kidolgozott. Azonban az, hogy ezeket itt leírjuk, nem lenne helyénvaló, mert túlságosan el kellene mélyednünk a technikai részletekben. Csupán annyit jegyezzünk meg, hogy erre a célra a szénsavnak azt az ismert tulajdonságát használják fel, hogy a marólúgban elnyelődik. Tegyük fel, hogy a növénynek, vagy az egyes levélnek zárt üvegedényben, például mércével ellátott üvegcsőben meghatározott mennyiségű szénsavat bocsátunk rendelkezésére. Ezután a készüléket a fény hatásának tesszük ki. A kísérlet után pedig marólúg segítségével meghatározzuk, hogy mennyi szénsav maradt a csőben. Így már tudjuk azt, hogy mennyi szénsavat bocsátottunk a csőbe és mennyi maradt meg abból, tehát kiszámíthatjuk azt is, hogy mennyi szénsav tűnt el, bomlott fel, illetőleg helyettesítődött oxigénnel.

Ezzel az eljárással számos érdekes kérdést oldhatunk meg. Így többek között azt a kérdést is, hogy a levegő milyen arányú szénsvartartalma a legelőnyösebb a növényre nézve. Kitűnt, hogy körülbelül 8% a legelőnyösebb szénsvartartalom; ezen az arányon felül, úgy látszik, a szénsav károsan hat a növényre.

Még egy idevágó kérdés érdemel különösebb figyelmet. Kísérleti úton meggyőződünk ugyan arról, hogy a növények felbontják azt a szénsavat, amely a készülékekben rendelkezésükre áll, kérdés azonban, vajjon ezekből a kísérletekből alaposan következtethetünk-e

arra, hogy a növény természetes körülmények között is képes a légköri szén-savat felbontani. Emlékezzünk csak vissza arra, hogy ezeknek a kísérleteknek alkalmával jelentékeny mennyiségű szén-savat — rendszerint a kísérleti edény térfogatának néhány százalékat — bocsátottunk a növények rendelkezésére ; ezzel szemben a légköri levegőben csak néhány *tízezrelék* arányban fordul elő a szén-sav. Valószínűtlennek látszik, hogy a növény a levegőben ennyire szétszórt szén-sav-részecskéket meg tudja keresni és át tudja sajátítani. Ennek a kérdésnek a megoldására J. B. Boussingault, a híres francia tudós a következő kísérletet végezte. Vett egy nagy üveggömböt, mely három nyílással volt ellátva (33. ábra). Az alsó nyíláson



33. ábra

keresztül a gömbbe levelekkel borított szőlőágot vezetett be, úgy, hogy az ág a tőkével továbbra is kapcsolatban maradt, tehát rendes körülmények között élt tovább. Különleges szivattyúzó műszer segítségével (az úgynevezett *aszpirátor*-ral, amelynek leírására nem térünk ki) az üveggömbön és az azzal összekapcsolt készüléken keresztül — amelyet minden tartozékával együtt, a rövidség kedvéért, egyelőre *A* betűvel jelzünk — lassan külső légköri levegőt hajtott át a nyílakkal megjelölt irányban. A szivattyúzó műszerben megmérte azt az egész levegőmennyiséget, amely a kísérlet egész ideje alatt a készüléken áthaladt. Ezután meghatározta analízis útján, hogy a kísérlet helyén mennyi szén-savat tartalmaz a légköri levegő. Ennek, valamint a növényt tartalmazó gömbön keresztül bocsátott levegő

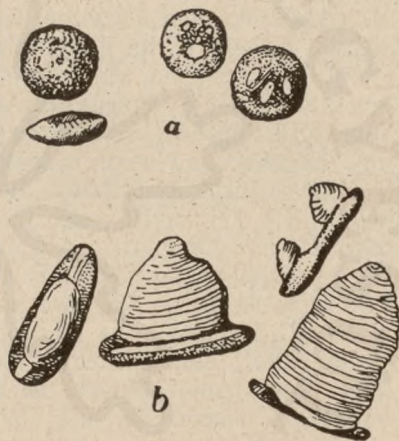
mennyiségének ismeretében pedig megállapította, hogy mekkora az a szénsavmennyiség, amely bejutott a gömbbe. Most már csak azt kellett meghatározni, hogy mekkora mennyiségű szénsav lépett ki a gömbből, s akkor megállapíthatta, hogy a szénsavból mennyi tűnt el a kísérlet során, illetőleg, hogy mennyit bontott fel a növény. Az utóbbi kérdés megoldására szolgál az A készülék. Írjuk le röviden ennek a készüléknek a szerepét. Ismét elhagyjuk a technikai részleteket, mert csak a kísérlet alapötletét és nem a kutatás eljárásait kívánjuk megmagyarázni. A készülék leglényegesebb része az a két könyökös üvegcső (a), amelyeken áthalad a beszívott levegőáram és az a rendeltetésük, hogy a levegőből a szénsavat elnyeljék. Az egyik könyökös üvegcsőben marólúgdarabkák vannak. Ha a marólúg szénsavat nyel el, ezzel nehezebb lesz; tehát elegendő kikapcsolni a készülék a betűvel megjelölt részét s azt a kísérlet előtt és után megmérni. A súlytöbblet megmutatja, hogy mennyi szénsav maradt meg a gömbből kilépett levegőben. Kitűnt, hogy kedvező megvilágítási körülmények között a levegő csaknem szénsavmentesen jött ki a gömbből. A megvilágított növény zöld felülete mentén elhaladó levegő tehát csaknem egész szénsav tartalmát otthagytá, jöllehet a szénsavrészecskék annyira szétszórta és ritkák a légkörben, hogy szinte elvesznek a többi részecskék tömegében. Az eredményt inkább megértjük, ha a mesterséges sejtben megfigyelt szénsav-diffúzióra visszagondolunk.<sup>1</sup> Láttuk, hogy ott a szénsav magától hatolt be a sejtbe, s csupán azért, mert a sejtben nem volt jelen. A levélben is állandóan elbomlik a szénsav, szinte nyomtalanul eltűnik és éppen ezért a diffúzió törvénye értelmében folytonosan újabb és újabb mennyiség pótolja a légköri levegőből. Boussingault klasszikus kísérletét, amelyet több mint fél évszázaddal ezelőtt végzett, azóta alig ismételték meg, mert annyira fáradsónak találták. Az utóbbi években egy igen tehetséges angol tudós, Horace Brown, egész sorozat ilyenféle kísérleti berendezést állított össze, melyek még tökéletesebbek. Ezekkel az eszközökkel végezte kísérleteit, amelyek eredményei az utolsó kétségeket is eloszlatták. Az azonban továbbra is érthetetlen maradt, hogy a levél levegőnyílásainak mikroszkopikus méretű keresztmetszeteiből összetevődő jelentéktelen felületen keresztül hogyan merítheti ki a levegő amúgy is szegényes szénsavkészletét. Kitűnt azonban, hogy a szénsav ezeken a réseken keresztül a gázok diffúziójának sajátosságai következtében (amelyeket először a Brown-féle kísérleteknek a során fedeztek fel) csaknem ugyanolyan mennyiségben hatol be a levélbe, mintha a levél egész felületével nyelné el. Ez azután arra a szellemes, tréfás megjegyzésre készítette Brown-t, hogy a növényeknek, úgy látszik, sokkal széle-

<sup>1</sup> Lásd a II. előadást. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

sebb körű a fizikai tudásuk, mint amennyit hajlandók vagyunk elismerni. Az is kitűnt, hogy ha a szénsavtartalmat a szokásos 2/10000-ról 1/1000-re fokozzuk, a növény által felbontott mennyiség csaknem ötszörösére emelkedik. Ebből a tényből még alaposabban következtethetünk arra, hogy a növény milyen eredményesen tudja felhasználni a légköri szénsavat, jóllehet abból látszólag elenyészően csekély, alig felfogható mennyiség áll rendelkezésére.

\* \* \*

A szénsav, amikor a nap által megvilágított zöld felülettel érintkezésbe jut, felbomlik, oxigénje szabaddá válik és a szén, amely benne volt, lerakódik a növényben. Kísérjük figyelemmel ennek a szénnek további sorsát. Forduljunk ismét a mikroszkóphoz. Minden megfigyelés, minden kísérlet, amelyet ezzel a jelenséggel kapcsolatban végzünk, azt igazolja, hogy ez a folyamat csak a növény zöld részeiben megy végbe. A növénynek minden olyan szervéről, amely nem zöld, határozottan állíthatjuk, hogy nem bont fel szénsavat, ha pedig mégis felbontja, akkor bizonyára tartalmaz zöld anyagot, de ezt más festékelemek elrejtik, álcázzák. A levelek tárgyalása közben már megismert zöld testecske, az úgynevezett *klorofill-testecske* az a szerv, amelyben a szénsav felbomlási folyamata lejátszódik. A klorofill-testecskén kívül a növényben nem megy végbe szénátjáratás.



34. ábra

Lássuk, hogy mit is tudunk ezekről a klorofill-testecskékről.

A klorofill a sejtekben — miként már láttuk — szemcsék, pálcikák (34. ábra),<sup>1</sup> vagy szalagok (59. ábra, jobboldalt) stb. alakjában fordul elő. Ha egy növényt bizonyos ideig sötétben tartunk, s aztán mikroszkóp alatt megvizsgáljuk ezeket a szintestecskéket, szerkezetük egészen homogénnek látszik, s belsejükben semmiféle lerakódást nem észlelhetünk (34. ábra — *a*, baloldalon). Ha azonban a növényt

<sup>1</sup> A 34. ábra klorofill-szemcséket mutat be. Az *a* sorban: baloldalon keményítő nélkül, jobboldalon keményítővel. A *b* sorban klorofill-pálcikák a keményítőképződés különféle fokozataiban. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

közönséges levegőben vagy vízben a fény hatásának tesszük ki, azt látjuk, hogy a klorofill-testecskékben bizonyos idő, olykor néhány perc múlva apró kis szemcsék jelennek meg (34. ábra — a, jobboldalon). Némely növényben ezek a szemcsék idővel megnövekednek, kívülre nyomulnak és kint tovább növekednek azzal a részükkel, amellyel ráfekszenek a klorofill-testecskére (34. ábra — b). Ilyenkor azt a jellegzetes réteges szerkezetet mutatják, amelyről a keményítőszemcsét felismerhetjük. A keményítő felismeréséhez egyébként nincs szükségünk arra, hogy a szemcsék megnövekedését megvárjuk; amikor a szemcse pontalakban megjelenik, már felismerhetjük benne a keményítőt, ha a már ismert mikroszkopikus reakciót alkalmazzuk: jóddal kékre festjük.

A klorofill-testecskében tehát keményítő keletkezik és ez a keményítő tovább növekszik azokon a pontokon, ahol a klorofillal érintkezik. Könnyen bebizonyíthatjuk, hogy a keményítőképződés összefüggésben van a szénsav felbomlásával, hogy annak következménye. Először is, ha a légkörben vagy a vízben nincs szénsav, a klorofill-testecskében sem képződik keményítő. Másodszor: a sötétben sem képződik keményítő. Ahhoz tehát, hogy a színtestecskében keményítő képződjék, a szénsav jelenlétén felül a szénsav felbomlásának feltételére, a fényre is szükség van.

Az a meggyőződésünk, hogy a felbomlott szénsav szénből keletkezett keményítő csak megerősödik, ha a keményítő vegyi összetételére gondolunk. A keményítőt a szénhidrátok jellegzetes képviselőjének tekinthetjük és ezen az alapon a keményítő eredetét a következőképpen magyarázhatjuk. A sejtekben mindig van víz. A víz és a szénsav — ha az utóbbitól elveszük az egész oxigént — szénhidrátot, tehát mintegy a szénnek és víznek a vegyületét hozzák létre. Ezek ismert tények, de tegyük hozzá, hogy erre a tárgyra vonatkozó ismereteink még távolról sem kielégítőek. Tudjuk, hogy a sejt vizet és szénsavat kap, oxigént választ ki és szénhidrátot képez. Ezek között a folyamatok között szükségszerű okozati összefüggés van, ugyanabban a klorofill-testecskében mennek végbe és meglepő gyorsasággal követik egymást. De arra a kérdésre, hogy ez hogyan történik, honnan származik az oxigén, vajjon csak a felbomlott szénsavból származik-e, vagy (ami valószínű) részben a vízből is, hogy a keményítő képződését nem előzi-e meg valamely egyszerűbb vagy esetleg bonyolultabb vegyület képződése — erről mindeddig még semmi pontosat nem tudunk. Találgató magyarázatoknak pedig nincs helye ezeknél a jelenségeknél, amelyeket a tudomány teljesen még nem derített fel.

Akárhogy is áll azonban a dolog, a szénsavfelbontás és a keményítőképződés folyamatának megfigyelése közben nem szabad

felednünk, hogy olyan jelenségnek vagyunk tanúi, amely nemcsak a levél, nem csupán a növény, de az egész szerves világ életében egyike a legfontosabbaknak. Egyszerű szervetlen anyagok, mint a szénsav és a víz, szerves anyaggá, keményítővé változnak. Bolygónkon ez az egyetlen természetes folyamat, amikor szervetlen anyagból szerves anyag keletkezik. Minden szerves anyag, bármennyire is bonyolult és bárhol fordul elő, növényben, állatban vagy emberben: keresztülment a levélen, a levél által feldolgozott anyagból származik. A levélen kívül, vagy még pontosabban a klorofill-testecskén kívül nincs a természetben olyan laboratórium, amelyben szerves anyagot állítanak elő. Minden más szervben vagy szervezetben a szerves anyag alakul át, változik meg, csak itt, a klorofill-testecskében kép ődik új, a szervetlen anyagokból.

A keményítőtől például oldható cukor keletkezik, s az vándorol sejtről sejtre és eljut a növény legtávolabbi részeibe is. Ebből a cukorból keletkezik az új sejt, a növény szilárd váza. Végül ugyanebből a cukorból és egy nem szerves anyagból, az ammoniákból jöhetnek létre a legbonyolultabb szerves anyagok, a fehérjék.

Ezek szerint a levél sajátítja át a szénét; a levélben megy végbe a szerves anyag képződésének folyamata; a levél látja el szerves anyaggal nemcsak a növényt, hanem az egész állatvilágot. Így hát felkutattuk a szénforrást a növényben és megmagyaráztuk azt is, hogy hogyan jut oda. Ezzel magyarázatot kaptunk a táplálkozás jelenségének egyik részére. Most már láttuk, hogy hogyan és milyen úton szerzi meg a növény mindazokat az elemeket, amelyek összetételéhez tartoznak; ezek között a szén volt az utolsó.

\* \* \*

Eddig a levél és általában a növény működését kizáróan kémiai nézőpontból, az anyag átalakulásának szemszögéből vizsgáltuk. Abból indultunk ki, hogy a kémia alaptörvényei szerint az anyag nem keletkezik és nem tűnik el. Így kerestük az anyag forrásait és a növénybe jutásának útját; így vizsgáltuk azokat az átalakulásokat, amelyekben az anyag közben keresztülmegy.

A növény teste azonban nemcsak anyag, hanem erőkészlet, mondhatnánk erőraktár is; így például a hőnek egyik forrása. Ha egyetlen nyírfamagot égetünk el, melegénél még egy percre sem melegíthetjük fel dermedt ujjainkat. Egy százesztendő nyírfával azonban napokon keresztül fűthetjük kályhánkat. A nyírfá élete folyamán tehát hőt halmozott fel; s ezt a hőmennyiséget mint hőt, vagy mint mechanikai erőforrást használjuk fel,

Felvetődik a kérdés : honnan van ez a hőmennyiség, ez az erő? A kérdés lényegében ugyanaz, mint amelyet korábban az anyaggal kapcsolatban vetettünk fel. Akkor a kérdés megoldásához azzal a meggyőződéssel láttunk hozzá, hogy az anyag nem keletkezik és nem tűnik el. Most is eleve győződjünk meg arról, hogy az erő sem keletkezik és az erő sem tűnik el. Miként a múlt században a kémikusokban kialakult az a tudományos meggyőződés, hogy az anyag nem semmisülhet meg, ugyanúgy manapság a fizikusok jutottak arra a meggyőződésre, hogy az erő is megmarad. A természet erői a végtelenségig változhatnak; az egyik erő a másik erővé alakulhat át, vagy rejtett állapotba juthat, feszültségi helyzetbe mehet át, de sohasem veszhet el és sohasem keletkezhetik újonnan. Az erőnek tehát két állapota van. Az egyik a mozgás jelenségeiben jut nyilvánvaló kifejezésre, míg a másik a feszültség rejtett állapotában bújik meg. A két állapot megjelölésére használjunk általánosabb kifejezést : az *energiát*.

Vizsgáljuk meg ezek után azt a kérdést, hogy milyen az energia rejtett helyzeti állapota, közelebről, hogy milyen a hő helyzete a fában, honnan eredt ez a hő, ha egyszer önmagától nem keletkezhetett. A kérdést ismét jól ismert kémiai jelenségek segítségével igyekszünk megmagyarázni. A levélben lefolyó jelenségekről van szó. A jelenséget azonban most kizáróan fizikai szempontból, a levélben végbemenő energiaátalakulás nézőpontjából vizsgáljuk.

A kémiai jelenségeket két csoportba sorolhatjuk. Az egyik csoportba azokat a jelenségeket osztjuk be, amelyeknek során meleg, fény, villamosság, tehát energia *jelentkezik, szabadul fel*, a másik csoportba tartozónak pedig azokat a jelenségeket mondjuk, amelyek folyamán az energia *elnyelődik, elrejtőzik*.

Az első csoport jelenségei önmaguktól mennek végbe, vagy csupán jelentéktelen külső ösztönzésre szorulnak ahhoz, hogy végbemehessenek. Az utóbbiaknak ezzel szemben mindig külső energiaforrásokra van szükségük, s ezek a források közben elhasználódnak, elnyelődnek.

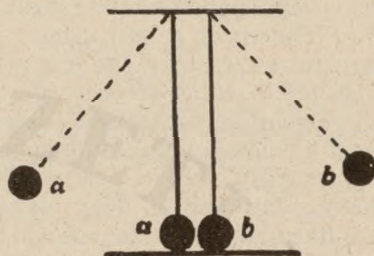
Az első csoportba tartozik a kémiai vegyületek folyamatainak nagy része, az utóbbihoz a kémiai bomlások túlnyomó hányada.

A kémiai vegyületek keletkezésének legegyszerűbb példája az oxigénnel való vegyülés, vagyis az égés (oxidáció). A bomlás legegyszerűbb esete pedig az égés megfordított folyamata, vagyis az a jelenség, amikor a vegyület oxigént veszít; ez az úgynevezett *redukció*.

Azt a folyamatot, amely a kémiai vegyülés és bomlás, az oxidáció és a redukció közben végbemegy, egy egyszerű modell segítségével szemléltető módon megmagyarázhatjuk. A modell cérnaszálra felüggesztett ólomgolyóból áll (35. ábra).

A kémiai vegyülésnek az az oka, hogy a különböző kémiai anyagok sajátos módon vonzani igyekeznek egymást.

Az anyagoknak ezt a törekvését *vegyrokonságnak* nevezzük. A szén és az oxigén részecskéi úgy vonzzák egymást, mint ez a két ólomgolyó (*a* és *b*), ha széthúzzuk és elengedjük. Tudjuk azt is, hogy ha testek összeütköznek, meleg és néha fény is keletkezik. Az összeütközés nyomán, ha a szén- és a hidrogénrészecskék láthatatlanul beleütköznek az oxigénrészecskébe, hő és fény keletkezik, olyan, mint amelyet az égő lángban megfigyelhetünk.



35. ábra

Ezek szerint láthatjuk, mi az oka annak, hogy a kémiai vegyületek önmaguktól mennek végbe

és miért fejlődik az ilyen folyamatok közben meleg. A kémiai elemek, amikor egymással vegyülnek, éppen úgy kölcsönös törekvésüket követik, mint függő golyóink. Összeütközésüktől, egymásba ütdésüktől felmelegszenek, hőt szabadítanak fel.

Ettől egészen eltérő a vegyi bomlás jelensége. Ha a kémiai vegyületet fel akarjuk bontani, vagy hogy hasonlatunkat kövessük, az ólomgolyókat el akarjuk távolítani egymástól, erőt kell alkalmaznunk, bizonyos energiamennyiséget kell felhasználnunk. Ugyanolyan energiamennyiséget kell alkalmaznunk, mint amekkora az elengedett golyók összeütközésében nyilvánul meg. Azt, hogy a felbontáshoz felhasznált és a vegyülésben megnyilatkozó energiamennyiség egyenlő, mechanikai hasonlatunkkal könnyen bizonyíthatjuk. Az egyik golyót a másiktól csak úgy távolíthatjuk el, ha a golyókat felemeljük, ehhez viszont le kell küzdenünk a nehézkedési erőt; az erre felhasznált energiamennyiséget a végzett munka alapján ítéljük meg; a munkát pedig a golyó súlyának és felemelési magasságának szorzata adja meg. A felemelt golyóban abban a pillanatban, amikor a másik golyóhoz ütközik, akkora energiamennyiség van, amekkora elegendő egy ugyanolyan súlyú golyónak ugyanolyan magasságra történő felemeléséhez. Ezt az állítást az igazolja, hogy ha a leeső golyó nem ütköznék a másik golyóba, akkor az inga mozgásához hasonlóan a másik oldalon ugyanolyan magasságig lengene ki, mint amilyen magasról leesett, tehát eddig emelné fel a saját súlyát. Ahhoz tehát, hogy két kémiai anyag között a kapcsolatot megszüntessük, megszakítsuk, vagyis hogy leküzdjük a vegyrokonság hatását, ugyanakkora energia-mennyiséget kell felhasználnunk, mint



amennyi az egyesülés közben felszabadul. Ha bizonyos mennyiségű szén oxigénben elégetünk és eközben — tegyük fel — 1000 egységnyi hőmennyiség felszabadul, akkor 1000 egység hőmennyiséget kell felhasználnunk ahhoz, hogy ezt a szénmennyiséget a keletkezett szénsavból újból kiválasszuk, hogy a szénnek az oxigénnel való vegyi kapcsolatát megszakítsuk. Valóban azt láttuk, hogy a szénsav felbontása, a szénsavból a szén kiválasztása csak akkor sikerült, amikor a szénsavat égő magnézium segítségével magasfokú hőhatásnak tettük ki. A szénsav égő magnézium útján történő szétbontása egyébként nem megfelelő példa az egyszerű felbontásra, mert a folyamat közben a magnézium nemcsak felbontotta a szénsavat, de vegyi kapcsolatra is lépett a szénsavból felszabadult oxigénnel. A vegyészek sokáig úgy vélték, hogy olyan szilárd kapcsolatú vegyületet, mint amilyen a szénsav vagy a víz, nem is lehet másként felbontani, mint olyan harmadik anyag közreműködésével, amely az oxigénnel még erősebb vegyrokonságban van. Nem is olyan régen azonban kiderült, hogy a víz és a szénsav szétbontására, vagy amint mondani szokták: *disszociálására* egyedül a hőhatás is elegendő. A hő a korszerű fizika tanítása szerint nem más, mint mozgás: a testek részecskéinek gyors, nem látható, de érzékelhető rezgése. Ha valamely összetett anyagot igen magas hőfokra hevítünk, részecskéit ezzel annyira szétrázzuk, olyan állapotba hozzuk, hogy végül is megszakad közöttük a kölcsönös kapcsolat, megindul a felbomlás folyamata. Így például igen magas hőmérsékleten már nincs vízgőz vagy gáz, hanem hidrogén és oxigén keveréke van.

Felbomlás közben energia használdódik el. Mi lesz ezzel a felbontásra elhasznált energiával? El nem veszhet az energia, ez ellentmondana az energia megmaradása törvényének. Az energia a lappangó feszültség vagy a tartalék állapotába megy át. Erre a lappangó állapotról, a helyzeti vagy potenciális energiára, a mechanika körében sok példát ismerünk. Ilyen a cölöpverő kos, amely készen áll arra, hogy a földbe verendő cölöpre hulljék, a megfeszített íj, amely készen van arra, hogy a nyilvesszőt kilője. Mindezek könnyen érthető példák a lappangó feszültség állapotában tartalékban levő helyzeti energiára. Mihelyt azonban ezt a kifejezést a fényre vagy hőre is vonatkoztatjuk, első hallásra idegenkedünk attól. Vajjon lehetséges-e olyan erőknél a tartalékolása, mint a fény vagy a hő? Felfoghatjuk-e és eltehetjük-e holnapra annak a hőnek vagy fénynek egy részét, amely a magnéziumhuzal elégetése közben felszabadult? Nemcsak hogy eltehetjük, de el is tettük. Amikor ugyanis az égő magnéziumszálat bevezettük a szénsavas edénybe, ennek az energiának egy részét a szénsav felbontására, a szén kiválasztására használtuk fel. Ezt a szén elégetését pedig eltehetjük holnap, vagy örökre hagyhatjuk késői

utódainknak, hogy gyujtsák meg és használják fel azt a fényt és hőt, amelyet ma tettünk el, helyeztünk tartalékba, amikor azt a szénsav felbontására felhasználtuk.

Így hát a szén, vagy általában az égő test (a fa a tűzhelyben, a táplálék a testünkben), amely oxigént választott ki magából, de továbbra is törekszik az oxigénnel való egyesülésre, energiakészletet jelent. Mindazokban a kémiai folyamatokban, amelyekben az égésre nem képes test átalakul, energiakészlet halmozódik fel.

A végső megállapításunk ezek szerint az, hogy először a szénsav felbomlásához, a szén kiválasztásához külső erő felhasználása szükséges, másodsor, hogy az az erő, amely a folyamat során felhasználódik, tartalékalapotba megy át, helyzeti energiává lesz.

Ezzel a két tétellel kiegészítve ismereteinket, térjünk most már vissza a levélhez.

A levelekben hasonló folyamat megy végbe. Az égésre nem alkalmas szénsavból éghető keményítő, farost stb. keletkezik. Világos, hogy ez a folyamat csakis külső erőforrás közrehatásával mehet végbe.

És valóban, miként már többször hangsúlyoztuk, a szénsav csak fény jelenlétében bomlik fel, a levél működése azzal a pillanattal kezdődik, amelyben ráhull a napsugár.

A szénsav felbomlásában így tehát a napsugár közreható erő, mely maga közben elnyelődik, tartalékalapotba megy át, helyzeti energia lesz belőle. Ezt a jelenséget nem találjuk különösnek, ha a fény jelenségét összehasonlítjuk a hő jelenségével. Már láttuk, hogy a hő mozgás, amely a test részecskéit széjjelrázva, a test bomlását idézi elő. A fény is mozgás, még hozzá szabályszerű hullámos mozgás. Az alábbi durva hasonlattal megmagyarázhatjuk a fény felbontó hatását. Képzeljük el, hogy a víz sima felületén két könnyű test, két fagolyó úszik egymás mellett. Dobjunk a közelükbe egy követ a vízbe. A víz addig sima tükrén hullámgyűrűk keletkeznek. Valahányszor hullám érkezik az egymás mellett úszó fagolyókhoz, az egyiket a hullám a hátára veszi, a másik pedig a hullám-völgybe jut. A hullámmozgás így lassan elválasztja a fagolyókat egymástól, megszakítja kapcsolatukat. A hullámköröket előidéző kő szerepét a szénsav felbontásában a Nap tölti be, melyből szakadatlanul futnak a fényhullámok a végtelenbe térő körökkel. Az eltérés mindössze annyi, hogy a fény hullámai másodpercenként 290 000 versztet tesznek meg, kicsinyek és oly sűrűn követik egymást, hogy egy hüvelyknyi<sup>1</sup> távolság körülbelül 50 000 hullámot ölel fel.

A szinte elképzelhetetlen gyorsasággal váltakozó fényhullámok a levélben apró szén és oxigénatomokba ütköznek, amelyek szén-

<sup>1</sup> Egy hüvelyknyi a láb tizenketted része, kb. 0.025 m. — Szerk.

savvá egyesültek. Ezeket az atomokat a fényhullámok szétrázzák, megszakítják közöttük a kapcsolatot, s az oxigén felszabadul, a szén pedig nyomban új vegyi kapcsolatra lép, új vegyületet képez. Az első ilyen új vegyület, amelyet mikroszkóp segítségével felismerünk, a keményítő volt.

Már láttuk, hogy hogyan tartalékolhatjuk az égő magnézium melegét és fényét. Ugyanez valósul meg a napsugárral is. A napfényt felfogni és egyszerűen eltenni nem tudjuk. Termelünk ellenben növényeket, amelyeknek levelei a szén nemcsak kivonják a levegőből, hanem a szénnel együtt elnyelik és elraktározzák a szénben megőrzött napsugarat is. Az égő fában a nyári napsugár hője melegíti s a hosszú téli estéken ugyancsak a napsugár fénye ad világot a falusi ember fáklyájából, vagy a mi gyertyánk lángjából.

Mínt hogy a levél feladata elsősorban az, hogy a fényt felfogja, könnyen megérthetjük túlnyomóan vízszintes irányú növekedésének élettani jelentőségét. A levélre nézve ez a vízszintes kiterjedésű alak minden más alaknál előnyösebb. Némely növény fényelnyelő levélfelülete nyolcvanszor akkora, mint a növény által elfoglalt földterület.

Most már kellően értékelhetjük a levélben végbemenő folyamatokat. A növény e folyamatok során egyfelől átsajátítja egyik legfontosabb alkotó elemét, a szénét, másfelől a szervetlen anyagot szerves anyaggá változtatja át. Minden szerves anyag, ami csak a növényben vagy az állatban előfordul — mint mondtuk — közvetlenül vagy közvetve a levélből származik. Ugyanakkor a levélben lejátszódó folyamat az egész szerves világ létét összeköti a Nappal. A levél szinte közvetítő szerv a szerves világ bármiféle energiamegnyilatkozása és a legáltalánosabb energiaforrás, a Nap között. A növény által elnyelt napenergiakészletet ugyanis nemcsak maga a növény használja fel, hanem az egész állatvilág és az ember is. Hallottuk, hogy a csírázó mag felmelegszik. De honnan van ez a hő? Azoknak a szerves anyagrészeknek légzéséből, égéséből ered, amelyeket az anyanövény halmozott fel a magban. Az anyanövény ennek a szerves anyagnak a képzésére a napsugár energiáját használta fel — így hát a földben csírázó mag is annak a napsugárnak a melegét használja, amelyet az anyanövény annakidején elnyelt. Ugyanígy mi is, amikor szerves anyaggal táplálkozunk, egyszersmind elnyeljük az abban tárolt napsugarat és azt arra használjuk, hogy felmelegítsük, mozgásba hozzuk testünket.

A levél tehát, amelyben felismertük a természetnek azt az egyetlen műhelyét, ahol a természet mindkét birodalma részére a szerves anyag készül, a szén átsajátításának ugyanebben a folyamatában, ugyancsak a növény- és állatvilág számára, napsugarat is

tartalékol. Ilyen módon a levél az egész szerves világ erőforrása, a fény és a hő vezetője.

Az eddigiek során általánosan fejeztük ki magunkat: a levélben felbomlik a szénsav, a levél elnyeli a napfényt és így tovább. **Joggal** használhatunk azonban sokkal határozottabb kifejezést: minden más tápanyag átsajátításától eltérően, a szén átsajátításával kapcsolatban teljes határozottsággal megmutathatjuk azt a mikroszkópos tűzhelyet is, amelyen ez a folyamat lejátszódik. Ez a tűzhely a zöld klorofill-testecske. A megkövetelhető legnagyobb pontossággal meggyőződhetünk arról, hogy a klorofill-testecske valóban elnyeli a napfényt és hogy éppen ezek az elnyelt sugarak idézik elő a szénsav felbomlását, végül, hogy a szén átsajátításának első ténye a szénsav felbontása, utolsó ténye pedig a keményítő képződése. A zöld szín tehát, amelyet a klorofill-testesek sajátos fényelnyelése idéz elő, a növénynek nem véletlen tulajdonsága, hanem szorosan összefügg táplálkozásának leglényegesebb folyamatával. Nem az egész levél, hanem éppen csak a zöld színét adó klorofill-testecske közvetít — miként már említettük — az egész földi élet és a Nap között.<sup>1</sup>

Megismertük a zöld levél működését. Az a növény, amelynek hiányoznak a zöld részei, képtelen erre a működésre, képtelen a saját részére szénsavból szerves anyagot készíteni és kénytelen a más növény által előállított szerves anyagokból élni. Ilyenek például a *gombák*, akár azok, amelyeket általában ezzel a névvel szoktunk megjelölni, akár azok a mikroszkópos méretű gombák, amelyeket közönségesen *penésznek* nevezünk. Ezek csak olyan talajon élnek meg, amely kész szerves anyagot tartalmaz. Terméketlen minden olyan kísérlet, hogy a gombákat szerves anyagot nem tartalmazó környezetben neveljük, amint ezt a zöld növényekkel tettük. Idetartoznak az úgynevezett *élősdiek* is, amelyek szívószerveikkel behatolnak idegen növények szárába vagy gyökerébe és annak rovására táplálkoznak. Ilyen élősdű növény például a szárdorgó, amely a kender gyökerein jelenik meg; a herefojtó aranka,

<sup>1</sup> Az a mellőzhetetlen követelmény, hogy az előadások összes részei arányosak legyenek, nem engedni meg, hogy a növényélettan legérdekesebb fejezetét olyan terjedelemben fejtsük ki, amint az megérdemelné. Akik a növény életének ezzel a részével alaposabban meg akarnak ismerkedni, a tárgy részletesebb ismertetését az alábbi előadásomban találják meg: »*A növény mint erőforrás.*« Ebben az előadásomban népszerűen magyarázom »*A növény fényelnyelése*« című tudományos munkám és az ebben az irányban végzett további kutatásaim fontosabb eredményeit. Ezeket a tényeket még részletesebben tárgyaljuk egyik további előadásunkban, amelynek címe: »*A növény és a Nap energiája.*« (*Előadások és beszédek*) című gyűjteményes munkám, 1888, Moszkva, valamint különlenyomatban is. — *Szerző.*)

»*A növény mint erőforrás*« című előadást ebben a kötetben a 282. oldalról közöljük. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

amely rácsavarodik a komló, len vagy lóhere szárára, szívószőröket bocsát beléjük és végül teljesen kimeríti azokat. Mindezek a növényeken levelek helyett jelentéktelen, nem zöld színű levélpikkelyek vannak, vagy egyáltalában nincsenek levélszerű képződményeik. Ezek a növények önálló életre nem képesek, más növények nedveit szívják el; ezért általában *parazitáknak* nevezzük őket. Ezek a növények, de különösképpen a kis élősdű gombák valóságos csapások a földműves számára, mert gyakran egész termésüket megsemmisítik.

\* \* \*

Ilyen a levél jelentősége. A levél munkája adja a szükséges anyagot és erőt az egész szerves világ részére, ideértve az embert is. Az ember azonban mindennek ellenére évszázadokon keresztül csökönnyösen tagadta a levél jelentőségét és sem szükségessé, sem hasznos szervnek nem ismerte el.

Az évszázados igazságtalanságot, ezt a sötét hálátlanságot még a költők is hirdették dalaikban. Mindannyian ismerjük még gyermekkorunkból Krilovnak a »Levelek és gyökerek« című meséjét. Ez a mese a levél természetes jelentőségének tökéletes félreismerésén alapul. Krilov megrágalmazta a leveleket, s én mint botanikus, tehát a növények védőügyvédje, most felszólalok a levelek érdekében. Megkísérlem, hogy Krilov meséje helyett más mesét ajánljak. Az én mesém természetesen kevésbé költői, de a természethez hívebb, morálja pedig szigorúbb a Krilovénál. Krilov költeményének értelmét valamennyien ismerjük. A gyökerek azok, amelyeknek

*»Eldurvult keze miértünk dolgozik,  
Erőt ad és tisztelettel adózik,  
Hogy tudósok, művészek lehessünk,  
S szenvedélyeknek, álmoknak élhessünk.«*

A gyökerek az a »sötét nép«, amely

*»Igát húz az országúton, tűző napon  
Vagy a reményvesztett, sötét éjszakákon.«*

Azok pedig, akik »tudósok, művészek« lehetnek, levegőben és fényben élhetnek, szabad idejükben »szendélyek és álmok« hősei lehetnek: a levelek. Krilov csak a gyökerek fáradságos termelő munkáját ismerte el. A levelekben csupán pompázó, de haszontalan dísz látott. Létük egész hiúságát szemükre vetve, hálát követel a levelektől gyökereik iránt.

Helyes-e ez a felfogás? Mintha bizony a levelek, a valódi zöld levelek csak azért lennének, hogy susogjanak a lágy szellőben, s enyhe menedéket adjanak a pásztoroknak és pásztorlányoknak. Mintha csakugyan hálával tartoznának a gyökerek szolgálataíért: Tudjuk, hogy ez nem így van. Most már tudjuk, hogy a levél éppen úgy táplálja a növényt, mint a gyökér. A legutóbbi előadásunk során láttuk, mi lesz azokkal a levelekkel és növényekkel, amelyekből a gyökerek megtagadják a földből oly nehezen megszerezhető vasat. A továbbiak során azonban azt is meglátjuk majd, mi történik a gyökerekkel, ha a levelek tagadnák meg tőlük azt a megfoghatatlan táplálékot, amelyet a napsugár segítségével a levegőből szereznek meg.

Krilov levelei tehát nem hasonlítanak a valódi levelekre. A haszontalan levelekre utaló hasonlata megszegyenítő és sértő, a valódi levelekre illő hasonlat csak hízelgő lehet.

Ha azonban meg kell változtatnunk a mese tartalmát, megváltozik a morálja is. Mi az erkölcsi tanulsága a mi mesénknek? Ez a morál csak egyféle lehet. Ha magunkra vállaljuk a levelekkel való összehasonlítást, annak minden következményét is vállalnunk kell. Miként a leveleknek a növények erőforrásául kell szolgálniuk, ugyanúgy a tudósoknak is erőt kell szolgáltatniuk; a tudás erejét, azt az erőt, amely nélkül sokszor a legerősebb kéz is lehanyatlik. A levelek fényt közvetítenek a gyökerek felé; a tudós a tudomány világosságát közvetíti, azt a fényt, amely nélkül oly sokszor eltéved a ködben a legbecsületesebb törekvés is.

Ha viszont elhárítjuk magunktól ezt a rendeltetést; ha kialszik a fény, s helyén a sötétség uralkodik, vagy ha a költő képzeletbeli leveleihez hasonlóan a gyökerek szolgálatát nem fizetjük meg, ha csak kapunk, de magunk nem adunk, akkor nem vagyunk valódi levelek, nem nevezhetjük joggal leveleknek magunkat. Ha így lenne, a természet szótárából kevésbé díszes hasonlat illene reánk: gonuba, penész, élődsi . . . ezek a szavak, az ezekből font hasonlatok várnának reánk.

Íme a morál, amelyet a levelek megismeréséből levonhatunk. Nem a költői képzelet játéka által alkotott, hanem a valódi, az élő levelek morálja ez. Lehet, hogy ez a morál ridegebb, mint a költőé, de ez egyezik meg a természet törvényeivel.

## A SZÁR

*A szár másodlagos szerepe mint közvetítő a levelek és a gyökér között. — A szár alakja. — A szár belső szerkezete. — Sejt, rost és edény. — Három szövettípus: a táplálkozás, a szilárdítás és a szállítás szövetei. — Alapszövet és a rügyek. — Az egy- és kétszikű növények szárszerkezete. — Fatest és héjkéreg. — A víz áramlása felfelé. — Felemelkedésének útja és oka. — A gyökér szerepe és vízfelszívóképessége. — A levelek közreműködése és a víz elpárologtatása. — A levegőnyílások szerepe. — Az edények szerepe. — Az átteresztő pórusok jelentősége. — A nedv mozgásának sebessége. — A paraszövet jelentősége. — A levél által képzett táplálék mozgása. — E mozgás útja. — A rostacsövek és a tejedények jelentősége. — A mozgás okai. — A tápanyagok tartalékolása.*

Ha a növényt egyedül a táplálkozás nézőpontjából vizsgáljuk, csupán két igen fejlett felületet látunk, amelyek a növény kétfős környezetéhez alkalmazkodnak. Ez a két felület a gyökér és a levél felülete. Az első a szilárd környezethez, a talajhoz alkalmazkodik; ennek megfelelően elsősorban hosszában fejlődik, mert lehetőleg minél nagyobb számú talajrészecskével kell összeköttetésbe jutnia. A második ahhoz alkalmazkodik, hogy elnyelje a levegőrészecskéket és főképpen a növényre eső fénysugarakat; éppen ezért vízszintes irányban fejlődött. A szervek ilyen alakulása következtében — kedvező körülmények között — a talaj egyetlen részecskéje sem kerülheti el a gyökereket s egyetlen napsugár sem esik hiába a növényre.

Azok az anyagok, amelyeket a gyökér, illetőleg a levél felvesz, különfélék ugyan, de megegyeznek abban, hogy a növénynek valamennyire egyaránt szüksége van. Nyilvánvaló, hogy mindegyik szerv, valamint az egész növény élete érdekében szükséges, hogy a két szerv egymás között élénk anyagcserét tartson fenn. Az a szerv, amely ezt a két felületet összeköti, tartja a leveleket, közvetíti a levelek és a gyökér között: a szár. A szár mint közvetítő, nem annyira lényeges és szükséges szerv, mint a gyökér vagy a levél; ezért néha gyengén fejlett. Más esetekben viszont jól fejlett és ilyen-

kor láthatóan igen fontos szerepet visz, mert ő szabja meg a növény alakját, sőt a növényzet általános képét az adott termőhelyen. Mindannyian ismerjük például a nagy *útifűvet* (*Plantago maior* L.). Tölevélrózsa alakban elhelyezkedett nyalábnyi levele szinte laposan terül el a földön. Ennek a növénynek a szára alig fejlődött ki és levelei emiatt állnak oly közel egymáshoz. Alakra — bár méretei nagyobbak — hasonlít az útifűre az amerikai agáve (*Agave americana* L.) is, amely Dél-Európában szabadon terem és melegházainkban is díszlik. Az egész növény hatalmas levélcsoportokból áll, húsos levelei csaknem egy szazsény hosszúak; minden tíz esztendőben négy szazsény hosszú virágzati kocsányt hajt<sup>1</sup> s kinyílt virágai hatalmas kandeláberre<sup>2</sup> emlékeztetnek. Igen fejletlen a szára az egyik nagyon érdekes afrikai növénynek is. Képzeljünk el egy csaknem teljesen terméketlen sivatagot, amelyen itt-ott fatörzs vagy tuskóalakú, kissé tölcészerűen kiképzett, keresztben barázdált növény él, alig emelkedve ki a talajból. A növény barázdáinál mindkét oldalon, a tuskó peremétől számított egy-két arsin távolságra és olykor csaknem egy szazsény szélességben két lebernyeg terül el, amely a tövénél porcos, bőrszerű, zöldesszínű, a vége felé elbarnuló, elágazó, elszáradt szalagokra hasadozik és egészen összekuszálódik. A tölcészerű korongról helyenként apró száruk nyúlnak ki, kicsiny füzérvirágzatokkal, amelyek a tűlevelűek tobozaira emlékeztetnek. Ez a *Welwitschia*, amelyet az említett különös tulajdonságai miatt *csodálatos* melléknévvel illetnek (*Welwitschia mirabilis* Hook; *Tumboa Bainesii*). A leírt részek szerepe a következő: a fatuskó szinte belefűrődik a földbe és fokozatosan átmegy a gyökérbe. Ez a szár, amelynek magassága ritkán haladja meg a két lábat, noha a növény száz évig is él. A két lebernyeg egy levélpár, amelyet a növény egész életére megtart. A levelek végei fokozatosan elhálnak, de tövüknél folyton újránónek és így érik el a nagy életkort.

Ezekről az alacsony, csaknem szárnélküli növényekről most ugorjunk át a karcsú, magas pálmafákra, amelyeket *Endlicher* a növényvilág hercegeinek nevezett. Ezeknek a szára karcsú, egyenes oszlopként nyúlik a magasba, csúcsukat lombkorona díszíti. Úgy állnak, mint az oszlopok s állítólag az oszlopokat a pálmafákról mintázták. A pálmafa törzse azonban szintén csak egyoldalúan, hosszirányban fejlődött. A törzs igen arányos, karcsú, magas, de oldalirányban rendszerint nem ágazik el és vastagságban nem

<sup>1</sup> Melegházainkban sokkal ritkábban virágzik; ezért nevezik százéves aloénak s ezen a néven ismerik kertészeink is. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> Ókori gyertyatartó, illetőleg állvány a világítás és a füstölés céljaira. — *Szerk.*



növekszik. Egészen eltérő és fejlettebb szárformákat mutatnak a mi tűlevelű és lombos fáink törzsei. Ezek a fatörzsek egész életük folyamán vastagodnak, ágakat hajtanak és így hatalmas méreteket érhetnek el. Így például, ha a kaliforniai mammutfenyő (*Sequoia Wellingtonia gigantea* DC.) kérgét gyűrű alakban lehúzzuk, belsejében kényelmes tánctermet rendezhetnénk be; az Etnán levő hatalmas gesztenyefa odvában elérne egy ház; a majomkenyérfa (*Baobab*, *Adansonia digitata* L.) zöld függönysátra alatt — az utazók elbeszélése szerint — egész karavánok pihenhetnek meg. A mi erdeinkben nincsenek ugyan ekkora növénykolosszusok, de itt is találunk szemet gyönyörködtető hatalmas őslakókat, mint például a kunccevi tölgyfát... Hatalmas törzse, amelyet négy ember is alig foghat körül, büszkén emelkedik ki a mély szakadékból s terebélyes koronája a szakadék fölött összesereglett hársfák és nyárfák koronája fölé borul.<sup>1</sup>

Ekkora méreteket ölthet a szár rendeltetésének betöltése közben. Levélsátrakat alkothat, hatalmas zöld felületet teríthet szét, hogy felfogja a napsugarakat. Nyugodtan elmondhatjuk, hogy ezt a rendeltetését úgy tölti be, hogy az a célnak tökéletesen megfelel. Gondoljunk csak arra, milyen félhomály van tűlevelű erdeinkben fényes nappal is, s mindjárt belátjuk, hogy milyen célszerűen kell elhelyezkedniök a fenyőfák tűleveleinek, hogy jelentéktelen felületükkel az erdőre hulló fény legnagyobb részét felfogják. Az első pillantásra úgy tetszik, hogy a levelek a száron véletlenszerűen helyezkednek el; az alaposabb vizsgálat azonban ebben a tekintetben is csodálatos szabályszerűséget tár fel. Ezen a jelenségen — úgy látszik — először Leonardo da Vinci, a híres művész figyelme akadt meg, de tüzetesen csak ebben a században kutatták a botanikusok. A szabályos elhelyezkedés főként abban nyilvánul meg, hogy a levelek a száron nem takarják el, nem árnyékolják be egymást, de ugyanakkor nem is hagynak üres közeget, amelyeken keresztül átcsúszhatnak és kárba veszhet a napsugár. Arról, hogy ez valóban így van, nyomban meggyőződhetünk, ha az útifű levélsokrára tekintünk. A levelek sorban egymásután következnek úgy, hogy csak a kilencedik levél takarja be az első, azaz a legalsó levelet. Természetes

<sup>1</sup> ... Több mint negyven éve figyelem a kunccevi tölgyet és ezalatt csak egy fiatal botanikus akadt, aki bölcsen kijelentette, hogy ez a fa »semmi különöset nem jelent«. (»A természettudomány és földrajz« című folyóiratban.) A szép akvarellkép után ítélve, amellyel A. N. Sztrogonov 1913-ban ajándékozott meg, úgy látom, hogy ennek a moszkvai őslakónak a kérgét nagyobb részt már lehántották s így további élete veszedelemben forog. Iskoláinkban eleget tanítanak a »faültetésről«, de úgy látszik, nem tanítanak arról, hogy ha leszakítják a fa kérgét, azzal elpusztítják a csodálatos »természeti emlékeket«.  
— *Az orosz kiadás jegyzete.*

dolog, hogy minél távolabb van az egyik levél a másiktól, annál kevésbé árnyékolja azt. A lombzat azonban csak akkor fejlődhetik számottevő módon, ha a növény szára bizonyos magasságot elér. Ez a legtöbb esetben jelentékeny veszteséget jelent az építőanyagban, mert a szárnak ahhoz, hogy sok levelet tarthasson, meglehetősen szilárdnak és ellenállónak kell lennie. Vannak azonban növények, amelyeknek szára azt a célt, hogy sok levelet tartson és nagy magasságba felnyúljon, az építőanyaggal való takarékoskodás mellett is eléri. Ilyenek a kúszó növények. Vékony, zsenge száruk más növényeket vagy élettelen tárgyakat keres támaszul; ezekre csavarodva vagy kapaszkodva, nagy magasságba felkúsznak, jelentékeny levélfelületet hoznak létre, amelyet maguk nem lennének képesek hordozni. Ilyen a komló, az aranka, a repkény és a trópusi erdőket benépesítő az a sok más növény, amelyeket gyűjtőnéven *liánoknak* nevezünk.

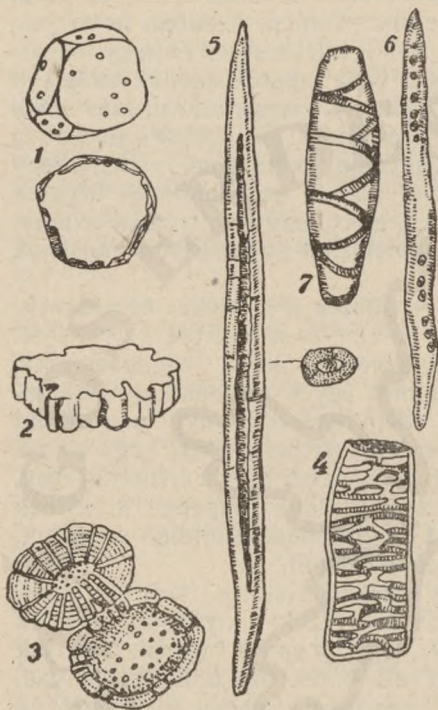
Így a szár feladata kettős: hordozza a leveleket és közvetíti a tápláló nedveket a gyökérből a levélbe és a levélből a gyökérbe. Feladataihoz kellőképpen alkalmazkodnia kell; rugalmasságra, szilárdságra és keménységre, valamint egyéb mechanikai tulajdonságokra van szüksége, ezenfelül edényrendszert vagy más utakat kell kialakítania, hogy a nedveket közvetíthesse. Azt, hogy a szár ezt a kettős feladatot hogyan oldja meg, csak akkor érthetjük meg, ha ismerjük a szár szerkezetét s még előbb magának a sejtnak a szerkezetét is, mert a sejt, mint az első előadásunkban mondtuk, az a téglá, amelyből a növényi épület felépül.

Vágjunk csak le egy vékony harántszeletet a fáról és rögtön látjuk, hogy apró nyílások járóják át; ezek a nyílások a sejtek üregei, ajtócskái. Azt már tudjuk, hogy mi van a sejtben, ismerjük a kémiai tartalmát. Most pedig a sejt, elsősorban mint építőanyag, mechanikai szempontból érdekel bennünket; ebben a tekintetben a főszerep a szilárd vázat, a sejtfalakat illeti, mert ezek adják meg az egész sejt alakját.

Szabad állapotban a sejt legtöbbször gömbalakú. Ha azonban más sejtekkel szövetté egyesül, a gömbalak sokszögletű testté módosul (mint a 36. ábrán az 7. rajz mutatja). A sokszögletű alak mégis amellettt tanúskodik, hogy a sejt élete folyamán minden irányban csaknem egyenletesen fejlődött. Ha a fejlődés főképpen kétirányú, két tengelyű, a sejt alakja lapos, táblaszerű lesz. Ilyen táblaszerű sejtek elsősorban a szervek felületén jönnek létre; de ilyen sejtekből áll például az a bőrszövet is, amely a növényt körülveszi (36. ábra, 2. rajz). Végül előfordul, hogy a sejt csaknem kizáróan egy irányban, egy tengely mentén fejlődik. Ebben az esetben nem sokszögletű vagy lapos alakú test, hanem *rost* (36. ábrán 5. és 6. kép)

keletkeznek. A fák farostjai túlnyomó részben ilyen megnyúlt rostsejtek. A farostok azonban nem a leghosszabb rostok. Olyan rostsejtek is vannak, mint például a fonáshoz használt lenrostok, amelyeknek hossza eléri átmérőjük ezerszeresét. Az ilyen

rostot valóságos méreteinek megfelelő arányokban aligha tudjuk ábrázolni, legfeljebb egyszerű vonalat húzhatunk. A sejt alakjának különfélesége nem merül ki a pusztán külső alakban, hisz maga a sejt is igen eltérő szerkezetű lehet: olykor egészen egyenes és vékony (a 36. ábrán az 1. és 2. kép), máskor végig megvastagodik és észrevehetően összetömörült koncentrikus rétegekből tevődik össze (36. ábra, 3. és 5. kép) és végül előfordul, hogy ezek a belső rétegek nem összefüggően, hanem csak helyenként vastagodnak meg és csodálatra méltó mintákat alkotnak. Így például, ha csak a sejt falon és kis helyeken hiányzik a megvastagodott réteg, akkor az egész sejt foltosnak tűnik. Keresztmetszetén észreveszszük, hogy a foltoknak csatornák felelnek meg, amelyek a sejt fal egész vastagságán átha-

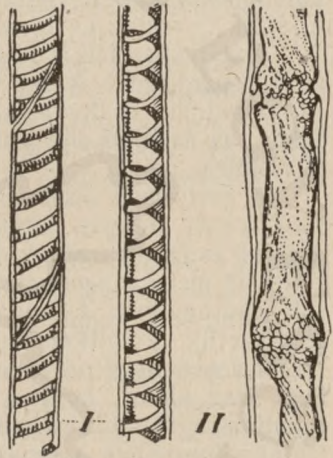


36. ábra

tolnak (36. ábra, 1. és 3. kép). Érdekes az is, hogy ezek a csatornák az egymás mellett levő sejteken mindig egybeesnek. Ezek a foltok — tudományos nevük *pórusok* vagy *gödörkék* — így olyan pontok, ahol az egymással érintkező sejteket csupán a vékony elsődleges sejt fal választja el egymástól. Az érintkező gödörkéken keresztül a sejtek nedvei könnyen diffundálnak. Néha még ez a vékony fal is hiányzik és ilyenkor a szomszédos sejtek üregei közlekednek egymással. Ha pedig a fal nagyobb része nincs megvastagodva, a fal belső oldalán mutatkozó helyi megvastagodások a legkülönbözőbb alakzatokban rajzolódhatnak ki: gyűrűs hálózat, csavarmenetszerűen felgombolyított szalag stb. (36. ábra 4. és 7. rajz) alakját ölthetik.

A mikroszkopizálók rendszerint különös kedvüket lelik abban, hogy a pórusok és megvastagodások alakzatait minél kimerítőbben leírják; a fiziológus számára azonban az önmagukban bármennyire érdekes formák keveset mondanak, ha nem ismeri azoknak értelmét és szerepét a növény életében. A különféle alakú megvastagodások tekintetében sajnos ez volt a helyzet és csak legutóbb kísérelték meg, hogy ezeknek a képződményeknek az élettani szerepét is megvilágítsák. Erre a kérdésre a későbbiek során majd visszatérünk.

A sejtképződmények sokfélesége a sejt általános alakjával és a sejtfalak szerkezetével még nem merül ki. A sejtek bonyolultabb szervekké, úgynevezett *edényekké* is egyesülhetnek. Az edények rendszerint úgy keletkeznek, hogy a sejtek függőleges sorában az elválasztó falak keresztülyukasztódnak vagy felszívódás folytán teljesen eltűnnek. Így például, ha a spirális megvastagodásokkal ellátott sejt sorban eltűnnek az elválasztó rekeszfalak (37. ábra I baloldalon), összefüggő cső, úgynevezett spirális edény (37. ábra I jobboldalon) keletkezik. Néha azonban, amint már említettük, az edényekké alakult sejtek függőleges sorából nem hiányoznak az elválasztó falak, s a sejtek több vagy kevesebb számú póruson keresztül érintkeznek. Érdekes alakja van az egyik ilyenféle edénynek, melyben a parányi pórusok pontjai rosta vagy rács alakjában helyezkedtek el; innen nevezik ezeket a sejteket *rostasejteknek*. A 37. ábra II rajzán egy egész sejtet láthatunk, amely két másik sejtrel egy edénnyé egyesül.



37. ábra

A sejt falakat parányi pórusok fúrják keresztül s a pórusok szita-szerűen helyezkednek el. A pórusokon keresztül a sejtek tartalma közlekedhetik egymással. Parányi keményítőszemcséket is láthatunk, amelyek behatolnak a pórusokba. Nemsokára meglátjuk majd, hogy ezeknek az edényeknek milyen nagy élettani jelentőségük van. A hosszú, egyenes csöveket alkotó edényeken kívül vannak szétágazó, egymáshoz csatlakozó edények is, amelyek együtt bonyolult csatornarendszert alkotnak. Ezek az edények rendszerint *fehér*, néha pedig sárgásszínű tejszerű nedvet tartalmaznak; innen az edények elnevezése: *tejedények*. A tej-

nedvet tartalmazó növényekre többé-kevésbé közismert példákat említhetünk ; ilyen a pitypang és a mák, amelyek a legkisebb sérülésre is fehér tejszerű nedvet választanak ki ; ilyen továbbá a gyermekkorunkból jól ismert fecskefű (*Chelidonium majus* L.), amelynek eltört leveléből vagy szárából sárgás nedv folyik. Idetartoznak az olyan mindennapos szobanövények is, mint az úgynevezett fikusz, amelyek néhány más trópusi növényhez hasonlóan bőséges tejnedvet szolgáltatnak, amely szárított alakban kaucsuk néven ismeretes. Ezeket a tejnedveket az egész növényben elterjedt, de főképpen a kérget és a leveleket behálózó, bonyolult edényrendszer tartalmazza.

A növény itt leírt elemi szerveit általában három csoportra oszthatjuk, amelyek ha nem is kizárólagosan, de túlnyomóan három különféle működést jellemeznek. A három csoport a következő : a sejtek, a rostok és az edények.

A sejtekben folyik le a táplálkozás, itt keletkeznek és alakulnak át a tápanyagok. A sejtek tartalmazzák a klorofill-testecskéket, itt rakódnak le tartalékként a fehérjeanyagok, a keményítő, a cukor, az ásványi sók kristályai stb. Ez a növény laboratóriuma és raktára.

A rostoknak elsősorban mechanikai rendeltetése van, tartalmuk kevés szerepet játszik. Jelentőségüket hosszában megnyúlt alakjuk és falaik szabják meg. Ezek a falak néha az üreg teljes kitöltéséig megvastagodnak (36. ábrán az 5. rajz). A legújabb kutatások tanúsága szerint ezek a mechanikai elemek mind anyaguk, mind szerkezetük, kiváltképpen pedig a szárban való elhelyezkedésük tekintetében meglepő tökéletességgel alkalmazkodtak működésükhöz, azaz ahhoz, hogy a növényrészek a szükséges szilárdságot, rugalmasságot stb. megadják s emellett az építőanyagot a lehető legtakarékosabban használják fel. A kutatások többek között azzal a bámulatra méltó eredménnyel jártak, hogy a rostanyag bizonyos vonatkozásban alig marad a vas mögött s hogy a rostok a mérnöki tudomány szabályai szerint helyezkednek el.

A harmadik csoportot az edények alkotják ; ezeknek rendeltetése elsősorban a nedvek szállítása.

Nézzük most már, hogy ezek a szerkezetükre és működésükre nézve annyira eltérő szervek hogyan helyezkednek el a növényben.

A sejtek úgynevezett *kötő- vagy alapszövetbe* egyesülnek ; ez a szövet adja meg minden egyes szerv kapcsolatát és alapját. A rostok az edényekkel együtt nyalábokat alkotnak, amelyek az alapszövetet átjárják. Ezt leginkább a leveleken láthatjuk. A levél közepén a két bórszövet között a levél »húsa« van, pontosabban az alapszövet,

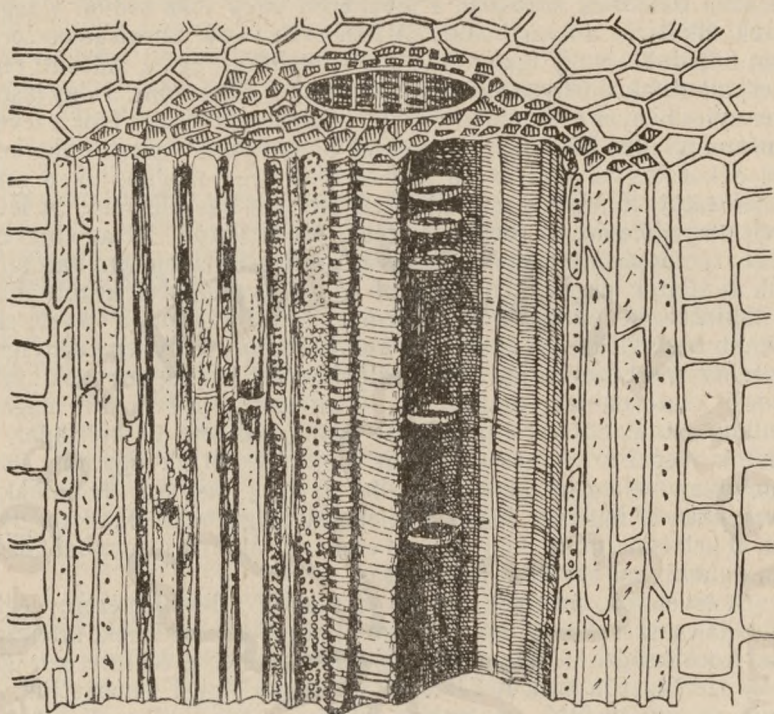
és ezen haladnak keresztül a levél erei, vagy más szóval »idegei«. Ezek alkotják a nyalábokat. A levélerek vagy párhuzamos sorokban haladnak, vagy igen bonyolult szövedéket, egész hálózati rendszert alkotnak, amelyen első tekintetre nehéz eligazodni. Hogy lássuk, mennyire kényes és finomműví ez a hálózat, áztassuk vízbe a levelet s utána minden különösebb nehézség nélkül távolítsuk el puha kéfével a két bőrszövetet és az alapszövetet. Így megkapjuk a teljes érhalózatot, amelyhez semmiféle csipke sem hasonlítható.<sup>1</sup> A levélerek megjelölésére az ideg kifejezés is használatos. Ez az elnevezés nem szerencsés, mert ezek a szervek szinte semmiben sem hasonlítanak az állatok idegeire. Ha már a növények és az állatok között ebben a tekintetben párhuzamot akarunk vonni, akkor a levélereket inkább hasonlíthatjuk az állatok csontvázához, s egyben edényrendszeréhez, mert ezek adják a levél szilárd vázát és a tápanyagok közlekedési csatornáinak rendszerét. Óvatosan fejeztem ki magam, amikor azt mondtam, hogy szinte semmiben sem hasonlítanak az állatok idegeire. A későbbiekben majd meglátjuk ugyanis, hogy van olyan vélemény, amely szerint az erek pályáin haladnak a növényben az ingerek. Ha ez a vélemény beigazolódna, akkor nyilván el kell ismernünk, hogy a levél erei és az állatok idegszájai között van valami, bár távoli hasonlatosság.

A levélerek, amelyek oly jól látszanak a levéllemezen, végighaladnak a szárazon is, bár ott nem olyan szembeszökőek, kifejezettek. A különböző növényeknek egyébként ebben a tekintetben igen eltérő szerkezetük van. A két legáltalánosabb típust ismertetjük. Az egyik az egyszikűek<sup>2</sup> csoportjára jellemző. Ide tartoznak egyebek között a gabonafélék, a spárga, a farostos növények közül pedig a pálma. A nyalábok az alapszövetben, ezéknak a növényeknek a szárában vannak elszórva, amint azt a keresztmetszeten is láthatjuk (39. ábra, 7. rajz). A 38. ábra<sup>3</sup> a kukorica szárából egy ilyen nyalábot az azt körülvevő alapszövettel együtt hossz- és keresztmetszetben erősen felnagyítva ábrázol. Az ábrán világosan látjuk, hogy a nyaláb különféle spirális, rosta és gyűrűalakú edényekből áll, míg a környező alapszövet sejtekből tevődik össze. Még szemléltetőbb ez a szerkezet az egyszikűek szárának metszetében. Ha a szárdarabot a levelekkel

<sup>1</sup> Ugyanígy kezelhetjük a növény bármely más részét is és ezekből a részekből félig átlátszó, szinte levegőcsokrokat (mint az angolok mondják: fantomokat) állíthatunk össze. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> Egyszikűeknek azért nevezzük, mert magjukban csak egy sziklevét van. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>3</sup> A kukorica szárának hossz- és keresztmetszete; egy edénynyaláb az azt körülvevő alapszövettel. A nagy nyílás a kicsinyek közepette igen nagy edény nyílása. Számos kisebb edény hosszában van elmesztve. — *Az orosz kiadás jegyzete.*



38. ábra

együtt előzetesen színes folyadékba — például fukszinoldatba — tettük, akkor a 39. ábra I. képéhez hasonlóan elmetszett nyalábok vörös foltokban emelkednek ki az alapszövet szintelen mezejéből.

Egészen más a szerkezete a tűlevelű és a kétszikű<sup>1</sup> növények szárának. Idetartoznak összes fajtaink: tölgy, hárs, jávor stb. Hogy ezeknek a száraknak a szerkezetét megmagyarázhassuk, bizonyos anatómiai részleteket kell tisztáznunk, mert ezek ismerete nélkül nem követhetnők a további magyarázatokat.

Akár a botanikusok, akár a nem botanikusok a fa metszészlapján három részt különböztetnek meg: háncstestet, fatestet, amely egy sorozat körkörös gyűrűből áll, valamint a bélrészt (39. ábra. III.). A botanikusok azonban tovább mennek és itt is felismerik az alap-

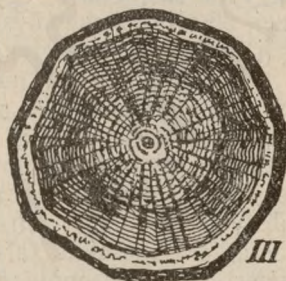
<sup>1</sup> Ezeknek magvaiban két sziklelél van. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

szövet és az edénynyalábok között azt az eltérést, amelyet az egyszikű növények szárában olyan határozott alakban láttunk meg.

Igyekezünk felderíteni ezt a körülményt. Az egyszikűek szárában az alapszövet van túlsúlyban. A nyalábok az alapszövetben rendszertelenül szanaszét helyezkednek el és az alapszövet minden nyalábát minden oldalról körülveszi.

Képzeljük most el, hogy a nyalábok szabályosan, gyűrűalakban helyezkednek el és emellett annyira fejlettek, hogy közöttük csak aránylag keskeny alapszövetrétegek maradnak. Az ilyen szerkezetű szár metszetét a 39. ábra *II.* képen láthatjuk.<sup>1</sup> A valóságban ilyen minden fás növényünk fiatal, egyéves szára. Az edénynyalábok gyűrűinek közepén ott látjuk az alapszövetet, a *fabelet*. A nyalábok körén belül lévő rétegből, a bélből, keskeny sugarak alakjában szétágazó alapszövetrétegek indulnak ki: az úgynevezett *bélsugarak*. A nyalábok gyűrűjén kívül az úgynevezett *elsődleges héjkéreg* található, amely nedvdús, rendszerint zöldszínű sejtekből áll. Ennek megfelelően a keresztmetszeten minden edénynyaláb, amelyet két bélsugár fog be, háromszög- vagy ékalakú, csúcsával a középpont felé fordult idom.

A nyaláboknak ez az ék alakja az élőlő szárban is megmarad. A 39. ábra *III.* képen látható sugárszerűen szétterjedő sötét sávok a bélsugarak, és a világos ékek az edénynyalábok. Az élőlő fatörzsben tehát a nyalábok vannak túlnyomó többségben. Az alapszövet a nyalábok közeiben csak keskeny, néha alig észrevehető bélsugarakban mutatkozik. Így hát a nyalábok és az alapszövet között nem jelentkezik olyan élesen a különbség, mint az egyszikűek szárában



39. ábra

<sup>1</sup> 39. ábra: *I.* a pálma vagy a spárga szára; *II.* kétszikű egyéves növény szárának vázlata; *III.* kétszikű növény fatörzse. Mindhárom kép keresztmetszetet mutat. — Az orosz kiadás jegyzete.



és azt rendszerint csak a mikroszkópikus vizsgálat tárja fel.<sup>1</sup> Fafajtáink szárának legnagyobb részét tehát edénynyalábok alkotják, de nem ez a legnevezetesebb sajátosságuk. Az egyszikűektől, például a pálmafától, eltérnek abban is, hogy száruk a növény életének egész folyamán szélességben is növekedik, amire az egyszikűek nem képesek. Ez az alábbi anatómiai berendezés eredménye. Mindenki tudja, hogy fás növényeink kérge élesen elválik a fatesttől, tavasszal, amikor a növény tele van nedvekkal, a kérget könnyen le is választhatjuk. A nem botanikusok azt hiszik és régebben a botanikusok is azt hitték, hogy a kéreg és a fatest között rés van s ez különösen tavasszal sűrű folyadékkal telik meg, amelyből az új növényrészek képződnek. A pontos mikroszkópos vizsgálatok azonban kiderítették, hogy nincs ilyen rés, hanem hogy a szárnak ebben a részében gyűrűalakban a nagyon kényes, igen nedvdús szövetréteg helyezkedik el, amely osztódással folytonosan új sejteket képez s amelyet éppen ezért *osztódó szövetnek*, *kambiumnak* neveztek el. Ezt a szövetet a 39. ábrán a *II.* képen sötét gyűrű ábrázolja. A gyűrű, mint látjuk, keresztben metszi az edénynyalábokat és a bélsugarakat, az egész szármetszetet pedig két részre osztja. A gyűrűn belül van a fatest, a gyűrűn kívül a hánctest. Ennek a gyűrűalakú, tömör osztódó rétegnek köszönhető, hogy a kétszikűek és a tűlevelűek szára vastagságban is tartósan növekedhet. Az osztódó szövet rétege az egyszikű növények szárából hiányzik, mert abban az edénynyalábok nem szabályos körben, hanem szabálytalanul elszórva helyezkednek el. Ez az osztódó réteg minden esztendőben néhány sor új elemet rak le mind a fatest, mind a hánctest oldalán (39. ábra, *III.* kép). A fatest azonban nagyobb mennyiségben képződik, s ezen az oldalon nagyobb számban és egyenletesebben rakódnak le az új sejtsorok; ezek alkotják a szabályszerűen változó évgyűrűket, amelyeket minden fa keresztmetszetében látunk.

Vizsgáljuk most meg, hogy milyen az anatómiai összetétele az edénynyaláboknak az osztódó szövet belső és külső oldalán, azaz a fatestben és a héjkéregben. A fatest rétegében csaknem kizáróan rostokat (amint azt a 36. ábra 6. képe mutatja) és pórusos, recés, spirális vastagodású stb. edényeket találunk; ezek az edények azonban sohasem rostaedények. A héjkéreg oldalán vastagfalú rostokat találunk (36. ábra 5. kép), amelyek a fent ismertetett kúszónövények rostjaihoz hasonlítanak, az edények közül pedig csak rostaedényeket látunk (37. ábra *II.* kép). A rostok a héjkéregnek azt a részét alkotják, amelyet *hánccsnak* nevezünk. A hánccs igen erősen kifejlődött; például a hársfában, amelynek

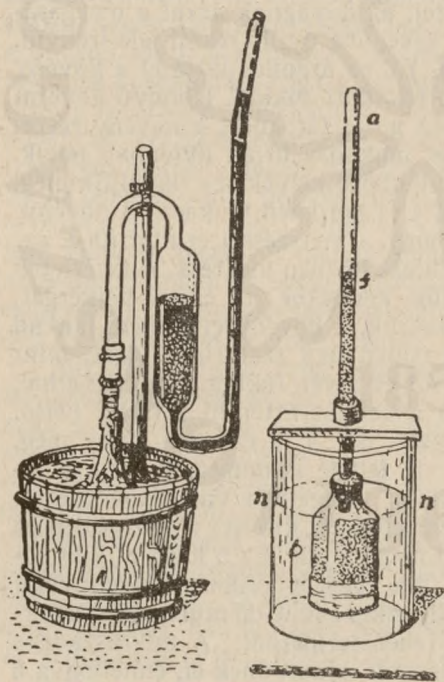
<sup>1</sup> Lásd alább az 55. ábrát is, amely a bélsugár által metszett nyaláb kis részletét mutatja. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

hánca sok közismert terméket szolgáltat (kötözőháncs, háncskötél, kosárfonóháncs). A háncstól kapta minden fenti szerkezetű rost a *háncsrost* elnevezést, bárhol fordul is elő. Az élelő fa keresztmetszete tehát a következő részekből áll: kívül van az *elsődleges héjkéreg*. Ebben a rétegben, amint később majd meglátjuk — idősebb korban különleges szövet keletkezik, amely a fát kívülről védi. Az elsődleges héjkéreg alatt edénynyalábok következnek, amelyek főként háncsrostokból és rostaedényekből állnak. Megkülönböztetésül ezt a részt *másodlagos kéregnek* nevezzük. A következő réteg az *osztódó szövet gyűrűje*, amelyen belül a középpont felé a *fatest* és végül egészen a közepén a *fabél* helyezkedik el. Elégedjünk meg ennyi anatómiai részlettel. Lehet ugyan, hogy ezek a részletek kissé unalmasak, különösen ilyen kényszerű, tömör tálalásban, ismeretük nélkül azonban nem foghatjuk fel a szár élettani szerepét. Az anatómiai részletek tisztázása után hozzáláthatunk kérdésünk megoldásához: hogyan közlekednek a növényi nedvek, hogyan megy végbe az anyagcsere a gyökér által felszívott és a levelek által képzett anyagok között?

Kezdjük az egyszerűbb esettel, az anyagnak azzal a mozgásával, amely a gyökértől a növény levegőbe nyúló részei felé irányul, az úgynevezett felfelé áramlással. Ez az áramlás látja el a növény minden részét vízzel és az abban feloldott sókkal. Könnyű követni azt az utat, amelyen a növényben a víz jár, mert a növény részei a megfelelő vízmennyiség hiányát lankadás útján nyomban jelzik. Messzük el az élő növény szárát különböző helyeken s figyeljük meg, hogy ennek hatásaképpen lankad-e és hol kezd lankadni a növény. Így könnyen megállapíthatjuk, hogy a metszéssel érintettük-e azt az utat, amelyet a víz felfelé áramlása közben megtesz. A kísérletek megmutatták, hogy elmetszhetjük keresztbe az egész héjkéreg, sőt ezt gyűrű alakjában le is vehetjük, a növény ettől nem lankad el és a levegőben levő részeihez éppen úgy szállítja a vizet, mint addig. Átmetszhetjük a belet is, sőt ez a vén fákban amúgy is elhal, üreg keletkezik a helyén, idővel a bomlás átterjed a fatest belső, vén farostokat tartalmazó rétegeire is: a fa ezt sem sínyli meg. Nyilvánvaló mindebből, hogy a víz felfelé áramlásának útja a fatestben, mégpedig annak fiatalabb rétegeiben van. Következtetésünket megerősíti egy másik, már említett kísérlet is, amelyben az edénynyalábokat színes festékekkel megfestjük. Ez a kísérlet különösen szemléltető abban az esetben, ha fehéren csíkozott levelű vagy fehérvirágú növényvel végezzük. Ilyenkor rövid idő múlva az egész érhalózat színezetten tűnik elő a fehér területből. A mikroszkópos vizsgálat szerint elsősorban az edények színeződnek el, ennél fogva a szárbán a víz felfelé áramlásának útját a rostokban kell keresnünk.

Mivel magyarázzuk azonban azt, hogy a víz néha óriási, mintegy 300 láb magasságba is felemelkedik? Ennek okát bizonyára mind a szárban, mind a gyökérben kell keresnünk. A szárban azért, mert a levágott szár vagy ág felszívja a vizet és tovább vezeti a levelek felé, a gyökérben pedig azért, mert ha levágjuk a szarát a gyökérnyaknál, sőt ha levágjuk a gyökér felső részét, a földben maradt gyökérrész metszési felületén víz szívárog ki. Ismerkedjünk meg elsősorban a gyökér metszészfelületén észlelt szívárgás jelenségével, mert nyilvánvaló, hogy ez az első oka annak, hogy a víz a szárba juthat. Régi tapasztalat, hogy néha a megsérült vagy keresztbe levágott szárból bőségesen folyik a nedv; ezt a jelenséget el is nevezték a növény *könnyezésének*. Úgy vélték azonban, hogy ez a jelenség csak bizonyos fanemekre jellemző és azoknál is csupán az év bizonyos szakában jelentkezik. Különösen erőteljes a könnyezés jelensége tavasszal az elmetezett szőlőtőkén. Az újabb kutatások azonban kiderítették, hogy ez a jelenség minden növényre jellemző, akár fás, akár füves növényről van szó és hogy nemcsak bizonyos évszakokban, de egész

évben jelentkezik, természetesen azonban különböző erővel. Abból a célból, hogy megállapíthassuk ezt a szívárgást és megmérhessük annak erejét, a következő eljárást kell alkalmaznunk: vágjuk el a szarát nem messze a földtől és illesszünk a szárcsonkra gumicső segítségével egy egyszerű üvegből való könyökcsövet, ha a szárból kiszivárgó vizet csak felfogni és megmérni akarjuk. Ha azonban azt is meg akarjuk állapítani, hogy a metszészfelületből milyen nyomással lép ki a nedv, akkor olyan alakú csövet kell a szárcsonkra illeszteni, mint a 40. ábrán baloldalon látható. Ez a kétszeresen meghajlított és részben vízzel, részben higannyal töltött üvegső lényegében manométer —



40. ábra

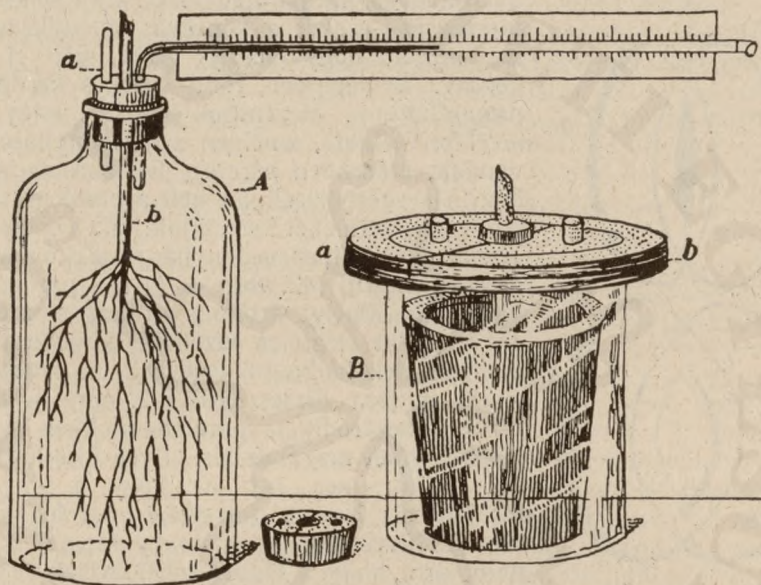
**nyomásmérő** — amellyel a növényből kiáramló nedv nyomását megmérhetjük. A csőbe beáramló nedv maga előtt tolja a higanyt, abból pedig, hogy a nyitott végű cső szárában milyen magasra emelkedik a higanyoszlop, következtethetünk a nyomás erejére. A kísérletek szerint a nyomás a vízoszlopot harminchat láb magasra is felemelheti, ami annyit jelent, hogy a víz olyan erővel nyomul ki a metszéspőlületből, hogy onnan akkor is kilépne, ha a metszéspőlületre harminchat láb magas vízoszlop nyomása nehezednék. Mi a magyarázata annak, hogy a gyökér ilyen magasra képes emelni a vizet? A kérdésre a következő kísérlettel válaszolunk. Vegyünk egy kis üvegburát (40. ábra, jobboldalon *b*), húzzunk a széles szájára egy hólyagot, a nyakába pedig dugjunk egy hosszú üvegsővel (*a*) ellátott dugót, s az egészet mártsuk olyan vízzel telt edénybe, amilyent az ábrán láthatunk. Ha a burában is víz lenne, a külső és a belső edényben lévő víz között semmiféle mozgás sem volna lehetséges, feltéve természetesen, hogy a víz szintje a külső és a belső edényben egyenlő ( $n-n$ ). Különben a víz saját nyomásának hatására keresztülhatolna a hólyagon abból az edényből, amelyben a víz szintje magasabb, az alacsonyabb vízszintű edénybe. Képzeljük el azonban, hogy a belső edényben nem víz, hanem olyan anyag oldata van, amilyen a növényi sejtekben is előfordul, például cukoroldat, amelyről tudjuk, hogy bőségesen tartalmazza a répa gyökere. Ebben az esetben olyan jelenségnek lennénk tanúi, amely első pillanatra meglepne, mert úgy vélnénk, hogy ellentmond az imént tárgyalt jelenségnek, nevezetesen annak, hogy a két edényben lévő víz a hárt्यान keresztül egyenlő szintre törekszik. A cukoroldat, amelyet megfestettünk, hogy a kísérlet annál szemléltetőbb legyen, gyorsan emelkedni kezd az üvegsőben és hamarosan jelentékeny magasságot ér el (*f*). A jelenség magyarázata az, hogy a víz és a cukoroldat a diffúzió törvényei szerint egymás felé törekszenek, az egyik a belső edény irányába, a másik onnan kifelé. A víz részecskéi azonban mozgékonyabbak, mint a cukoroldat részecskéi. A víz gyorsabban hatol be a cukoroldatba, mint a cukoroldat a vízbe, ezenfelül a víz könnyebben áthatol a hólyagon is, mint a cukoroldat. A két ok együttes hatásának eredményeként a belső edény felé az áramlás sokkal gyorsabb lesz, mint a cukoroldat kiáramlása s ez a magyarázata az első tekintetre érthetetlen, a hidrosztatikának ellentmondó jelenségnek: a vízoszlop a csőben való emelkedésének. Ugyanez lenne az eredmény, bár nem ennyire szembeszökően, ha a belső edénybe cukoroldat helyett fehérjét, mézgát vagy valami más olyan anyagot tartalmazó oldatot helyeznénk, amely a növényi sejtben előfordul. A jelenség okait tehát itt is a diffúzióra kell visszavezetni, de a diffúziót némiképpen bonyolította a hártya hatása. Ezt a jeliséget *ozmózis*-

nak nevezzük. A jelenség sebessége — egyéb feltételek azonossága mellett — attól is függ, hogy a két folyadék mekkora felületen érintkezik. A mi esetünkben ez a felület a hártáival bevont buranyílás. Tegyük fel, hogy készülékünk a gyökérszövetekhez, a gyökérszörökhöz hasonlít. Emlékezzünk csak vissza, hogy milyen hatalmas felületen érintkeznek a gyökérszörök a talaj nedvességével és akkor könnyen beláthatjuk, hogy milliányi hasonló, bár mikroszkópos méretű készülék együttes hatásából milyen eredmény származhatik. Minden sejt mohón szívja magába a nedvességet és belső falán keresztül — amely feltehetően vékonyabb a külsőnél — benyomja az edényekbe, ezek pedig tovább, felfelé nyomják a gyökéren keresztül a szárba.

Így magyarázzuk a gyökér vízszívőképességét. Ez a magyarázat azonban önmagában bizonyára nem elégséges annak megértéséhez, hogy a víz a legmagasabb fák csúcsáig is felemelkedik, ha nem tudjuk, hogy a lemetszett és vízbe mártott szár maga is képes a vizet felszívni. A szár vízszívőképességének megértéséhez azonban meg kell ismerünk a levél szerepét ebben a jelenségben. Ezt szemléltető módon mutatja be az alábbi könnyű kísérlet. Vágjunk le egy levéllel borított ágat például a nyírfáról s a levágott végénél mártsuk vízbe. Ha kivesszük az ágat, a vágás felületén egy vízcseppet látunk, de alig félperc vagy negyedperc múlva a csepp már felszívódott. Ha az ágat ismételten vízbe mártjuk, ismételten észleljük, hogy a csepp milyen gyorsan eltűnik. Mindez azt mutatja, hogy az ág milyen mohón issza fel a nedvességet.

A gyökér felhajtja a vizet a szárba s a szár mohón felszívja ezt és szállítja tovább. Hová lesz azonban a víz, ha már a növény minden része telítődött? Nyilvánvaló, hogyha a víz az egyik végén állandóan bejut a növénybe, a másik végén ki kell onnan kerülnie. Kivételes esetekben ezt jól meg is figyelhetjük. Ha meleg és nedves május vagy júniusi estén napszállta után lehajolunk a földre, hogy megnézzük a tavaszi gabonával bevetett mezőt, azt látjuk, hogy az egyenesen felnyúló fűszálak végén kerek cseppek ülnek. Ha kellő türelemmel megfigyelünk egy ilyen levelet, azt tapasztaljuk, hogy a cseppecske állandóan növekszik s végül legördül; helyében a hegyesebb levélcsúcson újabb csepp jelenik meg és ez így folytatódik tovább. Hasonló jelenséget figyelhetünk meg, ha zabot vetünk egy olajmécses üvegébe és azt szorososan letakarjuk egy üvegburával. A levelek csúcsán folytonosan vízcseppek jelennek meg s azok hamarosan eltűnnek, ha az üvegburát leemeljük. Egyes növények még határozottabban mutatják ezt a jelenséget és tekintélyes vízmennyiséget választanak ki. Az anatómiai vizsgálat megmutatta, hogy ezekben a levelekben a vízkiválasztás helyein különleges nyílások is vannak. A cseppek alakjában történő vízkiválasztás azonban

ritka jelenség s leginkább csak a mondott körülmények között fordul elő, nevezetesen akkor, ha a légköri levegő vízpárával telített. Állandóan és hatalmas mennyiségben választanak ki azonban vizet a növények láthatatlan vízpára alakjában. Az alábbi megközelítő számítások alapján megállapíthatjuk, hogy mekkora mennyiségű vizet párologtatnak el a növények. Így például egy gyeszjatyina<sup>1</sup> zab a nyár folyamán 100 000—200 000 pud<sup>2</sup> vizet párologtat el, egy gyeszjatyina kevert fű pedig mintegy 500 000 pudot.



41. ábra

Az elpárologtatott vízmennyiség meghatározására különféle módszereink vannak. Lássuk az egyiket, amelyik a legegyszerűbb, s amellet igen pontos. A növényt azzal a cseréppel együtt, amelybe elültettük, üveg- vagy bádogedénybe tesszük és ezt az edényt üveg-, illetőleg bádoglappal letakarjuk s a fedélbe fúrt lyukon keresztül a növény szárát kivezetjük (41. ábra). Ilyen módon megszüntettük a talaj és a cserép felületének párologását. A készülék súlyát időnként megmérjük, mert tudjuk, hogy a súlyvesztés csak a növény párologásának eredménye lehet. Vagy vegyünk két egyenlő nagyságú

<sup>1</sup> Gyeszjatyina = régi orosz földterületmérték; 1,0925 ha. — Ford.

<sup>2</sup> Pud = régi orosz súlymérték; 16,38 kg. — Ford.

üvegburát — amelyeknek kerülete kisebb, mint a megfigyelni kívánt levél felülete — s szorítsuk a két üvegbura közé a levelet (természetesen úgy, hogy a levelet szét ne nyomjuk, de a burák zsírral bekent élei egymáshoz simuljanak) és a következő kísérletet végezzük. Mindegyik bura alá kis edénybe valami olyan anyagot teszünk, amely mohón elnyeli a vízgőzt, ilyen például az a kénsav, amelyet



42. ábra

télen a kettős ablakok közé teszünk, hogy az ablaktáblák ne „izzadjanak“. A kénsav elnyeli a levélből kipárolgó vizet. Ha időnként megmérjük ezeket a kénsavas edénykéket, megtudjuk, hogy mennyi vizet nyelt el a kénsav. Ilyenképpen több érdekes kérdést megoldhatunk. Megtudjuk például, hogy a levél fonákoldala, amelyen a levegőnyílások<sup>1</sup> vannak, erősebben párolog. Ez arra mutat, hogy a levegőnyílásokban kell a párologtatás szabályzókészülékét keresnünk. Ha a növény vízzel túltelített, a levegőnyílás résalakú szája szélesen kitarul (42. ábra — b) s a párologás fokozódik. Mihelyt azonban a túlságos párologás, vagy az elégtelen vízellátás következtében a levelek lankadni kezdenek, a levegőrések nyílása összeszűkül (42. ábra — a), csaknem bezáródik, a párologás csökken és a növény ismét magához tér. Ilyen kísérletekből tudjuk meg azt is, hogy a fényes borszövetű levelek kevésbé párolognak, mint a füves levelek, s magyarázatot kapunk arra, hogy a fényes bőrű levelek miért viselik el könnyebben a forró, száraz éghajlatot. Végül az ilyen kísérletek megtanítanak

arra is, hogy ugyanazon növényen a fiatal levelek sokkal gyorsabban párolognak, mint az idősebbek és ez a tény magyarázza meg, hogy a tápnedvek miért áramlanak inkább a fiatalabb, növekedésben lévő szervekhez.

Most, hogy láttuk, mekkora a párologó levél vízfogyasztása, térjünk vissza ahhoz a kérdéshez, hogy milyen a víz mozgásának mechanizmusa a szárban. Ez a kérdés az utóbbi esztendőben valóban az érdeklődés középpontjába került, mégsem állíthatjuk, hogy teljesen megoldották volna. Magyarázat van ugyan bőven, de éppen a magyarázatok nagy száma bizonyítja, hogy egyik sem egészen tökéletes. Mi most csupán azokat a tényeket nézzük, amelyek kísérletileg

<sup>1</sup> L. az V. előadást. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

be is bizonyíthatók. Mindenekelőtt megoldásra vár az a kérdés, hogy milyen útvonalon közlekedik a víz: az edények üregeiben vagy falaiban, vagy az edényalakú sejtek falában vezet-e az útja. Leginkább kézenfekvő az a feltevés, hogy a víz az edények üregeiben közlekedik, mert ez a legtermészetesebb útvonal, hiszen az edények sűrű csatornahálózatot alkotnak. Ezzel a természetes feltevással szemben felhozták, hogy az edények rendszerint nincsenek nedvvel telítve, hanem csatornáikban a folyadékoszlopokkal váltakozó légbuborékokat tartalmaznak. Manapság azonban éppen a levegő jelenléte — amellyel pedig a víznek az edényekben való közlekedését kívánták cáfolni — oldotta meg a víz közlekedésének kérdését. Az edényekben lévő levegő ugyanis — miként a vizsgálatokból kitűnt — rendszerint erősen ritkított állapotban van és éppen emiatt minden edény úgy működik, mint egy-egy szivattyú. Ezt a tényt a következő egyszerű kísérlettel igazolhatjuk. Állítsuk egy növény szárát higanyos edénybe úgy, hogy egy része a higany szintje alatt legyen és messzük el a szárat a *higany szintje alatt*. Ha azután ebből a szárból hosszmetseteket készítünk, azt látjuk, hogy a higany igen finom szálak alakjában behatolt az edények üregeibe. Legjobban akkor figyelhetjük meg ezt a jelenséget, ha a mikroszkopikus készítményt ráeső fényben vizsgáljuk — nem mint rendszeren, áthatoló fényben — mert így az edényekben ugyanolyan világosan látjuk a higanyszálak csillogását, mint a hőmérő hajszálcsovében.<sup>1</sup> Gondoljunk vissza arra, hogy a higany nem emelkedik magától a hajszálcsovén, mint a víz, hanem csak nyomással lehet a csőbe belekényszeríteni, s hogy a nyomásnak annál nagyobbak kell lennie, minél szűkebb a cső keresztmetszete. Az edények átmérője azonban sokkal kisebb, mint azoknak a hajszálcsovéknek az átmérője, amelyekkel a fizikai kísérleteket rendszerint végzik. Ezen elgondolások alapján következtethetünk és meg is mérhetjük, hogy mekkora az edényekben a levegő ritkítottsága, amely a higany felszívását okozza. Ezzel kapcsolatban önkéntelenül is két kérdés merül fel: mi az oka annak, hogy az edények ritkított gázai nem jutnak egyensúly állapotba a külső légkörrel és mi okozza a ritkítást? Az első kérdésre egyszerű a válasz. Az edények belső légkörét áthatolhatatlan szövetanyag tökéletesen elválasztja a növénynek azoktól a külső részeitől, amelyek közönséges nyomású légköri levegőt tartalmaznak és így magától a külső légkörtől is. Elegendő azonban, ha bemetszés útján a szerv középső részeit a külső légkörrel érintkezésbe hozzuk, a belső és külső légkör között az egyen-

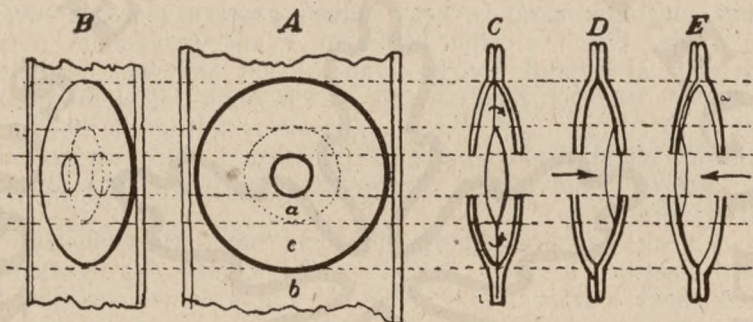
<sup>1</sup> Különösen alkalmasak erre a célra az utóbbi időben igen elterjedt kézi mikroszkópok, amelyeket az előadások alkalmával a hallgatók kezébe adhatunk. Ezek a mikroszkópok homorú fémtükörrel vannak felszerelve, s az ezekről a tárgyra eső fény igen világos képet ad. — *Az orosz kiadás jegyzete.*



súly nyomban helyreáll. Azért kell tehát a szárat higany alatt el-  
metszenünk, mert ha a légköri levegőben vágnánk el és csak ezután  
dugnánk nyomban bármilyen gyorsan is higanyba, nem érnének el  
eredményt. Ha azonban a levegőben levágott és azután a higanyba  
dugott szárvéget bizonyos ideig ott hagyjuk, akkor azt látjuk, hogy a  
higany emelkedni kezd az edényekben. Ez a kísérlet az előbb fel-  
vetett második kérdésre, nevezetesen arra ad választ, hogy mivel  
magyarázhatjuk a szárban a ritkított levegő keletkezését? A magya-  
rázat a következő. A levelek vizet párologtatnak, s ennek követke-  
ztében a levélsejtekben levő anyagok oldatai koncentráltabbakká vál-  
nak. A telítettebb oldatok, mint az előbb már láttuk (40. ábra, jobb-  
oldalon), újabb vízmennyiséget vonnak el a szomszédos sejtekből és  
így sejtről sejtre vizet merítenek az edényekben lévő víztartalékból.  
Ha azonban a víz ilyen módon eltávolítódik az edényekből, helyét a  
vízzel kevert légbuborékok foglalják el, ezeknek a térfogata megnő,  
másszóval a levegő megritkul. A levegő megritkulása viszont azt  
eredményezi, hogy az edények újabb vízmennyiséget szívnak fel a  
gyökér sejteiből. Ennek a következtetésnek helyességét kísérleti  
úton közvetlenül bizonyíthatjuk. Ha a levelekkel ellátott szár végét  
olyan hegyesszögben metsszük el, hogy a metszészlap eléggé áttetsző  
legyen és azt egy vízcseppben mikroszkóp alá tesszük, közvetlenül  
meggyőződhetünk az alábbi tényekről. Ha a vízcseppbe apró porsze-  
meket keverünk, láthatjuk, miként igyekeznek ezek az edények  
réseibe s haladnak ott tovább a szár hosszában. Az edényekben meg-  
figyelt buborékok kisebbek lesznek, ha a levelek párologtatása  
gyöngül vagy térfogatukban megnövekednek (tehát a levegő megrit-  
kul), amikor a levelekben a párologás erősödik. Ezek szerint manap-  
ság a sok esztendei kétkedés ellenére már nem lehet többé kétséges,  
hogy az edények látják el a növényben a vízvezetés feladatát.

Az edények szerepével kapcsolatban az utóbbi időben meg-  
magyarázták szerkezetük egyik anatómiai sajátosságának jelentő-  
ségét is. Az edényekben és az *edényszerű sejtekben* (tracheidákban)  
úgynevezett *vermes megvastagodások* (torus) fordulnak elő, amelyek-  
nek szerepével a legkiválóbb növényanatómusok foglalkoztak.  
A vermes megvastagodásokat különösen túlevelű fáinkon figyelhet-  
jük meg. Készítsünk ebből a célból a gyufaszál felületéről finom met-  
szetet és vizsgáljuk meg mikroszkóp alatt. Ha a metszetet úgy készít-  
jük el, hogy az a törzs keresztmetszetének síkján tengelyirányban  
halad keresztül (radiális metszet), észrevesszük, hogy az edényszerű  
rostok falán számos kettős köröcske van (43. ábra *A*; *a* és *b*). Alapo-  
sabb vizsgálat után egy kevésbé feltűnő harmadik köröcskét (*c*) is  
látunk az *a* és *b* körök közepén. Ha azonban a metszet nem fekszik a  
törzs keresztmetszetének síkjában, hanem többé-kevésbé hegyes

szögben metszi azt, a kép nyomban megváltozik. A vermes megvastagodást így nem »szemtől szemben«, hanem »háromnegyedes« képben látjuk (B) és meggyőződhetünk arról, hogy a belső (kis) körből mindig kettő van. Ahhoz, hogy megmagyarázhassuk a vermes megvastagodások szerkezetét, még egy harmadik metszetre is szükségünk van, amely az A metszethez derékszögű síkban fekszik. Ez a metszet oldalnézetben ábrázolja a vermet (C, D, E). Ez utóbbi metszet mindent megmagyaráz. Kiderül, hogy a két szomszédos sejt közös fala ezen a helyen lencsealakú üreget képez, amelynek kerülete megfelel a verem külső körének (b).<sup>1</sup> Ez a lencse olyan, mintha két óraüveget szembeállítottunk és a középpontjukba lyukat (a) fúrtunk volna. Az A rajzon ezek a lyukak egymás alatt fekszenek úgy, hogy



43. ábra

vetületük egy belső körbe (a) esik. A B rajzon, minthogy ferde szög-ből nézzük, mind a két kör látható. A lencsealakú üreget igen finom, c és b között elhúzódozó hártya (C) osztja ketté, s ez a hártya a közepe felé korongalakban megvastagodott (C).

Ennek a korongnak a széle csillan át a mindenkor üvegszerűen átlátszó sejtfalon, s adja meg a középső kör rajzát (c A-ban és B-ben). Most, hogy ismerjük ezeknek a vermeknek a szerkezetét s tudjuk azt is, hogy a velük felszerelt elemek a szivattyú szerepét töltik be, könnyen megfejtethjük a vermek rendeltetését is: a vermek szelepek, még hozzá igen tökéletes szelepek. Ha az edényben alacsony a nyomás, a víz keresztülhatol a vékony hártján (a nyíl irányában C mellett). A hártya ellenállása a víz nyomásával szemben ilyenkor jelentéktelen. Azt a vízcseppet, amely a hosszú sejt felső osztás-

<sup>1</sup> Az ábra megfelelő részeit pontozott vonallal rajzoltuk meg. — Az orosz kiadás jegyzete.

részéhez érkezik, csaknem nyomban követi ugyanilyen csepp kiválása az alsó osztásrészben is. Az ilyen finom hártya azonban könnyen elszakadhatna olyan nyomás hatására, amilyent az edényekben észlelhetünk. Nagyobb nyomás esetében azonban a vékony hártya begömbül és a közepén lévő korongalakú megvastagodásával — a nyomás irányához képest — a verem egyik vagy másik külső nyílására tapad (miként azt a *D* és *E* rajzon a nyilak mutatják). Ilyen módon a szegélyezett verem-megvastagodás igen célszerűen berendezett kettős szelep, amely alkalmazkodik az edényben fellépő különböző nyomásokhoz. Ezek a szelepek teszik lehetővé, hogy a víz az egész növényben egyenletesen legyen elosztva.

Már tudjuk, hogy a víz az edényeken keresztül közlekedik és ismerjük a víz mozgásának okát is; kíséreljük meg ezeken kívül annak meghatározását is, hogy milyen gyorsan mozog a növényben a víz. Ebből a célból helyezzük a megvizsgálandó növény ágát vízbe és tegyünk a vízbe olyan anyagot, amelynek jelenlétét a növényben könnyen észrevehetjük. Ha bizonyos idő eltelte után az ágat keresztbe apró szeletekre vágjuk, megállapíthatjuk, hogy a víz a kísérleti idő alatt milyen magasra emelkedett. A leggyorsabb mozgás, amelyet ilyen módon megfigyeltek, körülbelül egy szazseny volt egy óra alatt.

A levelek vízpárologtatása állandóan fogyasztja a növény földfeletti részeiben a vizet. A kipárolgás a legfőbb oka ilyenképpen annak, hogy a szárból és a gyökérből újabb vízmennyiségnek kell érkeznie. Felmerül azonban az a kérdés, hogy miért tulajdonítjuk éppen a levélnek ezt a működést és miért nem a szárnak. A kérdésre a szár anatómiai szerkezete ad választ. A szárat csak igen fiatal korban takarja olyan bőrszövet, amely a levél bőrszövetére hasonlít. Ez a bőrszövet hamarosan elhal, megrepedezik, lehull, s alatta, a szárnak azon a részén, amelyet elsődleges héjkéregnek neveztünk, úgynevezett *paraszövet* keletkezik. Azért nevezzük paraszövetnek, mert ez a réteg az egyik tölgyfaféléén, a paratölgyön (*Quercus suber* L.) igen fejlett és ez szolgáltatja azt a parafát, amelyből a dugó készül. A paraszövet szerkezete és külső alakja igen különböző. A paratölgy esetében például néhány ujjnyi vastag, összefüggő réteg, a nyírfán viszont csak vékony, lemezszerű kéreg. Bármilyen alakú és szerkezetű is a paraszövet, mindenesetre vízhatlan. A paraszövetnek ez a tulajdonsága azt eredményezi, hogy a növény szára vízhatlan öltözetbe van burkolva s védett minden fölösleges vagy éppen ártalmas párologtatással szemben. Érdekes, hogy paraszövet keletkezik olyan esetekben is, amikor a növényi szervet erőszakkal csupasszá teszik, s az ennek következtében rendellenesen párologtat. A paraszövet megszünteti ezt a kóros állapotot. Így például a megsebzett, csu-

passzá tett növényi szerv, a védő réteg nélkül maradt belső szövetrészek bizonyos idő elteltével paraszövettel vonódnak be.

A gyökér tehát a vizet a szárba nyomja, a szár elvezeti a levelekhez és a levelek elpárologtatják a levegőbe. A növény tevékenysége csak akkor tökéletes és szabályszerű, ha mindezek a működések egyszerre és egyenletesen mennek végbe. Megbomlik az egyensúly, ha a növény több vizet párologtat ki, mint amennyit kap; ilyenkor a növény elhervad. Megbomlik az egyensúly, ha a növény nem tudja elpárologtatni mindazt a vízmennyiséget, amit kapott; ilyenkor a növény cseppek alakjában kezdi kiválasztani a vizet. Ezt a tünetet figyelhetjük meg meleg, nedves levegőjű nyári estéken, amikor a légkör annyira telített vízpárákkal, hogy a levél vízpárologtatása csaknem megszűnik.

\* \* \*

Most pedig vizsgáljuk meg a tápanyagok másik mozgását is, amely nem a levelek felé irányul, hanem ellenkezően, a levelekből indul ki és a növény valamennyi része, így a gyökerek felé is tart. Az, hogy ilyen irányú mozgás van, *a priori*<sup>1</sup> is nyilvánvaló; a levelekben készül ugyanis az a szerves anyag, amelyből a növény valamennyi része felépül. E mozgás valóságát különben a következő érdekes kísérlettel is bizonyíthatjuk. Vágjunk le egy fűzfavesszőt és tegyük vízbe. Néhány nap vagy hét múlva a vessző alsó metszési felületén kinövések, dudorok keletkeznek, s a dudorokból gyökerek bújnak elő. Ezek a gyökerek szükségképpen csak olyan anyagokból keletkezhettek, amelyek a levelekből jöttek vagy már úton voltak onnan a szár felé. Próbáljuk meghatározni azt az utat, amelyen ezek az anyagok az újonnan nőtt gyökerekbe kerültek. Ehhez az eljáráshoz ugyanazt a módszert alkalmazzuk, amelyet a felfelé áramlás meghatározásánál használtunk. Vágjuk be egy ágon a kérget gyűrűalakban egészen az osztódó rétegig (kambiumig) úgy, amint azt a 44. ábrán láthatjuk, s tegyük ezt az ágat néhány hétre vízbe. Meglátjuk, hogy ebben az esetben a



<sup>1</sup> Tapasztalattól független. — Szerk.

44. ábra

gyökerek nem a szár alsó részén, hanem a gyűrűs bemetszés felső részén keletkeznek. A kísérletből nyilvánvaló, hogy a kéreg átmetszésével megszakítottuk a szár mentén lefelé haladó tápanyag útját.

A kéreg gyűrűs körülvágása tehát egyáltalán nem árt a felfelé haladó nedvek áramlásának, de végleg útját állja az ellenkező irányba, a gyökerek felé haladó nedveknek. A gyökérből jövő nedvek útja — ezek szerint — a fatest edényein keresztül vezet, a levelekből jövő nedvek viszont a kéregben közlekednek. Következtetésünk helyességét másik kísérlettel is bizonyíthatjuk. Válasszuk ki egy olyan növénynek az ágát, amelyen a termés éppen megkötődött. Vágjuk gyűrűsen körül az ágat azon a részén, amely a termés a legközelebbi levelektől elválasztja: a termés fejlődése megáll. Ha tehát gyűrűsen körülvágjuk azt a kérget, amely a termést vagy a gyökereket a tápláló levelekkel összeköti, hamarosan elvesztik fejlődésük lehetőségeit. Nem lehet kétséges ennél fogva, hogy a szervek építéséhez szükséges tápanyagok a kéregben mozognak. A kéreg azonban, mint már láttuk, bonyolult szerkezetű. Ismerünk elsődleges és másodlagos kérget. Kérdés tehát, hogy a két rendszer közül melyikben van a tápnedvek útja? Végezzünk még egy kísérletet a gyűrűs körülvágással, ezúttal azonban óvatosan csak a külső réteget metsszük keresztül, nehogy megsértsük a másodlagos kéregréteget, vagyis az edénynyalábok háncskérgét. Ugyanazt az eredményt kapjuk, mint az első kísérletből: a gyökerek a vessző végénél nőnek ki. A tápláló nedvek tehát a másodlagos kéregben mozognak. Menjünk még egy lépéssel tovább: állapítsuk meg, hogy a nedv a másodlagos kéreg mely elemeiben közlekedik. Tudjuk, hogy a kéreg főként két ilyen elemből van: a háncsrostok és a rostaedények. Már a két elem alakjának pusztán összehasonlítása alapján is nyilvánvaló, hogy a szállítás feladata az utóbbiakat illeti, mert a rostok falai igen vastagok, üregeik csaknem teljesen hiányoznak. Ezzel szemben a rostaedények tágas csatornák, amelyeknek tágas likacsain nemcsak a folyékony, de félfolyékony anyagok, sőt kis keményítőszemcsék is átcsúszhatnak. Ezt a valószínűséget bizonyossággá avatja a következő kísérlet. Ugyanazt az eljárást, amelyet a második kísérletben követtünk a fűzfaággal, végezzük el egy oleander (*Nerium oleander* L.) ágon. Gyűrűt vágunk a kéregbe, egészen az osztódó rétegig. Arra a meglepő eredményre jutunk, hogy a gyökerek nemcsak a bemetszés szélén, hanem az ág levágott végén is kinőnek. A tápanyagoknak tehát valami más úton, a kérgen kívül kell odajutniok. A látszólagos ellentmondás nyomban megoldódik, ha megtudjuk, hogy az oleander szárának szerkezete eltér az eddig leírt tipikus szárszerkezetektől. Az oleander kérgében lévő rostaedényeken felül ugyanis rostaedénynyalábok vannak a bél-

szövetben is és ezek a nyalábok akkor is elvezetik a levelekből a tápláló nedveket a szár alsó részébe a gyökerek felé, ha a kérget gyűrűsen körülmetsszük. A fűzfa- és oleanderágakkal végzett ez a négy egyszerű kísérlet rendszeresen és fokozatosan összeszűkítette a számbajövő feltételezések körét, míg végül is kétséget kizáró módon meghatározták a rostaedényekben azt az utat, amelyen keresztül az úgynevezett *plastikus tápanyagok*, vagyis a növények új részének képződését szolgáló anyagok közlekedhetnek.

A legújabb kutatások, amelyek a levélben a tejedények elhelyezkedésével foglalkoztak, megerősítették azt a feltevést, hogy ezek az edények is a tápanyagok közlekedésének felettébb alkalmas útjául szolgálnak. Erre mutat az a tény, hogy mindig a levelek zöld szövetrészeinek tözsomszédságában helyezkednek el, ahol a tápanyagok készülnek. Megerősítik a feltevést azok a megfigyelések is, hogy némely növény a tejnedvesztések következtében teljesen kimerül.

Miután megtaláltuk azt az utat, amelyen a levélből származó tápnedvek közlekednek, meg kell keresnünk azokat az okokat is, amelyek a nedveket mozgatják. Itt ismét, de ezúttal utoljára ad kulcsot a kérdés megoldásához a diffúzió, ez az állandó refrénként visszatérő szó, amelyet mindannyiszor meg kell ismételnünk, valahányszor arról van szó, hogy az anyag a külső környezetből bejut a növénybe, vagy hogy a növény egyik részéből átjut a másik részébe. Az oldott anyag a diffúzió törvénye értelmében nyilvánvalóan oda folyik, ahol nem oldható alakot ölt, akár tartalék alakjában a jövő szolgálatára elraktározódik, akár elhasználódik a növény szilárd anyagainak építésére.<sup>1</sup> A tápanyagok az edénynyalábok útja mentén rakódnak le. A nyalábokat körülvevő sejtek rendszerint bőven tartalmaznak keményítőt, néha kristályokat és más anyagokat is. Tápanyagtartalékolást láttunk a magfehérjében is; ilyenféle tartalékolások a növény egyéb részeiben is vannak, de sokkal nagyobb mértékben. Így például tartalékanyagok rakódnak le a szár belében, a bélsugarakban és általában a szár sejtiszöveiteiben. Az úgynevezett szágópálma szárának belében pudsámra rakódik le a keményítőkészlet; a burgonya gumójában szintén keményítő rakódik le. A cukorrépa gyökereiben bőségesen van cukor; a káposztafejekben vagy a répagyökerekben a legkülönbélebb tápanyagokat találjuk; végül a fentebb már említett agáve húsos leveleiben évek folyamán cukor halmozódik fel. Egyszóval, szinte alig van olyan növényi szerv, amely ne lehetne tápanyagok raktára, éléstára. A növény ezeket a készleteket felhasználja, vagy a következő esztendőkre tartalékolja. Az utóbbira

<sup>1</sup> L. a II. és III. előadást. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

példa a cukorrépa vagy a káposzta, mert ezeknek tartalékai arra valók, hogy a növény életének második évében a tőkocsány és a virágszervek kifejlesztésére szolgáljanak; lehet, hogy a tartalékok évtizedekig halmozódnak, mint az agáve leveleiben a cukor, hogy azután hatalmas, e növények virágait és terméseit hordozó virágzat kifejlesztésére használódjanak fel. Bármiként is van, a tartalékok képzése a tápanyagoknak csak átmeneti, ideiglenes rendeltetése. A tápanyagok végső rendeltetésüket akkor töltik be, ha új sejtek, új szervek, új növényrészek képzésére használódnak fel, tehát amikor a növény *növekedését* szolgálják. Minthogy ilyenképpen megismertük a táplálkozás jelenségét, a táplálék felvételét és feldolgozását, továbbá a tápanyag mozgását, a következő előadásunkban a *növekedéssel* foglalkozhatunk.

## A NÖVEKEDÉS

*Táplálkozás és növekedés. — A gyökér és a szár növekedésének iránya. — A föld vonzóerejének hatása. — A szövetek feszültsége. — A föld vonzóerejének hatása alakra. — Fényhatás. — Heliotropizmus. — Módszerek a növekedés mérésére. — Hőmérsékleti hatás. — Termotropizmus. — A sejtek növekedése és szaporodása. — Sejtmegosztódás. — A fény közvetlen hatása a sejtfalak növekedésére. — A nyomás hatása a sejtek alakjára. — A sejt növekedésének mechanizmusa. — Hallhatjuk-e, hogyan növekedik a növény? — A kísérletezés jelentősége.*

Egyes északi népek költői tartalmú mondái szerint az isteneknek és a bölcs embereknek különös adományuk, hogy nemcsak látják, de éles fülükkel »meghallják a fű növekedését«. Ebben az előadásunkban éppen ezzel a kérdéssel foglalkozunk: kifinomodhatik-e a közönséges halandó szeme és füle annyira, hogy meglássa és meghallja a növények növekedését? Döntsük el először azt, hogy milyen értelemben használjuk a növekedés kifejezést. A növény növekedése alatt a szó egyszerű és szorosan vett értelmében azt a méretbeli nagyobbodást értjük, amely az átsajátított és feldolgozott tápanyagok következtében a növény szilárd vázában, főként a sejtfalakból álló állományban jelentkezik. Noha a növekedés legelső feltétele a táplálkozás, ez a két folyamat nem megy szükségképpen egyszerre végbe. Növekedés akkor is lehetséges, ha egyidejűen a táplálkozás lehetetlen, mint például a sötétben; sőt ez a két működés rendszerint sem a térben sem az időben nem esik egybe. A növekedés szabály szerint a legfiatalabb részekben a legerőteljesebb, ezeknek a növekedése viszont kizáróan azoknak a fejlett szerveknek rovására történik, amelyek elsősorban a táplálkozást szolgálják. Különösen éles az időbeli elkülönülés a növényi élet két lényeges működése, a táplálkozás és a növekedés között a mult előadásunk befejezésében említett esetekben, amikor a növény a gazdag, sok esztendőn keresztül felhalmozott tartalékok terhére kezd növekedni. Azt is láttuk, hogy csírázás idején a csíra megnagyobbodását nem kísérte súlygyara-

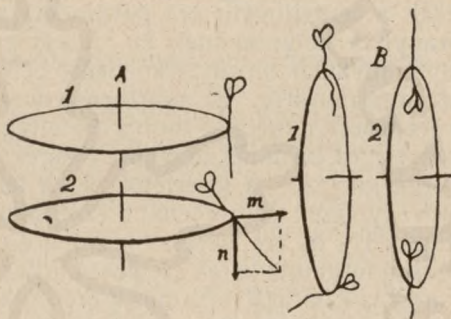


podás, sőt ellenkezően, a lélekzés következtében állandó és lényeges súlyvesztéseget észlelhetünk.

Kezdjük a növekedés vizsgálatát azzal a pillanattal, amikor a kicsírázó magból kibúvik a száracska és a gyököcske, amikor az egyik, mintha a fénytől menekülne, a földbe fúródik, a másik pedig a levegő felé igyekszik, szinte kinyúlik a fény után. Az első kérdés, amelynek a növekedés jelenségének megfigyelése közben önkéntelenül fel kell merülnie, de amelyre valószínűen csak kevesen gondolnak, hiszen annyira hozzászoktunk ehhez a jelenséghez: mi az oka annak, hogy a gyökér és a szár ellentétes irányban növekednek, az egyik a földbe, a másik a levegőbe, az egyik lefelé, a másik felfelé?

A kérdés a tudósoknak már sok fejtörést okozott, ennek ellenére ma sem tekinthető minden részletében megoldottnak. A jelenség okainak kutatása közben a tudósok gyanúja természetszerűen a fény felé és a talaj nedvessége felé fordult. Az volt a feltevésük, hogy mivel a szár kinyúlik a fény felé, a gyökér pedig a fény elől a talajba menekül, a fény az a külső erő, amely a növekedés irányát megszabja. Ennek a nézetnek alaptalanságát könnyű volt bebizonyítani. A növényrészek növekedésének iránya feljes sötétségben is változatlan marad; sőt ha a magvakat rostára szórjuk és az ablak fölé akasztjuk, hogy a rostán keresztül alulról kapjanak megvilágítást, a gyökerek, miután áthaladtak a földrétegen, keresztülbújnak a rosta lyukain és tovább nőnek a fény irányában, ugyanakkor a szár felfelé, tehát a fényforrással ellentétes irányban növekszik. A másik feltevést pedig, hogy a gyökér irányát a talaj nedvessége szabja meg, azzal a kísérlettel döntötték meg, hogy a csírázó magvakat minden oldalról egyaránt nedves földdel vették körül, vagy nedves szivacsban helyezték el. Noha a nedvesség foka a csíra körül minden oldalon egyforma volt, a gyökér és a szár növekedési iránya mégis függőleges maradt. Így hát sem a gyökér, sem a szár nem foglal el valami állandó és határozott helyzetet a fényvel és a nedvességgel szemben; ezeknek a szerveknek az elhelyezkedése csupán a látóhatár síkjához (horizonthoz) képest állandó: a gyökér mindig függőlegesen lefelé, a szár pedig felfelé nő. Ha ezt az irányt még pontosabban akarjuk meghatározni és figyelembe vesszük, hogy ez a jelenség a földfelület minden részén észlelhető, akár nálunk, akár a földgolyó másik oldalán, azt mondjuk, hogy a gyökér a föld középpontja felé tart, a szár pedig ezzel ellentétes irányban növekszik. Ennek az iránynak az állandósága már önmagában is arra utal, hogy a jelenséget a nehézkedési erőnek, bolygónk vonzóerejének kell előidéznie. Ezt a feltevést pontos kísérleti úton bizonyíthatjuk is, ha a növényrészek növekedési iránya a nehézkedési erőtől függ, akkor az erő hatásának megszüntetése magát a jelenséget is meg-

szünteti; ha gyengítjük az erő hatását, gyengítjük a jelenséget is; végül ha a nehézkedési erő hatását más irányban ható erő hatásával helyettesítjük, a jelenség ennek megfelelően módosul. De ehhez hogyan fogjunk hozzá, hogyan vonhatunk ki a Föld felületén egy testet a nehézkedési erő általános hatása alól? Hogyan teremthetünk olyan helyzetet, amelyben a növény számára nincs felfelé és lefelé? A szó valódi értelmében ilyen helyzetet természetesen nem teremthetünk. Arra azonban kényszeríthetjük ezt az erőt, hogy rövid időközökben ellenkező irányban hasson és ezáltal hatását hosszabb időre is közömbösíthetjük. Ebből a célból a csírázó magot egy forgókerék peremére erősítjük (például olyan kerékre, amelyet egy kis elektromágneses motor hajt). Ha ez a kerék vízszintes síkban forog (amint azt a 45. ábrán az A—1 rajz mutatja), ez nyilvánvalóan nem akadályozza meg a gyökeret abban, hogy lefelé, a szárat pedig abban, hogy felfelé növekedjék. Ha azonban a kerék függőleges síkban forog (45. ábra B—1), vagy ha a csírázó magot a falóra percmutatójára erősítjük, akkor a gyökér és a szár helyzete minden félfordulatra megváltozik, akkor a növény számára végeredményben nincsen felfelé és nincsen lefelé és nincs jobb- vagy baloldal; ilyenképpen



45. ábra

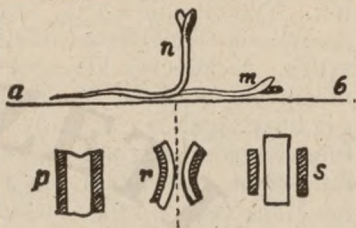
a nehézkedési erő állandóan egyirányú hatása közömbösül. Az ilyen körülmények között végzett kísérlet azt mutatja, hogy a gyökér és a szár valóban tetszés szerinti helyzetet vesz fel, mégis rendszerint azt a helyzetet tartja meg, amelyben odaerősítették (45. ábra, B—1). Eddig a kerék csak lassan forog, csupán annyira, hogy a mag ne maradjon hosszabb ideig egy helyzetben a vízszintes síkhoz képest. Forgassuk most gyorsabban a kereket. Ekkor új erőnek, az úgynevezett *centrifugális erőnek* a hatása is fellép, s ugyanaz a jelenség játszódik le, amelyet akkor figyelhetünk meg, amikor a zsinór végére erősített nehezebb tárgyat a levegőben gyorsan forgatunk. Ez az erő a középpontból a kerület felé hat, s erről könnyen meg is győződhetünk a következő kísérlet alapján. Húzzunk egy gyűrűt a kerék-ágy körül vízszintes síkban forgó kerék egyenes küllőjére. Mihelyt a kerék elég gyorsan forog, a gyűrű a küllőn kifele kezd csúszni egészen addig, amíg a kerék abroncsába nem ütközik. A centrifugális erő hatása

tehát arra kényszerítette a testet, hogy a középpontból a kerék abroncsa felé mozogjon. Ez az erő nyilván hat a csírázó magra is. Valóban, ha  $B$  kereket megfelelő gyorsasággal forgatjuk, a gyököcske és a szár egyetlen határozott helyzetet foglal el: a gyökerek az erő hatásának irányában, tehát a központtól eltávolodó irányban nyúlnak ki, a szár pedig a kerék központja felé mutató irányban helyezkedik el (45. ábra  $B-2$ ). Most pedig vizsgáljuk meg, hogy milyen eredményre jutunk, ha a kereket vízszintes síkban sebesen forgatjuk. Ennek a kísérletnek a körülményei nyilvánvalóan eltérnek a függőleges síkban végzett kísérlet feltételeitől, az utóbbi esetben ugyanis a föld vonzóerejének hatását teljesen közömbösítettük és a centrifugális erő volt az irányadó. Ha azonban a kerék vízszintes síkban forog, mindkét erő hatása érvényesül. A gyökér pusztán a föld vonzóerejének hatására az  $n$  jelű nyíllal megjelölt irányt venné fel (45. ábra 2), csak a centrifugális erő hatása folytán pedig az  $m$  nyíllal mutatott irányban helyezkednék el. A két erő egyidejű hatására azonban nyilvánvalóan bizonyos közbenső helyzetet kell elfoglalnia, amint azt az ábra mutatja. Ez a közbenső helyzet annál inkább megközelíti a vízszintest, minél nagyobb a centrifugális erő hatása, ami viszont úgy lehetséges, ha minél nagyobb a kerék átmérője és minél gyorsabban forgatjuk azt. A kísérletek ezt a feltevést teljesen megerősítik. A növényrészek iránya tehát a Föld középpontja felé ható erő hatásától függ. Ha az erő hatását közömbösítjük (mint a függőleges síkban lassan forgatott kerék esetében), kiküszöböljük magát a befolyást is; ha az erő hatását egy másik erő hatásával módosítjuk (mint a vízszintes síkban gyorsan forgatott kerék esetében), megfelelően módosítjuk a befolyást is. Csak egy olyan erőt ismerünk, amely a Föld középpontja felé hat: a nehézkedési erőt, bolygónk vonzóerejét. Végül hasonló jelenséget idézhetünk elő, ha a vonzóerőt a centrifugális erővel helyettesítjük (mint a függőleges síkban gyorsan forgatott kerék esetében), ilyenkor azt észleljük, hogy a szervek ugyanilyen értelemben irányulnak, tehát a gyökér az erőhatás irányában, a szár pedig azzal ellentétesen.

A szár és a gyökér állandó irányát ezek szerint a Föld vonzóereje határozza meg. Más feladat azonban annak megállapítása, hogy egy jelenségre milyen erő hat és ismét más feladat annak megmagyarázása, hogy miként és miért hat ez az erő éppen így.

Valóban, ha azt mondjuk, hogy a gyökér a nehézkedési erő következtében a Föld középpontja felé tart, ez természetesnek látszik, de hogyan magyarázzuk meg azt, hogy a szár ugyanakkor, ugyanennek a nehézkedési erőnek hatására éppen ellenkező irányban helyezkedik el, *eltávolodni* igyekszik a Föld középpontjától? Pedig ez a valóság. Nemcsak a függőlegesen álló szár folytatja növekedését

ebben az irányban, hanem még a vízszintesen elhelyezett szár is felfelé emelkedik és éles könyökben ebben az irányban fordul. Íme, itt van egy kis madársóskacsíra, amelyet pár órával ezelőtt erre az üveglapra helyeztem (46. ábra,  $a-b$ ); amint látjuk, a csíra szára felemelkedett és az  $m$  helyzetből az  $n$  helyzetbe került. Ezen a nemezzen pedig egész kis erdő van a madársóskából. A nemez először vízszintesen feküdt, azután az élére állítottuk, majd felülről lefelé fordítottuk, utána a másik élére állítottuk és végül ismét vízszintesen helyeztük el. A száruk ennek megfelelően a vízszintes síkhoz viszonyítva négyszer változtatták meg helyzetüket és miután szinte hurokba csavarodva egy egész kört írtak le, most ismét tovább folytatják növekedésüket felfelé. Nyilvánvaló ebből, hogy a szár a nehézkedési erő hatására fordult mindig a nehézkedési erővel ellenkező irányba. De mivel magyarázzuk ezt? Magyarázat közben nemcsak a szárra, de a gyökérre is tekintettel kell lennünk. Csak olyan magyarázatot szabad elfogadnunk, amely nemcsak azt igazolja, hogy miért emelkedik a szár felfelé, hanem ugyanakkor azt is megindokolja, hogy a gyökér miért nem viselkedik ugyanígy. Az eltérő magatartás okát a szár és a gyökér valamiféle különbségében kell keresnünk, mert nem fogadhatjuk el, hogy ugyanaz az erő hasonló testekre különféleképpen hat.



46. ábra

Nézzük tehát, hogy milyen magyarázatot fűzhetünk ahhoz a jelenséghez, hogy a szár felfelé hajlik. Mindenekelőtt meg kell ismerkednünk a növényi szervezetek egyik igen érdekes jelenségével, az úgynevezett *szövetfeszültséggel*. Vágjunk ki a fiatal, fejlődő szár közepéből hosszában egy szeletet úgy, amint azt a 46. ábrán a  $p$  rajz mutatja. A rajzon az árnyékolt rész a bőrszövetet és a kérget jelöli meg. Nedvesítsük meg ezt a szelvényt vízzel, hogy ki ne száradjon, s utána éles késsel hosszában vágjuk ketté. Mindkét fél azonnal elgörbül, amint azt a 46. ábra  $r$  rajza mutatja. Az elgörbülést csak az okozhatja, hogy mindkét fél külső része megrövidült, vagy a belső része meghosszabbodott, avagy mindkét változás együtt lépett fel. Mindenesetre arra kell következtetnünk, hogy a még két részre nem vágott egész szárdarabkában a külső és a belső rész a kölcsönös feszültség állapotában volt. Az egyik rész húzta a másikat kifelé és viszont, de ugyanakkor visszatartották egymást abban a törekvésükben, hogy hosszában megnyúljanak. A következtetés

helyességéről nyomban meggyőződhetünk, ha egy vágás helyett kétszer metsszük el hosszában a szárdarabkát úgy, hogy leválasztjuk a két külső részt, megszabadítva azoktól a középső részt (46. ábra s). Ekkor azt látjuk, hogy a középső rész megnyúlt, hosszabb lett, mint a  $p$  rajznál volt, a külső metszetek pedig ennél rövidebbek lettek. Nyilvánvaló ebből, hogy a szár belső részei kinyúlásra törek-szenek, de ellenállásra találhatnak a külső részekben, amelyeket kifeszí-tenek. A szövetek kölcsönös feszültsége jelentős szerepet játszik a növények életében. A zsenge, nedvdús szárok ennek köszönhetik rugalmasságukat. A szövetek maguk vékonyka sejtfalakból és folyadékokból állanak. A rugalmasságot maguktól nem tudnák ki-fejleszteni, csak akkor, ha a sejtek folyadékkal telítődnek, s ennek következtében a falak megfeszülnek, vagy akkor, ha a szerv belső szövetei megfeszítik a külső szöveteket és a feszítés következtében maguk is összenyomódnak. Így a szár rugalmassá válik, nem görbül el könnyen, nem lankad el tehetetlenül, mint azt a hervadó szárokon látjuk, amelyekben vízhiány következtében az egyes sejtfalak feszült-sége meggyöngült és a szövetek kölcsönös feszítőereje csökkent.

Folyamodjunk egy kissé durva hasonlathoz, amely azonban egyszerű alakban megmutatja, hogy nagy általánosságban mi törté-nik a növények növekedése közben. Itt van egy kesztyű. Üres ujjai lefelé lógnak. Ha azonban levegőt fújunk az egyik ujjába és a végét leszoritjuk, a kesztyűujj megmarad függőleges vagy vízszintes hely-zetben is, s nem lóg le vagy nem görbül el. Ez a levegővel felfújt kesztyűujj távolról arra a sejtre emlékeztet, amely nedvektől telített, vagy arra a szárra, amelynek külső részeiben erősebb a belső feszült-ség, mint a növekvő belső részeiben.

Lássuk, hogy az elmondottak miként függnek össze az általunk feltett kérdéssel: miért fordul a vízszintesen elhelyezett szár felfelé?

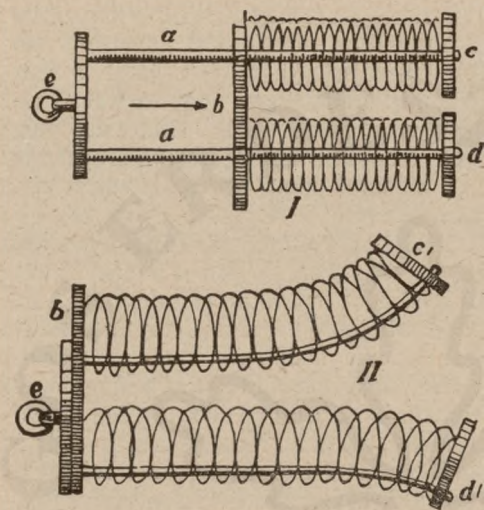
Míg a szár függőleges helyzetben van, a nehézkedési erő mind-egyik részére egyformán hat. Mihelyt azonban a szárát vízszintes helyzetbe hozzuk, a feltételek megváltoznak. Az alsó rész a tápanyag bőségesebb áramlásától, vagy más okból erősebben növekedik, gyor-sabban nyúlik, mint a felső rész. Azt már tudjuk, hogy a szár belső részét a külső bőrszövet rugalmassága állandóan visszatartja abban a törekvésében, hogy megnyúljon. A vízszintes szárban azonban a belső rész alsó fele gyorsabban növekszik, mint a felső, s ennek folytán nem egyenletesen feszíti ki a bőrszövetet: a hozzá közelebb eső alsó részt erősebben, a távolabb fekvőt, a felső részt gyengébben.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Természetes, hogy a bőrszövet felső részének ellenállása a feszítéssel szemben erősebb, mert a felső rész az emelőkar hosszabb szárára hat, míg ugyanakkor az alsó rész az emelőkar rövidebb szárát terheli (47. ábra, II. c'). — *Az orosz kiadás jegyzete.*

Ehhez járul, hogy az alsó bórszövet gyorsabban növekszik, mint a felső, tehát könnyebben enged a feszítésnek. Ennek a következtetésnek helyességét bizonyítja az a tény is, hogy a lefektetett szár csak azon a részén hajlik felfelé, amely a leggyorsabban növekedik. Azokban a részekben, amelyek növekedésüket befejezték már, nem fordul elő ez a jelenség. Azzal tehát, hogy a szárat vízszintes helyzetbe állítottuk, részaránytalan, asszimmetrikus növekedést idéztünk elő benne. Az alsó rész növekedése túlszárnyalja a felső részét, a szár önmagától elfordul, felfelé emelkedik. Lehetséges, hogy ezeket az elgondolásokat nem találják eléggé meggyőzőeknek. Erősítsük meg tehát feltevésünket kísérletekkel. Vegyünk két egyforma szárat, az egyiket neveljük függőlegesen, a másikat pedig kényszerítsük a vízszintes irányba való növekedésre és ebből a célból vezessük be egy keskeny üvegcsőbe, nehogy felfelé görbülhessen. Bizonyos idő után ezt az utóbbi szárat vágjuk ketté, s ezzel az alsó és a felső részét elválasztjuk. Az elvágás után a felső rész nyomban rövidebb lesz, az alsó pedig megnyúlik. Ha összehasonlítjuk a kettévágott szár hosszát az egyenesen nevelt szár hosszával, azt láthatjuk, hogy a vízszintes szár felső része rövidebb, az alsó pedig hosszabb, mint a függőleges száré, amire különben számíthattunk is. Ami a vízszintesen fekvő szárra érvényes, az áll a ferdén növekvő szárra is. Mihelyt a szár eltér a függőleges vonaltól, a nehézkedési erő a szár alsó részét fokozott növekedésre serkenti, s ezzel a szárat kiegyenesíti és visszatereli a függőleges helyzetbe.

Most már teljesen megérthetjük, hogy miért hajlik a szár a nehézkedési erő hatására ezzel a hatóerővel ellentétes irányba. Felmerül a kérdés, miért nincs ez így a gyökérrel is? Íme látjuk, hogy a jelenség alaposabb vizsgálata után a kérdés teljesen megváltozott. Kezdetben azt találtuk természetesnek és érthetőnek, hogy a gyökér a nehézkedési erő irányában növekszik és az tűnt érthetetlennek, hogy miért nő a szár ezzel ellenkező irányban. Most pedig azt értjük, hogy a szár miért nő így és az látszik nehezebben érthetőnek, hogy a gyökér másként nő. A látszólagos ellentmondást modell segítségével fogjuk eloszlatni. Képzeljünk el két fakorongot (47. ábra *I. c* és *d*), amelyet *b* keresztléccel spirálrúgók kötnek össze. A keresztlécen lévő nyílásokon két ruganyos gumirudacsok (*a*, *a*) vezetünk keresztül, amelyek (*e*) keresztfogantyúval vannak ellátva, s végükkel a korongok középpontjára (*c* és *d*) támaszkodnak. Ha ezeket a rudakat a nyíl irányában toljuk a *b* keresztléc segítségével, mindkét rúgó feszültségi állapotba kerül. Modellünkön a gumirudacsok a növény gyorsan növekedő tengelyrészeit, a megfeszített rúgók pedig e szervek lassabban növekvő, s a belső részek növekedése által széjjelfeszített külső szövet részeit ábrázolják. Ezzel a beállítás-

sal asszimmetrikus növekedést s a szövet ebből eredő feszültségét ábrázoljuk. Próbáljuk meg ugyanezzel a modellel az asszimmetrikus növekedés ábrázolását, amelyet például a nehézkeségi erő hatása idézett elő. Ilyenkor — mint tudjuk — a szerv alsó része gyorsabban növekszik. Ezt úgy



47. ábra

érjük el, hogy a hajlékony rudacsák támaszpontját nem a korongok középpontjába, hanem alsó szélükhöz közelebb helyezzük el (47. ábra, II.). Noha a fogantyúkat éppen úgy mozgattuk, mint az imént, egészen más eredményt kapunk. Az alsó rúgó egyenes irányban meghosszabbodik, sőt saját súlyánál fogva lefelé tart ( $d'$ ), a felső pedig többé-kevésbé meredek ívben felfelé hajlik ( $c'$ ). Ezt az eredményt egyszerűen megmagyarázza a modell szerkezete. A rúgókat szándékosan úgy választottuk, hogy rugalmasságuk különböző fokú legyen: a felső vastag huzalból készült és nagyobb ellenállást fejt ki a rudacska mozgásával szemben, mint a vékonyabb huzalból való alsó rúgó. Ebből arra következtethetünk, hogy az egyenlőtlen, asszimmetrikus nyomás észrevehető hajlásban akkor nyilvánul meg, ha beáll a részek bizonyos mérvű kölcsönös feszültsége. Nyilvánvaló, hogy ugyanez a növekedés is érvényes. Az asszimmetrikus, nem egyenletes növekedés csak akkor okozza a szerv észlelhető elhajlását, ha a szerv, a szövetek kölcsönös feszültsége következtében, bizonyos rugalmasságot ér el. Kérdés azonban, hogy a fiatal, még növekvő gyökérben megtaláljuk-e a szöveteknek ugyanazt a feszültségét, mint a szárban? Ha csak egy pillantást vetünk a fiatal gyökerre, máris láthatjuk, hogy a gyökér szöveteiben nincs ilyen feszültség. Ha a szárát vízszintesen tartjuk, nem hajlik le, nem konyul le, a vízszintesen tartott gyökér ezzel szemben gyakran úgy ellankad, hogy olyan lesz mint a hervadt szár. Ha a szár és a gyökér bőrszövetét vizsgáljuk, nyilvánvalóan észreveszünk itt is eltérést, amely az anatómusok figyelmét már régen

lekötötte. A szár bőrszöveve vastagabb külsőfalú sejtekből van és ezeket még egy különleges hártýaréteg, az úgynevezett *kutikula* borítja, amely nehezen nedvesedik át, a gyökér bőrszöveve ezzel szemben vékonyabb falú sejtekből van összetéve, könnyen felszívja a nedvességet, s így nyúlékonyabb és kevésbé rugalmas, mint a száré. Végül a kísérletek közvetlenül is meggyőzhetnek arról, hogy a gyökérben nincs olyan feszültség, mint a szárbán. Ha egy gyökérszeletet hosszában kettémetszünk (46. ábra r), nem észleljük a félrészek elhajlását (mint a 46. ábra r rajzán), ha háromfelé vágjuk (46. ábra s), nem tapasztaljuk a középső rész megnyúlását a külsőkhöz képest. Azt látjuk tehát, hogy a gyökérben nem tapasztalhatunk akkora szövetfeszültséget, mint a szárbán; a gyökér külső részei éppen olyan gyorsan növekednek, mint a belsők. Ezt a gyökérnek még egy tulajdonsága is kifejezi: a fiatal gyökér általában gyorsabban hosszabbodik, mint a szár, mivel nincs feszültsége, hiszen a feszültség nem egyéb, mint gátolt növekedés.

Ilyen módon, ha a nehézkesési erő hatása nem eredményezi azt, hogy a gyökerek növekedő végei felfelé görbüljenek, ezt a mechanikai feltételek hiányával részben megmagyarázhatjuk: a gyökér szöveveiben nincs megfelelő feszültség. A modell megmagyarázza, hogy olyan esetben, amikor egyforma nehézkesési erőt tételünk fel, de a szervek összetétele eltérő, egyenesen ellentétes eredményt kaphatunk. Célszerű, ha a fiziológiai tények vizsgálata közben ezt a gondolatot állandóan szem előtt tartjuk. Ha ugyanaz a külső tényező különböző szervekből eltérő hatásokat vált ki, két lehetőség között kell választanunk: vagy a szerveknek vannak különböző tulajdonságaik, vagy a külső tényező összetett tényező. A nehézkesési erőre nézve a második feltevés kizárt. A szár és a gyökér tulajdonságai között a szövetek feszültségében mutatkozó eltérés viszont nem az egyetlen lehetséges különbség.<sup>1</sup>

Magyarázatunk akkor lenne kielégítő, ha azt is bizonyíthatnánk, hogy a vízszintesen elhelyezett gyökér is — a szárhoz hasonlóan — inkább az alsó, mint a felső felén növekszik és ezzel szemben pusztán a

<sup>1</sup> Megjegyezzük, hogy egyes botanikusoknak a gyökércsúcs higanyban való növekedéséhez és a gyökércsúcsok nyomásához fűzött elgondolásai semmit sem bizonyítanak, mert kísérleteik közben két jelenség keveredik össze: az egész szerv hosszanti növekedése és a szár elgörbülése, amely csupán az elgörbülő rész felső és alsó részének növekedési különbségétől függ. A gyökér elsősorban azért gyakorol nyomást, mert növekedik és az a nyomás, amelyet növekedésével előidéz, nincs semmiféle kapcsolatban a gyökér súlyával; mindenki előtt nyilvánvaló ugyanis, hogy éppen úgy, mint a 47. ábra II. rajzán d' rúd esetében, elmozdíthatjuk a helyéből azt a tárgyat, amelynek súlya nincs összefüggésben a rúd súlyával, ez semmiképpen nem zavarja a rudat abban, hogy saját súlyánál fogva *tehetetlenül* lefelé görbüljön. — *Az orosz kiadás jegyzete.*



súlynál fogva, tehát *tehetetlenül* hajlik lefelé, mint kísérletünkben a *d*<sup>2</sup> rúgó (47. ábra II.). Akadtak ugyan kísérletek, amelyek ezt — úgy látszik — bizonyították is, de utóbb kétség merült fel, mert más kutatók azóta eltérő eredményekre jutottak, így hát az a *mód*, ahogyan a nehézkedési erő a gyökerekre hat, egyelőre nyílt kérdés.<sup>1</sup> A továbbiak során majd még arról is meggyőződünk, hogy ez a kérdés sokkal bonyolultabb és a jelenség magyarázata közben nemcsak egyes szervek, vagy a szerveket alkotó szövetek szerkezetével, hanem azoknak a sejteknek a szerkezetével is számolni kell, amelyekből a szövetek vannak.

\* \* \*

Vizsgáljuk meg, hogy még milyen külső feltételek hatnak a növekedésre. Miközben azokat az okokat kutattuk, amelyek a szár és a gyökér növekedésének természetes függőleges irányát megszabják, megtudtuk, hogy a növekedés iránya nem függ a fénytől. Arról is meggyőződhetünk, hogy növekedés a fény teljes hiánya mellett is lehetséges; a burgonya vagy a répa a koromsötét pincében hosszú csíraszálakat hajt. Bármely magon vagy csírahajtáson meggyőződhetünk erről: valamennyi a sötétben is növekedik.

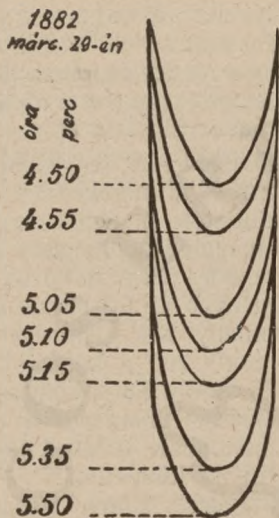
Helyes-e mégis az a megállapításunk, hogy a fénynek nincs hatása a növekedésre? Távolról sem, hiszen igen egyszerű kísérlettel bizonyíthatjuk, hogy a fénynek jelentékeny hatása van a növekedésre. Csíráztassunk két teljesen egyforma talajt tartalmazó cserépben madársóska-magvakat, de az egyik cserépet helyezzük sötétbe, míg a másikat hagyjuk világoson. A különbség hamarosan megmutatkozik. A sötétben nevelkedett madársóska szára néha tízszer olyan hosszú, mint a világosban tartott növényé, viszont ezek a száruk vékonyak, véznák és sok közülük megdől. A világosságban nevelt csírákból rövid, de egészségesebb száruk hajtanak; ezek a száruk vastagok és rugalmasak. A fény hatása tehát nem közömbös a növekedésre, pontosabban a száruk hosszúságára, a hatás azonban nem serkenti, hanem ellenkezően *késlelteti* a növekedést. A fény hatása természetesen nem merül ki abban, hogy a szár hosszanti növekedését késlelteti. Ha a szobában olyan helyzetben tartjuk a növényt, hogy a fény mindig ugyanarról az oldalról éri, azt észlelhetjük, hogy a fiatal, növekvő száruk meggömbülnek, mint mondani szoktuk, a fény felé húzódnak. Nyilvánvalóan helytelen lenne, ha a napsugaraknak valamilyen különleges vonzóerőt tulajdonítanánk, de nincs is szükség arra, hogy ilyen felesleges feltevéseket állítsunk fel. Az előbb ismertetett két kísérlet összehasonlítása alapján ugyanis megmagyarázhatjuk azt a jelenséget is, hogy a szár a fény felé fordul. A fény késlelteti a

szár növekedését, de ha a megvilágítás egyoldalú, akkor a szár ellen-  
tétes oldalaira nem hat egyenlő erővel. A szár egyik oldala teljes  
megvilágítást kap, a másik oldala állandóan árnyékban marad. A  
fény felőli rész ennek következtében lassabban növekszik, mint az  
árnyékos rész, ezért a növény a fény felé hajlik. Itt tehát a nehézke-  
desi erő esetének ellentétéről van szó. A nehézkedési erő *meggyorsítja*  
annak az oldalnak a növekedését, amely a Föld közepe felé fordul, s  
így a szár eltávolodik attól az iránytól. A fény *meglássítja* annak az  
oldalnak a növekedését, amely a fényforrás felé néz és így a szár afelé  
*irányul*. Ezt a jelenséget *heliotropizmusnak* nevezzük.

Abból, hogy a fény visszatartja a szár növekedését, nem kell-e  
arra következtetnünk, hogy a növények főként éjjel növekednek?  
Ezzel a kérdéssel sokszor foglalkoztak és különféle megoldásokat  
találtak. Ne lepődjünk meg az ellentmondó megoldásokon, mert a  
kérdés önmagában is eléggé bonyolult és a növekedés rövid időközök-  
ben való megfigyelése csupán azoknak a leleményes eljárásoknak a  
segítségével vált lehetségessé, amelyeket a tudomány csak nem régen  
ismer. Néhány egészen ritka kivételt nem tekintve,<sup>1</sup> a hosszanti  
növekedés 10—12 óra alatt kevéssé szembeötlő ahhoz, hogy kényel-  
mesen megfigyelhessük, ha a kísérletezés művészete nem sietne a  
segítségünkre ott, ahol érzékszerveink csődöt mondanak. Lássuk hát  
azokat a módszereket, amelyekkel a tudomány a közvetlen meg-  
figyeléssel nem észlelhető, jelentéktelen növekedést is meg tudja  
állapítani. Ebből a célból vagy a mikroszkóphoz folyamodunk,  
vagyis megnagyítjuk a megfigyelendő tárgyat, vagy olyan más el-  
járást alkalmazunk, amely nem a növényt magát, hanem csak azt a  
mozgást nagyítja fel, amelyet növekedésnek nevezünk. Erre a célra  
legalkalmasabb az úgynevezett *napmikroszkóp*, vagyis az olyan  
készülék, amely a napfény vagy más, elég erős mesterséges fényforrás  
felhasználásával a megfigyelt tárgy képét megfelelő nagyításban  
vásznonra vetíti, amint azt most a csírázó madársóska gyökércsúcsá-  
val tesszük. A vetítő ernyőn a csúcs körvonalaít ceruzával meg-  
jelöljük és várjuk, hogy a gyökér a vízben tovább növekedjék. Az  
előadás végefelé majd visszatérünk az ernyőhöz, s megállapítjuk,  
hogy a közben eltelt idő alatt a gyökér lényegesen növekedett-e.  
Addig is itt vannak a búzagyökér folytatatólagos árnyképei (48. ábra),  
amelyek egy óra alatt 5—10 percenként végzett megfigyelések alap-

<sup>1</sup> Ilyenek például a bambusz hajtásai, továbbá az előző előadásban  
említett agave kocsányai, amelyeknek hosszanti növekedése naponta néhány  
hüvelyket ér el; idetartozik a valliszneriának (*Wallisneria spiralis* L.) csava-  
rosan összegöngyölgődő termős virágkocsánya is. A valliszneriát mindenki  
ismeri, aki kedveli a szobaakváriumot (l. a VIII. előadást). — *Az orosz kiadás  
jegyzete.*

ján készültek.<sup>1</sup> Ennek az eljárásnak érzékenysége, mint a bemutatott példák igazolják, nem hagy kívánnivalót, de nem alkalmas nagyobb tárgyak, például egész növények, vizsgálatára. Az utóbbi esetben azt az eljárást kell követni, hogy nem magát a növekedő szervet,



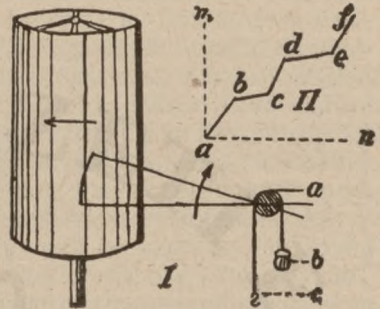
48. ábra

hanem csupán a növekvő rész mozgását nagyítjuk meg. Ebből a célból olyan készüléket használunk, amelynek lényeges része egy kis csiga tengelyéhez erősített mutató (49. ábra I. a.). A csigán selyemfonalat vezetünk keresztül, s a fonál egyik végére kis súlyt (b), a másikra vékony drótból készült kis horgot (c) erősítünk. A horgot egy növény szárának csúcsába erősítjük (az ezzel a művelettel okozott seb nem tesz kárt a növényben) és hagyjuk, hogy a csiga másik oldalán szabadon függő súly a zsinórt megfeszítse. Tegyük fel, hogy a szár egészen elenyésző mértékben növekedett: milyen következményei lesznek ennek a készülékben? A szár a növekedés következtében egy keveset megereszti a fonalat és a súly annyival száll lejjebb, mint amennyivel a szár növekedett. Közben a fonál, amely szorosan ráfekszik a csigára, a csigát a súrlódás következtében ugyanennyivel elfordítja. A csigával együtt elfordul a mutató is, de a mutató vége természetesen sokkal nagyobb utat tesz meg. Ilyenképpen a szár növekvő csúcsának észrevétlen mozgása a nyíl csúcsán nagyon is észrevehető elmozdulássá növekszik meg. Ez az elmozdulás annyiszor nagyobb a tényleges növekedésnél, ahányszor hosszabb a mutató a csiga sugarának hosszánál. A mi készülékünkön a csiga sugara 2 mm, a mutató hossza 20 cm, vagyis százszor hosszabb az előbbinél. A szár növekedésének megfelelő mozgást ezek szerint százszoros nagyításban figyelhetjük meg a mutató végén. A készülék haszna a leírásból világos. Elegendő, ha egy óralapszerű beosztásos lapot helyezünk a mutató mögé, s onnan közvetlenül leolvashatjuk a készülék által jelzett értéket. Ezt a készüléket még tökéletesíthetjük és úgynevezett öníró készülékké alakíthatjuk. Arra kényszeríthetjük tehát a növényt, hogy maga írja fel, hogy miként növekedett a nap különböző óráiban. Állítsunk a mutató csúcsához egy rézhengert, amelyet

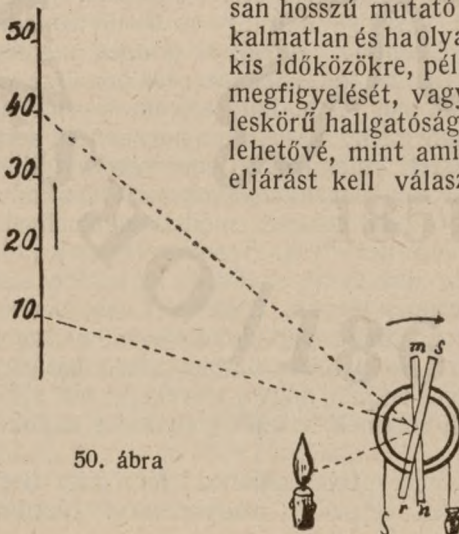
1 48. ábra: a búzacsíra gyököcskéjének folytatólagos árnyképei, vetítőkészülékkel összekötött mikroszkóppal felnagyítva. — Az orosz kiadás jegyzete.

1 48. ábra: a búzacsíra gyököcskéjének folytatólagos árnyképei, vetítőkészülékkel összekötött mikroszkóppal felnagyítva. — Az orosz kiadás jegyzete.

óramű hajt és amely tengelye körül — a nyíl által jelzett irányban — huszonnégy óra alatt teljes fordulatot végez. Hogy a mutató a készüléken jól látható vonalat húzzon, a hengert rendszerint sűrű korommal vonják be. Ha a henger mozgása a mutató mozgásához képest gyors, a kormos felületen csaknem vízszintes vonal keletkezik (48. ábra II. *an*). Viszont ha a mutató mozgása nagyon gyors a henger forgásához képest, csaknem függőleges vonal keletkezik (*am*). Ha a nyíl mozgása csökken, lejtős vonal keletkezik, ha erősen gyorsul, a vonal meredeken emelkedik; lankás az emelkedés, ha a gyorsulás lassúbb. Vessünk egy pillantást a 49. ábra *abcdef* vonalára, s máris megállapíthatjuk, hogy *a*-tól *b*-ig a szár gyorsan növekedett, *b*-tól *c*-ig lassan és így tovább. Ha ismerjük a henger forgási idejét, megállapíthatjuk, hogy a nap melyik órájának felel meg a gyorsabb és melyiknek a lassúbb mutató-mozgás és így azt is, hogy milyen hatásoktól függhet a gyorsulás, illetőleg a lassulás. A növény szinte leírja a benyomásait. A készülék érzékenysége, mint említettük, a mutató hosszától függ. A túlságosan hosszú mutató azonban sok tekintetben alkalmatlan és ha olyan készüléket kívánunk, amely kis időközökre, például egy percre eső növekedés megfigyelését, vagy a növekedésnek olyan széleskörű hallgatóság előtt való bemutatását teszi lehetővé, mint amilyen most jelen van, kissé más eljárást kell választanunk. A mutató helyett



49. ábra



50. ábra

anyagtalán jelzést, a fénysugarat alkalmazzuk, amelyet különösebb technikai nehézség nélkül tetszés szerint meghosszabbíthatunk. A mutató helyett erősítsünk tehát a csiga tengelyéhez egy kis tükröt (50. ábra *mn*) és a tükörrel szemben helyezünk el lámpát vagy gyertyát, amely-

nek a tükör által visszavert fénye valahová a falra világos fényfoltot vet. A selyemfonal végén a horgot éppen úgy beakasztjuk a szár növekedő csúcsába, mint az imént s nyilvánvaló, hogy a legkisebb növekedés s azzal összefüggésben a csiga legkisebb mozgása a fényfoltot a falon tetemesen elmozdítja. Ha a mutató százszoros nagyítást adott a csúc növekedésének megfelelő mozgásáról, a tükrös készülék ezt a mozgást ezerszeresére, vagy általában tetszés szerint megnagyíthatja, mert ez csak a tükrönek a faltól való távolságától függ. Hogy a fényfolt mozgását pontosabban követhessük, a falra nagy távolságú beosztásokat rajzoltunk fel. Jegyezzük meg, hogy a fényfolt most melyik vonalon áll — éppen a tízesen — és hagyjuk, hogy a növény, ezúttal egy spárgahajtás, nyugodtan nőjön tovább, majd az előadás végén visszatérünk hozzá.

A botanikusok ezeknek a tökéletes eszközöknek a birtokában a növekedés jelenségével kapcsolatosan számos kérdést megoldottak. Többek között felderítették a régi ellentmondások okát is, amelyek a növekedés ideje (éjjel vagy nappal) tekintetében fennállott. Ennek a kérdésnek a vizsgálatánál figyelembe kell venni, hogy nemcsak a fény az egyetlen feltétel, amely a növekedésre hat, hanem még a nedvességnek, főként pedig a melegnek is hatása van a növekedés alakulására.

Ha a növényt sötétben, állandó nedvesség és változó hőmérséklet mellett neveljük, megállapíthatjuk, hogy magasabb hőmérséklet mellett a növény gyorsabban, alacsonyabb hőmérséklet mellett pedig lassabban növekszik. Ha a hőmérsékletet váltakozva emeljük és csökkentjük, az említett készülék mutatója az *abcdef* vonalhoz hasonló vonalakat rajzol a hengerre. A rajzon minden meredek szakasz melegebb időszakot, minden kevésbé meredek vonalszakasz pedig hűvösebb időszakot jelöl meg. A hő hatása tehát éppen ellentéte a fény hatásának, mert míg a fény késlelteti a növekedést, addig a hő gyorsítja azt. A kertészek különben ezt már régóta tudják, hiszen ezen a jelenségen alapul a növények *meghajtásának*, tehát növekedésük meggyorsításának és késleltetésének módszere, amellyel a növény fejlődését a kívánt időre beállítják. Természetes ezek után, hogy az a kérdés, hogy mikor növekedik a növény leginkább, nem annyira egyszerű, mint amilyennek látszik. Éjjel sötét van, de rendszerint hidegebb, nappal viszont világos van, de többnyire melegebb. Nehéz lenne előre meghatározni, hogy adott esetben melyik hatás jut majd túlsúlyra. Annyi bizonyos csupán, hogy a növekedésnek sötét, meleg éjjeleken kell legerőteljesebbnek, s napfényes, hideg napokon a leggyöngébbnek lennie.

A heliotropizmus jelenségéhez, tehát ahhoz a jelenséghez hogy a szár a fényforrás felé hajlik, egyszerű magyarázatot fűztünk.

Lesznek azonban, akik ezt a magyarázatot nem találják kielégítőnek, mert a *fény felé* hajlás általános jelensége mellett előfordul — bár aránylag ritkán — az is, hogy a szár elfordul a fénytől. Úgy szokták mondani, hogy a *pozitív heliotropizmus* jelensége mellett akadnak példák a *negatív heliotropizmusra* is. Ez az ellentmondás sok botanikust arra készítetett, hogy az említett magyarázatot kétségbe vonja. Az ellentmondást azonban egy későbbi felfedezés ismeretében könnyen megszüntethetjük. Az egyoldalú hőhatás jelenségéről van szó, amely a heliotropizmushoz hasonló tüneteket idéz elő és amelynek a *termotropizmus* elnevezést adták. Természetes, hogy a termotropizmus hatása éppen ellentétes a heliotropizmus hatásával. A hő serkenti a növekedést, tehát a meleg hatásának kitett rész gyorsabban növekszik és a szerv ennek következtében elfordul a meleg forrásától. A napsugárban azonban a fény és meleg egyszerre hat, s ebből adott esetben az következik, hogy a szerv a fény felé fordul, vagy attól elhajlik aszerint, amint a napsugárban a fény vagy a hőhatás kerekedik felül. Az előbbieket során utaltunk arra, hogy valamely tényező hatásában mutatkozó eltérések, vagy a szervek tulajdonságaival, vagy azzal függhetnek össze, hogy a tényező egyszerű-e avagy összetett. Itt nyilvánvalóan az utóbbi esettel van dolgunk.

A botanikusoknak a szervek külső hatásoktól függő növekedéséről alkotott véleménye lényegesen bonyolultabbá vált Darwin ragyogó és mindig eredeti vizsgálódásai után. Darwin bebizonyította, hogy az a hely, ahol a külső tényező hat, valamint az a hely, ahol ez a hatás megmutatkozik, nem esik szükségképpen egybe. Így például a nehézkedési erő nyilvánvalóan elsősorban a gyökér csúcsára hat, mégis ez a hatás, a geotropizmus hatása, bizonyos távolságra a csúcstól, a leg-erősebb növekedés övezetében jelentkezik. Erre a megállapításra azon az alapon jutott, hogy olyan gyökerecskék, melyek csúcsait levágták, szinte sohasem hajolnak el, hacsak új csúcs nem nő rajtuk. A száruk nem mutatják ugyanezt a jelenséget, ezzel szemben némely rügy a fényvel kapcsolatban tanúsít hasonló magatartást, amely viszont a gyökereken nem fordul elő. Így például a csírázó zab és különösen a madársóska csúcsát beborító hüvely — a *koleoptilon* — bámulatosan érzékeny a fényvel szemben. Ha ezeket a részeket finom ónlemez-kúpokkal elzárjuk, az egyébként mindig jelentkező heliotrópikus elhajlás az alsó részekben lényegesen gyöngébb lesz.

Ezek a tények elegendő alapot adtak egyes botanikusoknak ahhoz, hogy a gyökércsúcsban, vagy a gabonafélék koleoptilonjában valami különleges érzékszervet gyanítsanak, amely ismeretlen módon átadja benyomásait a növekvő résznek, hogy az azután a fény felé

görbülhessen. Mi ezzel szemben úgy véljük, hogy ezen tények alapján nem tételezhetünk fel a növényben semmiféle különleges érzékszerveket és idegszálakat. Erre vonatkozóan most csak annyit jegyzünk meg, hogy a szóban lévő tények ilyenféle magyarázatára nincs elegendő ok mindaddig, amíg más, egyszerűbb magyarázatok körét ki nem merítettük és amint hamarosan látni fogjuk, a tudományos magyarázatnak ezt az előfeltételét ezen a területen még távolról sem valósították meg.

Miután általános vonásokban megismertük a legfontosabb külső tényezők: a fény, a hő és a nehézkedési erő hatását, próbáljuk meg, hogy a jelenségek lényegébe is behatoljunk. Eddig a növényt a maga egészében vizsgáltuk; a növény élete azonban milliányi sejt életéből tevődik össze. Most vizsgáljuk meg, hogy az egyes sejt fejlődése hogyan viszonylik a növekedés általános jelenségeihez. Tudjuk, hogy minden sejt megnő élete folyamán, megváltoztatja külső alakját és falának szerkezetét, egyszerűval növekszik. Azt is tudjuk, hogy a növény bármekkora is, élete egyetlen sejttel kezdődik s azután millió sejt lesz belőle. Nyilvánvaló tehát, hogy a növénynek, mint egésznek növekedése szorosan összefügg két jelenséggel: az egyes sejtek növekedésével és szaporodásával.

\*

Megvizsgálhatjuk-e azonban, hogy hogyan folyik le a sejtek növekedése és szaporodása, melyektől a növény általános növekedése függ. A vizsgálathoz alkalmas anyagot kell választanunk. Olyan szervet, vagy szervezetet kell keresnünk, amelyben az élő sejt megfigyelhető anélkül, hogy azzal életét megzavarnánk. Erre a célra leginkább a fonalalakú moszatok alkalmasak, amelyekből például az úgynevezett békanyál főtömege van. Ha egy ilyen zöld szálat mikroszkóp alá teszünk, azt látjuk, hogy egy hosszú sor sejtből tevődött össze. Az 51. ábra felső képén a zöld fonal sejtjének rajzát látjuk. A sejt rajza annak a zöld anyagnak jellegzetes alakját tünteti fel, amely a növény zöld színét adja és amelyet korábbi előadásunkban klorofill-testecskének neveztünk. A sejtben fogazott szélű zöld szalagot láthatunk, amely csavarmenet alakban a sejtfallal belső felülete körül helyezkedik el. Ez a különös csavarmenetszerű elhelyezkedés adja meg ennek a moszatnak a latin nevét: *Spirogyra*. A spirogyra sejtjei — ezen a különös sajátságán felül — semmiben sem térnek el a már ismert sejtípusoktól: faluk cellulózból van, a sejtüregben protoplazma és nedv, a sejt közepén pedig — mint a pók a hálójában — elhelyezkedik a sejtmag, amelyet finom protoplazmaszálak kötnek össze a sejtfallal. Ha egy ilyen fonalalakú moszatot egy

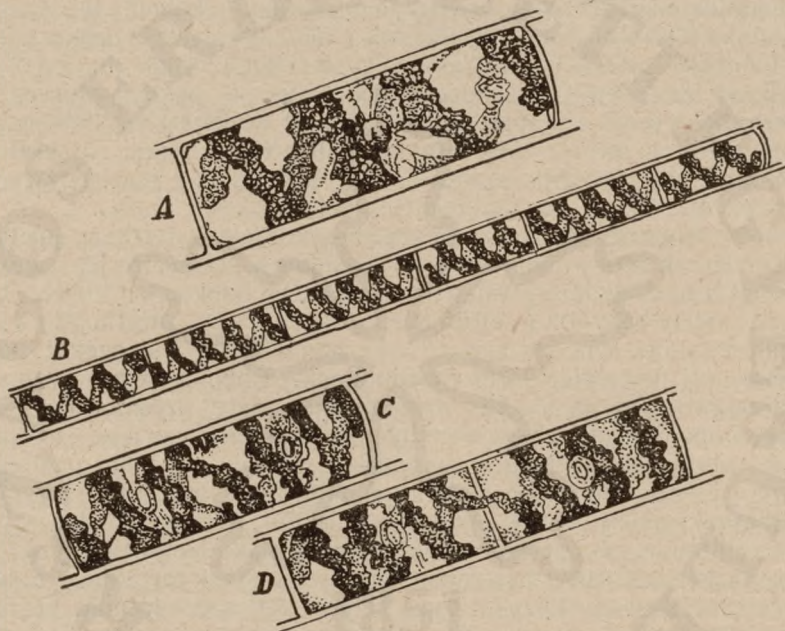
csepp vízben mikroszkóp alá helyezünk, órákon, sőt napokon keresztül megfigyelhetjük, s közben különféle hőmérsékleti és megvilágítási hatásoknak tehetjük ki. Ilyen körülmények között például megfigyelhetjük, hogy a sejtek fény hiányában gyorsabban növekednek, illetőleg hosszabbodnak, mint világosságban. A fénynek nyilván ugyanilyen elnyomó hatása van a szaporodásra is ; legalább is természetes körülmények között ez a folyamat leginkább, sőt esetleg kizáróan csak éjjel megy végbe. Az első kutatóknak tehát valóban fel kellett türelemmel fegyverkezniük, ha ugyanazt a sejtet akarták megfigyelni. Az éjszaka jórészt átvirraszthatták, hogy mondjuk minden órában egy-egy fonalpéldányt alkoholba telessenek, s utána folytatólag megfigyelhessék a folyamat további szakaszait a különböző sejtekben.<sup>1</sup> Manapság egyszerűbben járunk el : a moszatokkal telt edényt éjszakára hideg helyre — például pincébe — tesszük, s ezzel a szaporodási folyamatot késleltetjük, illetőleg át-helyezzük a megfigyelőre nézve alkalmatlan éjszakai órákról az alkalmasabb nappali órákra. Maga a folyamat igen egyszerű : *osztódás*, a sejtmag tartalma ketté válik.

A folyamat úgy megy végbe, hogy az egyik sejtben, amely a fejlődésnek arra a fokára érkezett, amikor a kettéválás jelentkezik, a sejt hosszának közepetáján a szemben lévő falakon két kinövés látszik, amely benyúlik a sejtüregbe (51. ábra, C, D). Minthogy a vizsgált sejteknek hengeres alakjuk van, arra készíthetjük azokat, hogy hosszanti tengelyük körül elforduljanak. Ebből a célból óvatosan előre-hátra rázzuk a sejtet a mikroszkóp alatt. Ilyenformán meggyőződhetünk arról, hogy bármilyen helyzetben is van a sejt, az említett kinövések megtartják alakjukat. A kinövések tehát nem egyszerű csapok, mint első látásra gondolhattuk, hanem egész gyűrűt alkotnak, amely a sejt fal belsején körülfut. Ha ugyanazt a sejtet figyeljük meg, észrevesszük, hogy a gyűrűalakú benyúlás egyre jobban belenő a sejtbe, s hosszában kettéosztja annak tartalmát. Ezidőtájt a sejtben egy központi mag helyett két magot látunk. Végül a gyűrűalakú kinövés a közepén teljesen bezáródik és a sejtben keresztül összefüggő válaszfalat alkot. Így lesz egy sejtből kettő. Mindkét sejtben külön sejtmag, protoplazma és klorofill-szalag van, az elválasztó fal is ugyanabból a cellulóz anyagból épült, mint a külső falak. Az újonnan keletkezett sejtben, mihelyt az teljesen kifejlődött, megismétlődik ugyanez az osztódási folyamat és így folytatódik tovább. Az eredmény az, hogy egy sejtből egész sor sejt, fonál képződik.

<sup>1</sup> Állandó mesterséges megvilágítás mellett is végbemegy a sejtosztódás; a fény tehát közvetlenül nem akadályozza az osztódást, hanem a sejt működését inkább más irányba tereli. — *Az orosz kiadás jegyzete.*



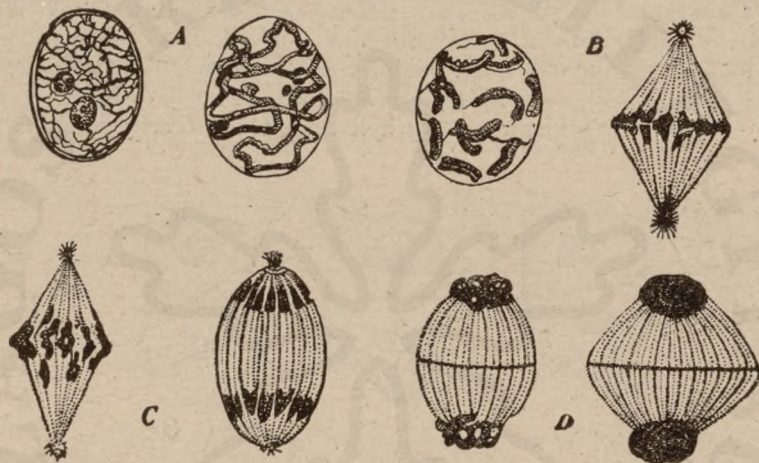
Az osztódási folyamat igen egyszerű a most megfigyelt esetben. A legtöbb esetben azonban másként történik. A tudósokat már régen meglepte az a tény, hogy a magasabbrendű növények szöveteiben a sejtek fejlődése során nem sikerült megfigyelni a sejttöregeken belül az elválasztó fal fokozatos növekedését. Úgy tűnik mintha az elválasztó fal szinte észrevétlenül, hirtelen jelennék meg. Az alaposabb vizsgálat azonban meggyőzött arról, hogy a válaszfal ilyen esetben is fokozatosan fejlődik ki, csak hogy más módon. Ez akkor derült ki, amikor több figyelmet fordítottak a sejtek már többször említett



51. ábra

részére, a sejtmagra; most mi is rátérünk a sejtmag tárgyalására. A sejtmagról az utóbbi időben szinte köteteket írtak. A spirogyrában is megfigyelhettük, hogy a sejtosztódás folyamatát megelőzi a magosztódás folyamata, más esetekben azonban ezeknek a folyamatoknak az összefüggése még szorosabb. A sejtosztódást megelőző számos magfolyamat minden esetben egyféleképpen zajlik le és ami még érdekesebb, csaknem ugyanaz a növényeknél és az állatoknál is. A sejtmag mikroszkópos vizsgálata közben könnyen megkülönböztet-

hetünk két alkatrészt; az egyik könnyen megfesthető bármilyen festékanyaggal, a másik pedig nem színeződik. Ez a színeződő anyag — a *kromatin* (vagy *nuklein*) — nem sokkal az osztódás bekövetkezése előtt fonalalakú, összekúszált gomolyag (52. ábra A). Később ez a fonalgomolyag rövidebb darabokra válik szét,<sup>1</sup> s ezek a darabkák a magorsó egyenlítői — ekvatoriális — síkjában csoportosulnak, amint azt az 52. ábra B rajzán a jobboldalon láthatjuk. Ezek a fonaldarabkák, amelyek rendszerint meghatározott számban fordulnak elő, kétfelé válnak és a mag sarkai — pólusai — felé húzódnak. A mag közben csíkozott orsóalakot ölt és abban sugár- vagy recealakok



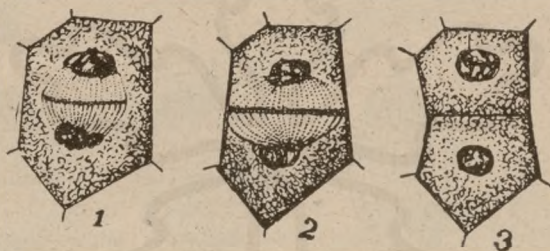
52. ábra

helyezkednek el (ezek a csíkok nem színeződnek, ezért anyagukat *akromatinnak* nevezzük) (52. ábra C). Amikor a kromatin a sarkokban összegyűlik és ismét gomolyalagot ölt, már két mag van előttünk (52. ábra — D). Ezzel véget ért a magosztódás szakasza és megkezdődik a tulajdonképpeni sejtosztódás. Az orsó egyenlítői síkjában ismét apró szemcsék jelennek meg, (53. ábra — 1.) s ezek hártába, vagy lemezbe tömörülnek. A lemez anyaga — ugyanúgy, mint a sejtfalé — cellulóz (53. ábra — 2.). A lemez tovább nő, rátámaszkodik a sejt-falakra és a sejtet kettéosztó válaszfal előttünk áll (53. ábra — 3.). Minden újonnan keletkezett sejtnek magja van, amely önállóan

<sup>1</sup> Az újabb vizsgálatok kimutatták, hogy a gomolyag nem egyetlen fonalból áll, hanem különálló darabkákból, az úgynevezett kromosómákból. — Szerk.

tovább él és növekszik, amikor pedig bizonyos nagyságot elér, osztódik.

Az előbbieken általános fogalmat alkothattunk arról, hogy a növény miért nyúlik meg jobban a sötétben; megállapítottuk, hogy a sejt megnyúlása és osztódása is — a szervek növekedésének ez a két döntő tényezője — fény hiányában erőteljesebb. Kísérleljük meg most, hogy a fény késleltető hatásának közelebbi okát is megkeressük. Kísérleteket végeztek, amelyek erre a kérdésre fényt vetnek és ezen felül gyakorlati szempontból igen jelentős kérdésekkel is összefüggésben állanak. Már régen észlelték, hogy a sötétben növekedett szárban több a víz, szöveteiben pedig kisebb a feszültség és általában kevésbé ellenállóak, mint a fényben nevelkedett szárok. Ezt a különbséget könnyen tapasztalhatjuk magunk is a sötétben és a fényben nevelt madársósokán. A két szélső eset (a teljes sötétségben és a fényben nevelt száron) között észlelt különbséget — természetesen csökkent mértékben — meg kell találnunk az árnyékban és a

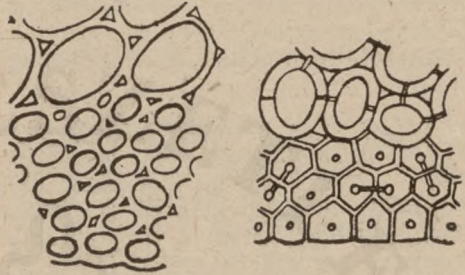


53. ábra

teljes fényben nőtt növények között is. A vizsgálatok során arra a feltevésre jutottak, hogy ilyen módon megmagyarázhatjuk a gabonafélék megdőlését is, amelyet — mint láttuk — hasztalanul próbáltak a kovaföld hiányával megokolni. A feltevés azon a tapasztalati tényen alapul, hogy elsősorban a sűrűn vetett gabonák dőlnek meg, egyes gabonaszálak, amelyek magukban nőttek, jóformán sohasem fekszenek le. Abból a célból, hogy a gabona szárát mesterségesen beárnyékolják, az alábbi eljárást követték: egy vagy néhány gabonaszálra agyágcsővet, úgynevezett alagcsövet húztak rá, s mikor a szár kinőtt az első csőből, még egy csövet illesztettek az elsőre és így folytatták tovább. A növény természetesen így csak felülről kapott fényt és oldalról mindig árnyékban volt. A növény, amint előrelátható volt, ilyen körülmények között igen megnyúlt, szára azonban gyöngye és kevésbé ellenálló lett. Az ilyenformán árnyékban nőtt búza szalmá-

ját és az egészséges búzaszalmát összehasonlító mikroszkópos vizsgálat alapján a következő különbséget állapították meg: a beárnyékolt növény sejtjei szemmel láthatóan megnyúltak, de a sejtfalak lényegesen vékonyabbak voltak, mint az egészséges növényeknél; az utóbbi sejtjei viszont rövidek és vastagfalúak voltak.

A fény tehát a szó szoros értelmében nem késlelteti a növény növekedését, hanem csupán a növekedés irányát változtatja meg. A sejtfalak ahelyett, hogy megnyúlnának és minden irányban szétterjednének, megvastagszanak. Ugyanezt a különbséget észlelhetjük az egészséges és a megdőlт gabona szalmájának összeha-

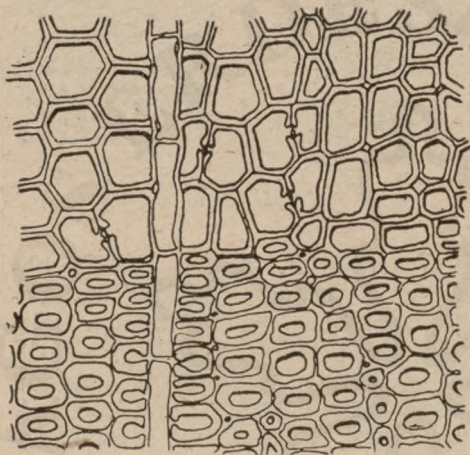


54. ábra

sonlító mikroszkópos vizsgálata alapján is. Az 54. ábrán jobboldalon az egészséges, baloldalon a megdőlт növény szalmájának metszetét láthatjuk. Az egészséges szalma minden sejtfala vastag és az alsó sorokban (a szalma külső rétegeiben) a falak annyira megvastagodtak, hogy a sejtüreg szinte csak pontnak látszik (a néhány szomszédos sejtet összekötő harántcsíkok a pórusok csatornái; 36. ábra — 3.). A falak megvastagodásával összefüggésben az egészséges szalma sejtjeinek hosszanti metszete lényegesen rövidebb. A szár túlságosan gyors megnyúlását, amelyhez elégtelen falvastagság párosul, a túlsűrű állományú növények önbeárnyékolása eredményezi; ebben kell látnunk a gabonák megdőlésének igazi okát. Ezen a káros hatáson tehát ritkább vagy soros vetéssel segíthetünk, mert ebben az esetben minden szár elegendő fényt kap a rendes fejlődéséhez. A felhozott tények szükségessé teszik, hogy a növény növekedésére vonatkozó közkeletű fogalmakat még egyszer korlátozzuk. Azt már láttuk, hogy a növekedés nem jelent mindig tömeggyarapodást, hiszen például a csírázást a térfogat megnövekedése mellett súlyvesztés kísér. Most pedig arról győződhetünk meg, hogy a növekedés nem jelenti szükségképpen a szerv meghosszabbodását vagy megvastagodását sem, mert a növekedés olykor más irányban, például a sejtfalak megvastagodásában jelentkezhet. Valójában tehát akkor lehetünk meggyőződve arról, hogy a növény növekedik, ha megállapítottuk, hogy sejtfalai akár hosszanti, akár harántirányban, vagy *vastagságban* növekednek.

A sejtek alakját azonban nemcsak a fény hatása változtathatja

meg a fent leírt módon. Nyilvánvaló, hogy a sejt alakja merőben mechanikai okokból is megváltozhat. A múlt előadásunk alkalmával láttuk, hogy minden fatörzs-keresztmetszetben úgynevezett évgyűrűk találhatók (39. ábra, alul). Az évgyűrűk feltűnőbbek a tűlevelűekben, például az erdei fenyőben. Az évgyűrűk okát nyilvánvalóan abban kell keresnünk, hogy a növekedési folyamatok télen időszakosan szünetelnek. Ha azonban a téli nyugalmi állapot után tavasszal olyan sejtsorok csatlakoznának az előző őszi folyamán lerakott sejtsorokhoz, amelyek azoktól semmiben sem különböznek, akkor a szomszédos rétegek között sem lenne különbség. Nem határolódnának el egymástól, hanem valamennyi réteg egyetlen összefüggő mezőbe folyna össze. A rétegek azért határolódnak élesen el, mert a tavasszal lerakott rostok is élesen eltérnek a megelőző év őszi lerakott rostoktól. Szabad szemmel is láthatjuk, hogy minden évgyűrűben két különböző rész van: a bél felé eső tavaszi réteg és a kéreghez közelebb lévő



55. ábra

őszi réteg. Az első réteg szerkezete lazább, tehát a színe világosabb, a másik rétegé sűrűbb, s színe éppen ezért sötétebb is. A sötét és világos csíkok váltakozását minden faforgácson, még a gyufaszálon is láthatjuk. Mikroszkópon vizsgálva azt is meglátjuk, hogy ennek a különbségnek mi a közvetlen oka. Az 55. ábra egy kis darab fenyőfa szövetet, egy gyufaszál keresztmetszetének kis részét mutatja be. A metszet közepén halad át a két év rétegeinek határa. Az ábra alsó részén van a nyári sejtek egy része és valamennyi őszi sejt — nevezzük ezeket a tavalyi sejteknek —, míg a felső részen az ez évi tavaszi sejtek helyezkednek el.<sup>1</sup> Könnyen megállapíthatjuk, hogy az őszi sejtek és a következő év tavaszán lerakott sejtek között milyen éles eltérés van. Az egyik rétegben a sejtek

<sup>1</sup> Az a hosszirányú sáv, amely az egész metszetet jobb- és baloldali részre osztja nem más, mint az előző előadásban említett bélsugár. — Az orosz kiadás jegyzete.

alakja lelapított, falaik vastagok s a sejtüreg nyílása kicsi és keskeny. A másik részben csaknem négyszögű, vékonyfalú sejteket látunk, amelyekben nagy sejtüregek vannak. A bõtanikusok hosszú ideig nem tudtak magyarázatot adni arról, hogy a sejt alakja miért változik meg az évszakokkal, míg végül rájöttek arra, hogy a változásnak a szövetek kölcsönös nyomásával, feszültségével kell összefüggnie. Elõzõ előadásunkban már foglalkoztunk az úgynevezett hosszanti feszültség jelenségeivel, amelyek abból erednek, hogy a szár szöveleinek megnyúlása nem egyenletes. Előfordulhat azonban és a valóságban elő is fordul, hogy a szár szöveite között nem csupán hosszanti irányban, hanem keresztirányban is feszültség lép fel annak folytán, hogy a szövetek megnyúlása nem egyenletes. A háncsszövet állandóan összehúzza, összenyomja a faszövet növekvő rostjait és fordítva is: a faszövet folytonosan szétfeszíti, kifelé nyomja a kérget. Ennek bizonyítékai azok a hosszanti repedések, amelyek a faszövet belülről ható nyomása következtében a kérgen rendszerint megjelennek. Arról, hogy még a legsimább kéreg is széthúzott, megfeszült állapotban van, s hogy ennek folytán nyomást gyakorol a faszövetre, könnyen meggyőződhetünk. Ha a kérget hosszanti irányban bemetszünk, a metszés helyén keletkezett sebhely szélei tátongva szétnyílnak; ha leveszünk egy kéreggyűrűt a szárról és nyomban — tehát anélkül, hogy megszáradna — visszaillesztjük a szárnak arra a részére, ahonnan levettük, látjuk, hogy a gyűrű szélei már nem illenek össze és akárhogy erőlködünk, a gyűrű nem záródik. A kéreg tehát vasgyűrűként szorítja össze a fejlődő faszövetet és minél erősebben fejlődik a faszövet, annál nagyobb a nyomás, amelyet el kell viselnie.

Nyilvánvaló, hogy a nyomás állandóan fokozódik és öszre eléri a tetőpontját. A fokozódó nyomás hatására a faszövet sejtjei egyre inkább összelapulnak. Kísérletekkel bizonyíthatjuk, hogy az elgondolás helyes. Ha tavasszal mesterségesen megnöveljük a kéreg nyomását azáltal, hogy a fát körülkötözzük vagy vasabroncsot illesztünk rá, akkor a megfelelő helyen egész évben olyan sejtek keletkeznek, mint az ősziek; ha pedig éppen fordítva, a nyomást csökkentjük azáltal, hogy a kérget hosszanti irányban több helyen bemetszünk, akkor ezeken a helyeken egész év folyamán a tavaszi sejtekhez hasonló sejtek keletkeznek. Ezek tehát a sejtek alakjának tisztán mechanikai okokra visszavezethető változásai.<sup>1</sup>

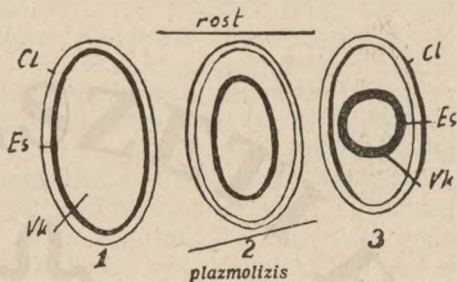
<sup>1</sup> Még egy igen érdekes, merőben mechanikai eredetű hatást fedeztek fel a szövet növekedésében. A fatörzseknek a szél által okozott mozgása (erre a XIX. század elején hívta fel a figyelmet Knight, híres angol kutató, aki felfedezte a nehézkedési erő hatását a növekedésre), továbbá a növekvő részek mesterséges feszültsége (erre pedig néhány korunkbeli német botanikus figyelmeztet), a mechanikus szövetek fejlődését mozdítják elő. Eszerint a szövetek akkor fejlődnek leginkább, amikor a szükség úgy kívánja. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

A következő lépésünk az, hogy megmagyarázzuk magának a növekedésnek a mechanizmusát, megmagyarázzuk azt, hogy egyáltalában miért növekszik a sejt és miért vehet a növekedés külső tényezők hatására bizonyos irányt. A botanikusok a sejt növekedésének alapmechanizmusát a következőképpen vázolják. A protoplazmában a fehérjeanyag kémiai változása következtében olyan anyagok jelennek meg, amelyek mohón magukhoz vonzzák a vizet. A sejten belül víztartalmú cseppek tűnnek fel<sup>1</sup>: az úgynevezett *vakuolumok*. A vakuolumok azután egybefolyanak és tömegük a sejtfalakhoz nyomja a protoplazmát (56. ábra — 1. *Vk.*). Ekkor a protoplazma zacskó alakot ölt: ez az *elsődleges tömlő* (56. ábra — 1. *Es.*). Ebbe a vakuolumba (mint a 40. ábrán bemutatott készülékbe) — az abban feloldott anyagok hatására — ozmózis révén egyre újabb vízmennyiség hatol be s minthogy a sejt zárt hólyag, a sejtnedv térfogatának nagyobbodása nyomást gyakorol a falra és azt szétterjeszkedésre, növekedésre készíti. Ugyanakkor a protoplazma a külső, a falmentén fekvő felületén folytatja a cellulóz kiválasztást. Azt, hogy a cellulózt a protoplazma választja ki, a következő szép kísérlettel bizonyíthatjuk. Vágjunk el a mikroszkóp alatt egy élő sejtet és bocássuk vízbe a protoplazma egy részét. A protoplazma, mint minden szabad állapotban lévő folyadék, gömbalakot vesz fel és bizonyos idő elteltével a felületén cellulózt választ ki, tehát új sejté lesz. Igen érdekes, hogy a cellulózképzésre csak azok a plazmarészek képesek, amelyekben sejtmag van. Ezek szerint a sejt növekedése és a mag között mélyreható kapcsolat állapítható meg. A sejt rendes fejlődése közben is észlelhetjük, hogy a protoplazmából történő cellulózképződés és a sejtmag között összefüggés van. A falak vastagodása ugyanis lehet egyenletes vagy nem egyenletes és kiterjedhet a falak egész belső felületére vagy csupán annak egy részére; mindez a protoplazma és a mag kölcsönös elhelyezkedésétől függ.

Az elmondottak alapján a növekedés folyamatát a következőkben foglalhatjuk össze. A protoplazmának nevezett anyagkeverék, amely elsősorban fehérjékből áll, kémiaiilag átalakul. A vegyi folyamatokkal egyfelől olyan anyagok jönnek létre, amelyek a sejtnedvben oldódnak és ozmotikus úton vizet vonzanak, tehát növelik a vakuolumot és a sejtfalak feszültségét. Másrészt a protoplazmából cellulóz is választódik ki, vagyis az az anyag, amelyből a növekvő sejtfalak épülnek. Ha magyarázatunk helytálló, az adott körülmények megfordításával a megnagyobbodással ellenkező jelenséget idézhetünk elő, vagyis a sejtnek, de főként a vakuolumnak és a megnyúlt elsődleges tömlőnek kisebbednie kell. Ezt a következtetést az alábbi egyszerű kísérlet igazolja. Ha a sejt és ezzel együtt az egész szerv tér-

<sup>1</sup> Lásd: II. előadás, 12—C ábra. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

fogatának megnövekedése annak a víznek behatolásától függ, amelyet a vakuolumok oldata vonz a sejtbe, akkor az eset fordítottja is áll, vagyis ha a sejtet vagy az egész szervet olyan oldattal vesszük körül, amely elvonja a vakuolumokból a vizet, akkor a sejt, illetőleg a szerv csökkenését idézzük elő. Helyezzünk tehát a mikroszkóp alatt egy élő sejtet olyan cukor- vagy sóoldatba, amelynek telítettsége nagyobb, mint a sejtnedvé. Azt tapasztaljuk, hogy a sejt térfogata kisebbedik (56. ábra — 1. és 2.), amikor pedig a sejttel — amely szilárd anyagtól van — tovább már nem kisebbedhetik, az elsődleges tömlő elválik a sejttől és rugalmasságánál fogva



56. ábra

követi a vakuolum további csökkenését (56. ábra — 2.) és végül szabályos gömbbé válik (56. ábra — 3.). Az elsődleges tömlő csökkenését a rövideg kedvéért *plazmolízis* kifejezéssel jelöljük. Mindezekből nyilvánvaló, hogy a növekedés alapmechanizmusának a plazmolízissal ellentétes jelenségnek kell lennie.<sup>1</sup> Ha mikroszkóp nincs a kezünk ügyében, egyszerűbb módon is meggyőződhetünk az előadottak helyességéről. Vegyük valamely füves növény nedvdús szárát vagy virágkocsányát, mérjük meg pontosan a hosszát és helyezzük 5%-os konyhasóoldatba. Ha bizonyos idő elteltével a szárát ismét megmérjük, megállapíthatjuk, hogy lényegesen rövidebb lett, tehát a szár a növekedéssel ellentétes jelenséget mutat. Áztassuk ezután a szárát tiszta vízben. A szár újból eléri eredeti nagyságát, tovább él és növekszik; a szár tehát a kísérletet nem sýnyi meg, viszont a kísérlet hozzásegít a növekedés mechanizmusának megértéséhez.

Ha a nedvnek a falra gyakorolt nyomása valamilyen körülmény folytán nem növekedik — így például a sejt a felszívott vízmennyiséget kipárologtatással elfogyasztja — a protoplazmából keletkező cellulóz továbbra is folyamatosan lerakódik a nem táguló sejtfalak belső oldalán és ennek következtében a fal megvastagodik. A megvastagodott fal még kevésbé enged a nedv nyomásának és még

<sup>1</sup> Az 56. ábrán ezt jelképesen nyilakkal fejeztük ki. Már említettük, hogy a szinte szilárd anyagtól álló fal a fordított folyamatot nem mutathatja olyan határozottan, mint az elsődleges tömlő. *Kl* = cellulóz, *Pr* = elsődleges tömlő, *Vk* = vakuolum. — *Az orosz kiadás jegyzete.*



jobban késlelteti a sejt növekedését. Ez egyúttal megmagyarázza azt a már említett tényt is, hogy a szalma növekedésének késleltetése a falak megvastagodását eredményezi. Azt is látjuk azonban, hogy a szervek késedelmes növekedése és a sejtfalak egyidejű megvastagodása vízhiány következtében jelentkezik. Valószínűnek látszik, hogy a fénynek a növekedést késleltető hatása is — amellyel az ímént ismerkedtünk meg — attól függ, hogy a növény a fény hatására erősebben párologtatja a vizet s ennél fogva a nedvnek a sejtfalakra gyakorolt nyomása — amely végeredményben a növekedés oka — nem érhet el akkora feszültséget, mint árnyékban vagy sötétben, ahol vízbőség van.

Ha tehát ezek szerint a heliotropizmus jelenségét összefüggésbe hozhatjuk a víz párologtatásával, akkor talán hasonló módon megmagyarázhatjuk a heliotrópos hatás *átadásának* azt a sajátos esetét is, amelyet Darwin ír le a gabonafélék száraival végzett kísérleteivel kapcsolatban. Gondoljunk vissza arra, hogy e szervek csúcsaikon erőteljesen vízcseppeket választanak ki; ebből alaposan következtethetünk arra, hogy erőteljesen párologtatják el a vizet. A csúcsban jelentkező vízvesztéséget az alsóbb növekedési övezetből kell pótolnia; ha tehát egyoldalú a megvilágítás, a növekedés is egyoldalú lesz s ennek következtében a növény a fény felé hajlik el.

Az elmondottak során meggyőződhetünk arról, hogy a *szövetek* növekedését a közvetlenül ható mechanikai nyomás (a fatest növekedése) késlelteti. Most már látjuk azt is, hogy a belső feszültség csökkenése is késlelteti a szövetek növekedését, mely mindkét esetben a sejtfalak erős megvastagodásában mutatkozik meg. A külső tényezők egyoldalú hatására egész szövetek növekedése egyenlőtlen, egész szervek elhajolnak. Ugyanilyen egyenlőtlen növekedést azonban *ugyanannak a sejtnak különböző részein* is észlelhetünk, amely — mint az előbbieken láttuk — a mag és a protoplazma eloszlásával függ össze. Megfigyelték, hogy amikor egyes sejtek meggyűrűsödnek, a protoplazma a görbülés homorú oldalán gyűlik össze. Ez az oldal nyilván jóval vastagabb lesz, nagyobb ellenállást mutat az ozmotikus nyomással szemben és kevésbé nyúlik meg. Tegyük hozzá, hogy nemcsak a sejtfal vastagságának jut szerep a növekedés jelenségeiben; megváltozhatnak a sejtfal kémiai és fizikai sajátságai is és a sejtfal ennek következtében kisebb-nagyobb mértékben rugalmassá vagy többé-kevésbé nyújthatóvá válik. Bebizonyítottuk, hogy van különleges eszköz, amely a sejtfalak cellulózanyagát megpuhíthatja. Az ilyen enzim helyi fellépése hathat a sejt növekedésének irányára és a sejt külső vázára. Könnyen lehet, hogy ezek a tények adták meg a kulcsot Darwinnak ahhoz a másik megfigyeléséhez,

amely a csúcsaitól megfosztott gyökerekre vonatkozik. Nagyon valószínű, hogy a sejtben már igen korán, tehát amikor még közel van a gyökércsúcsához, fellép a protoplazma, a sejtmag és a többiek egyenlőtlen elosztása s ez eredményezheti később az egész szerv egyenlőtlen növekedését és meggyömbülését.

Csak így foghatjuk fel egészen azt, hogy milyen végtelenül különféle lehet a külső körülmények hatása a szervek, a szövetek, a sejtek és a sejtrészek növekedésére, s hogy ezek az együttesen vett jelenségek milyen bonyolult változatokban párosulhatnak egymással. Most belátjuk, hogy mennyire könnyelmű azoknak az eljárása, akik, mielőtt kimerítenék lehetséges magyarázatok egész körét, azt az utat választják, hogy a növekedés jelenségeiben a növény valamiféle pszichikai, tudatos tevékenységének eredményét látják.

\* \* \*

Ideje most már, hogy visszatérjünk a madársóskákhoz és a spárgához (l. a 50. ábrát). Az előadás folyamán megfigyelhettük, hogy a világos fényfolt szakadatlanul kúszott a falon felfelé s most már nem a tizedik, hanem körülbelül a negyvenedik osztáspontnál jár. Ez azt jelenti, hogy a tükör az *mn* állásból a *gs* állásba jutott s így magunk láttuk, hogy hogyan növekszik a növény. Közben a madársóska gyökércsúcsa is régen elhagyta ceruzával körülrajzolt állását és lényegesen megnyúlt. Nemcsak a növekedés folyamatának eredményét, annak közvetlen okát, vagyis a sejtek növekedését és megnyúlását láthattuk tehát, hanem felfoghattuk magát az egész folyamatot, pontosabban azt a mozgást, amelyet növekedésnek nevezünk.<sup>1</sup>

Ezzel elvégeztük az előadásunk elején kitűzött feladat első felét. Vajjon teljesíthetjük-e a feladat másik felét is? *Hallhatjuk-e* a növények növesztését? Kényszeríthetjük-e a növényt arra, hogy hanggal közölje, vajjon jól megy-e a sora vagy sem, jóllakott-e vagy éhes? Erre a kérdésre az alábbi kísérlet igenlő választ ad. Üvegbura alatt, amelynek csiszolt széle pontosan ráillik egy homályos üveglemezre,

<sup>1</sup> Ha azt is meg akarjuk tudni, hogy a növény a valóságban mennyit növekedett ez alatt az idő alatt, meg kell mérni a távolságot a csigától a falig. A növekedés valóságos értéke — mint már említettük — a falon leírt mozgás távolságánál annyiszor kevesebb, mint ahányszor nagyobb ez a megmért távolság a csiga sugaránál. Ha tehát ezzel a készülékkel a terem távoli sarkában ülő személynek egy félóra vagy egy óra alatt bemutatjuk a szár növekedését, akkor a közvetlen közelben ülő már egy perc alatt is észreveheti a fénysugár haladását; valóban a szár növekedését szinte percről-percre figyelemmel kísérhetjük, éppen úgy, mint az órán a percmutató járását. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

mesterséges fehér talajban<sup>1</sup> növényt nevelünk (57. ábra — baloldali kép). Tudjuk, hogy a növény egyik legfontosabb táplálékforrása a levegőben lévő szén-sav. Hogyan fedezhetjük a növény állandó szén-savszükségletét az üvegbúra alatt és főként hogyan tudhatjuk meg, vajjon a növény valóban felhasználja-e a szén-savat?

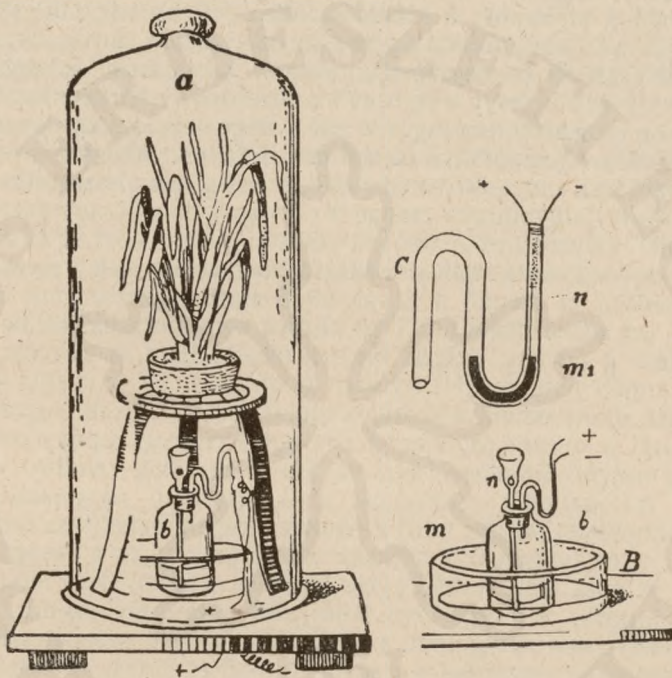
Tudjuk, hogy a növény és az állat életműködése a légköri gázokkal kapcsolatban homlokegyenest ellenkező. A növény elnyeli a szén-savat és oxigént választ ki, az állat viszont oxigént nyel el és szén-savat választ ki. Ebből következik, hogy ha a bura alá állatot is tennénk, a növény is és az állat is jól érezné magát és elvileg korlátlan ideig élhetnének így. Az állatot azonban helyettesíthetjük olyan készülékkel is (57. ábra B), amely a gázcsere szempontjából ugyanazt a funkciót végzi, mint az állat; bizonyos értelemben tehát ezt a készüléket mesterséges állatnak is nevezhetjük. Lássuk a készülék szerkezetét! Öntsünk egy lapos üvegtálba (57. ábra B) olyan folyadékot, amely mohón elnyeli a levegő oxigénjét. Állítsunk a tál közepébe egy üvegpalackot s annak dugóján vezessünk keresztül egy, a palack fenekéig érő, felül tölcséralakú üvegcsövet, továbbá egy másik üvegcsövet, mely kétszeresen meghajlított. A palack alá savat töltünk, a tölcsérbe pedig márvány- vagy krétagolyót helyezünk. Lássuk most, mi történik a készülékkel, ha a szorosán záródó A bura alá helyezzük. A bura alatt levegő, tehát oxigén is van. Az oxigént elnyeli a palackban lévő folyadék<sup>2</sup> s ennek következtében a bura alatt a levegő térfogata ( $a$ ) s azzal együtt a légnyomás is csökken. A bura alatt levegő légnyomásának csökkenésével egyidejűen azonban a savas palackban levegő ( $b$ ) térfogata növekedni kezd s nyomást gyakorol a savra, amely ennek folytán a csőben felemelkedik. A csőben emelkedő sav eléri a tölcsért (az eredetileg  $m$  ponton álló savszint ekkor  $n$  szinten van az 57. ábra B szerint), ahol érintkezésbe kerül a márvány- vagy krétagolyóval és szén-savat választ ki belőle.<sup>3</sup> Ez a szén-sav az elnyelt oxigén helyére lép. A szén-sav kiválasztódása mindaddig tart, amíg az A bura alatt helyre nem áll az eredeti nyomás; akkor a palackban lévő levegő ( $b$ ) ismét az előbbi térfogatra csökken és a sav szintje is visszaszáll a  $n$  pontról az  $m$  pontra. Az így helyreállott nyugalmi állapot addig tart, ameddig az üvegtálban lévő folyadék újabb oxigénmennyiséget nem nyel el s ezzel nem borítja fel újból a bura alatt ( $a$ ) és a palackban ( $b$ ) lévő levegő között az egyensúlyt. A készüléket ezek szerint jogosan neveztük mesterséges állatnak, mert lélekezik, oxigént nyel el, szén-savat választ ki,

<sup>1</sup> Lásd a IV. előadást. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> A folyadéknak nem szabad a szén-savat is elnyelnie. A kémia többféle ilyen folyadékot ismer. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>3</sup> Lásd a III. előadást. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

mégpedig körülbelül egyenlő mennyiségben. A bura felső részében háromlábú állványra növényt helyezünk. A növény felhasználja a készülék által szabaddá tett szén-savat s helyette oxigént választ ki, amelyet újra elnyel a B készülék tájában lévő folyadék. A növény és a B készülék között így ugyanolyan anyagkörforgalom keletkezik, mint a növény és az állat között. A bura alatt a növény időszakosan önműködő, állandó szén-sav-forráshoz jut. A szén-savellátás addig



57. ábra

tart, ameddig a márványgolyó teljesen fel nem oldódik, vagyis napokig vagy éppen hetekig. Ilyen módon a növény a márványgolyót teljesen megemésztheti és táplálékul felhasználhatja annak szén-savát, anélkül, hogy közvetlenül érintené azt.<sup>1</sup> Ha azonban még azt is akarjuk tudni, hogy a bura alatt minden jól működik-e, tehát,

<sup>1</sup> Ha a golyót időről-időre lemérjük, hozzávetőlegesen meghatározhatjuk, hogy a növény bizonyos számú nap vagy hét alatt mennyi szén-savat fogyasztott. — Az orosz kiadás jegyzete.

hogy a növény a szénsavat kiválasztja-e és felbontja-e, a *B* készüléket még a következő kellekekkel kell felszerelnünk. Az 57. ábrán *C* jelzéssel ellátott kétszeresen meghajlított üvegcsőbe kevés higanyt öntünk. Mikor a levegő (*b*) kiterjedése folytán a *B* készülékben a sav szintje a tölcsérben *m* ponttól *n* pontig emelkedik, akkor a görbe csőben a higany szintje is  $m^1$  ponttól  $n^1$  pontig emelkedik (*C* rajz). A görbe cső nyitott végébe két elszigetelt vezetőt építünk be, melyeket közönséges villanycsővel kapcsoltunk össze. Az egyik vezetők állandóan belemerül a higanyba, a másik azonban feljebb végződik és csak akkor jut a higanyval érintkezésbe, ha az  $n^1$  pontig emelkedik. Ekkor zárul az áramkör és megszólal a csengő. A készüléket könnyen beállíthatjuk úgy is, hogy a szénsav kiválasztása csak akkor kezdődjék el, ha az *a* bura alatt már fogytán van, s hogy valahányszor a szénsav kiválasztás megkezdődik, a csengő megszólaljon. Ahogyan a szénsav kiválasztódása önmagától megszűnik, mivel a sav visszazáll eredeti szintjére (*m*), ugyanúgy a csengő is elhallgat, ha a higanyszál visszater eredeti helyzetébe és ezzel megszakítja az áramkört. Ha azonban valami zavar következtében a készülékben szünetelne a szénsav kiválasztódása, a csengő a zavar idejé alatt szakadatlanul szólna. Sajnos, ezt a készüléket működés közben nem mutathatjuk be, mert működése a növény oxigén kiválasztásától függ, a növény pedig csak nappali fény mellett választ ki oxigént. Hogy mégis valami fogalmat alkothassunk a készülék működéséről, hítsük le gyorsan a bura alatt a levegőt (*a*) s ezzel a levegő térfogata éppúgy csökken, mint az oxigén elnyelése esetében. Ha a készülék rendben van, a levegő térfogatának csökkenése szükségszerűen ugyanazokkal a következményekkel jár, mint a növény oxigénkiválasztása esetében, tehát a márványgolyóból szénsav választódik ki és a csengő megszólal. A bura alatt levegő gyors lehűtése céljából étert fecskendezünk a burára. A levegő ezzel lehűl, térfogata összehúzódik, a savoszlop eléri a márványgolyót, a golyó habozni kezd, szénsav szabadul fel és nyomban megszólal a csengő. A lehűtés hatása azonban csak pillanatnyi s ennek múltával helyreáll az eredeti állapot és a csengő elhallgat.

A készülék működése tehát a következő: valahányszor a növényt szénsavhiány fenyegeti, a *B* készülék önmagától kezd szénsavat termelni s közben a csengő is szól. Ha pedig a készülék elromlik, s emiatt nem választódik ki a szénsav, a csengő szünet nélkül szól.

Ha röviddel ezelőtt azt kérdeztem volna: kényszeríthetjük-e a növényt arra, hogyha éhezik vagy ha csak az éhség veszélye fenyegeti, csengőhanggal figyelmeztessen bennünket, a kérdés csupán rossz tréfának tűnt volna. Pedig a bemutatott készülék működésének éppen.

ez az értelme. Működésének oka a növény életműködése, a növénynek az a képessége, hogy felbontja a szénsavat és oxigént választ ki. A növénynek ezt a képességét használtuk fel arra, hogy időnkint rövid csengetéssel jelezze, ha táplálkozása rendben folyik, s megszólaltassa a vészcsengőt, ha az éhség veszedelme fenyegeti. Egy szóval arra készítjük a növényt, hogy egyezményes hangjelekkel közölje, hogy mikor érzi magát jól s mikor megy rosszul a sora.

Az előadás elején felvetett kérdésre tehát jogosan válaszolhatunk igennel : nemcsak megláthatjuk, de meg is hallhatjuk a növény növekedését. A közben bemutatott kísérletek pedig ízelítő példát szolgáltatnak arról, hogy milyen fogásokhoz, sőt fortélyokhoz kell folyamodnunk, ha a természetet vizsgáljuk. Nem érzük be a csendes megfigyelő passzív szerepével, hanem harcba szállunk a természettel s a harcban felhasználjuk azoknak az eszközöknek és eljárásoknak egész rendszerét, amelyet a kísérletezés művészete bocsát rendelkezésünkre. A növény néma, tehát szóval nem felelhet, ezért írással kényszerítjük ; nem tud beszélni, csengetésre bírjuk ; így vagy másképpen, de választ csikarunk ki tőle a feladott kérdéseinkre . . .

## VIRÁG ÉS TERMÉS

*A növény ivartalan és ivaros szaporodása. — A virág. — A virág legfontosabb részei: a magkezdemény és a virágpör. — A megtermékenyülés. — A legegyszerűbb növények megtermékenyülése. — A virágos növények megtermékenyülését biztosító alkalmazkodások. — A virág úgynevezett lényegtelen részeinek szerepe. — Önmegtermékenyülés és kereszteződő megtermékenyülés. — A szél és a rovarok szerepe. — A rovarok odacsalogatására szolgáló virágrészek. — Különleges virágalakok: a rovarok útján való kereszteződő megtermékenyülést célzó alkalmazkodások. — A kertművészet szerepe a kultúrfajták kialakításában. — A kiválasztódás jelentősége. — Az ivaros folyamat lényegét illető élettani ismeretek fogyatékosága. — A termés különféle alakjai és elterjesztésük a szél, a víz és az állatok révén. — Eleven ivadékok adó növények. — A magvak szétszórása; a sárkaakác, a mimóza és a magrúgó. — Szelhordta termések: bóbíták és szárnyacsokkák. — Vízhordta termések: a kókuszdió. — Állathordta termések: tapadókapaszkodó és ehető termés. — Fagyöngy. — A talajba befűrődő termések: pityű, árvalányhaj. — Van-e a növénynek esze?*

A növekedés jelensége közben a növény szilárd anyagainak építésére felhasznált tápanyagok betöltik végső rendeltetésüket. A növények élete ilyen módon táplálkozásra és növekedésre vezethető vissza. A növény azért táplálkozik, hogy növekedjék és azért növekszik, hogy táplálkozzék, vagyis növelje a táplálék felvételére rendelt szerveinek felületét. A két kölcsönös folyamat igen sokáig tarthat, néhány növény esetében évezredekig. A két folyamatnak azonban mindenesetre van időbeli határa, noha nem tudjuk megmagyarázni, hogy miért van szükség erre a határra, s nem tudjuk megérteni, hogy ugyanaz a növényi szervezet miért nem élhet bármilyen hosszú ideig. Képzeljünk el olyan növényt, amely a föld felett indákat hajt, mint a szamóca, vagy a föld alatt gyöktörzseket képez, mint a pernyefű. Az így keletkező új növényrészek szétterjednek és egyre nagyobb területet népesítenek be. Az öreg részek közben elhalhatnak, megszakad a kapcsolat az öreg s a fiatal növényrészek között

és a részek külön válnak ; mindennek ellenére továbbra is ugyanannak a növénynek a részei, mely az egyik oldalán meghal, de a másik oldalán tovább él és fejlődik. Vagy nézzünk egy másik példát a fás növények köréből. Az egyik indiai fügefafa-féle szélesen kiterjesztett ágaiból járulékos gyökereket bocsát le. Ezek a gyökerek, amikor földet érnek és megvastagodnak, oszlopként támasztják alá az ágakat; egyidejűleg töltik be az alátámasztás és a táplálékellátás feladatát. Így egy-egy fa több gyeszjatina terjedelmű földterületet is betakarhat. Ebben az esetben is elpusztulhat a fa törzse, de úgy látszik, hogy a meggyökeresedett ágak ennek ellenére tovább élhetnek határozatlan ideig. Az ilyenféle szétterjedéssel még távolról sem merül ki a növény szaporodási képessége, amely más alakban is jelentkezik. A növény egész részei, például a szár a levelekkel együtt, elkülönülhetnek az anyanövényektől, s különleges alakot ölthetnek. Ilyenek azok a sarjhagymák, amelyek a liliomlevelek csúcsain keletkeznek, vagy a gumók, amelyek a burgonya földalatti szárain nőnek, s amelyekben nem csupán módosult szárképleteket láthatunk. Az ilyen szervekből származó valamennyi növényben jogosan ugyanannak a növénynek elvált és megváltozott kiágazásait, a gyors és sajátos szétterjedés következményeit látjuk. Azt gondolhatnók, hogy a növény e *vegetatív, ivartalan* szaporodásának ilyen és ezekhez hasonló módjai tökéletesen alkalmasak arra, hogy az egyed számára határtalan élettartamot biztosítsanak. Ez azonban nincs így. A növény élete nem tarthat örökké egy szakadatlan irányban: a folyamatnak időnkint félbe kell szakadnia, vissza kell térnie az eredethez, hogy újra kezdje az első sejtrel, újra megtegye ugyanazt az utat ugyanabban a sorrendben. A növények életében csakúgy, mint az állatokéban, a nemzedékek szükségszerű váltakozását látjuk; változatlanul követik egymást a fejlődésnek különböző lépcsőfokai, amelyeket életkornak nevezünk. Kiténik az is, hogy az új szervezetek létrejöttében — ebben az időszakos megújulásban — nemcsak egy, hanem két egyednek kell részt vennie. Ez a párosodás jelensége. A párosodás a szerves fejlődés minden lépcsőfokán — kezdve a moszattal, egészen az emberig — lényegében azonos jelenség: két lény, két élet egyesülése, közvetlenül pedig két sejt egygyéválása.

Annak a következtetésnek helyességéről, hogy a növényi élet fenntartásához szükség van a párosodás útján történő időszakos megújulásra, az a tény is meggyőző, hogy a növényvilágban — azoknak a legalacsonyabbrendű szervezeteknek kivételével, amelyek úgyszólván a szerveződés határán vannak — nem ismeretes egyetlen olyan növényi csoport sem, amely létét egyedül az ivartalan, az úgynevezett *vegetatív szaporodás* útján tartaná fenn, s amelynek



az ivartalan szaporodási folyamata mellett ne lenne *ivaros* — párosodás útján történő — szaporodási folyamata is.

Vizsgáljuk meg a párosodás jelenségének alakjait a növényvilágban.

Eleinte csak némely növényvel — a virágos növényekkel — kapcsolatban figyelték meg, hogy két nemük van; innen elnevezésük is: Phanerogamae (virágos vagy magvas növények). Ezt az elnevezést a 18. században Linné adta, hogy megkülönböztesse ezeket a növényeket a többi, az úgynevezett spórás növényektől (Cryptogamae). Ma a Cryptogamia megjelölés elvesztette a jelentőségét, mert a párosodás jelenségét a növények minden osztályában megtalálták, kivéve a legegyszerűbb szervezeteket, ahol ez a jelenség jóllehet valóban nem fordul elő.

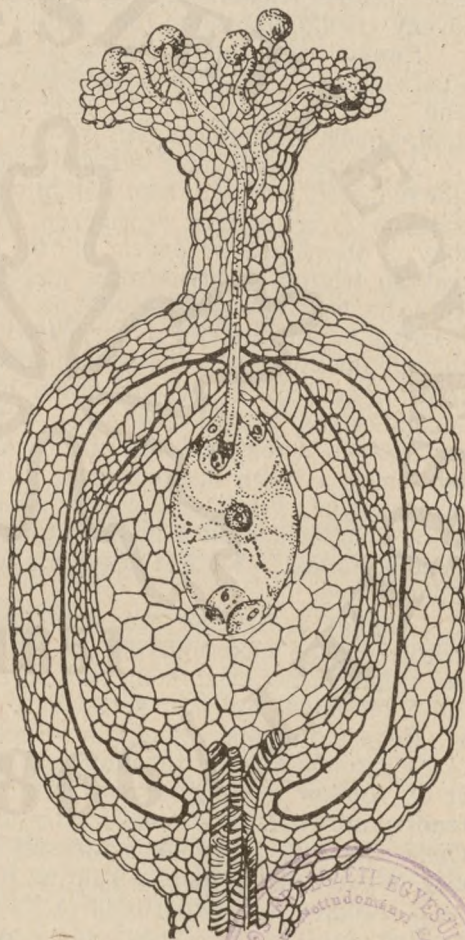
Az a gondolat, hogy a párosodás folyamatának a virágban kell végbemennie és hogy ennek a folyamatnak az eredménye a termés és a magvak — tehát a fiatal, kezdő növény gondolata — bizonyára már igen régen felmerült, de mint határozott tudományos elmélet alig két évszázados.

A gondolatot nyilván azok a növények sugalmazhatták, amelyeknek különböző nemű — termős vagy porzós — virágai különböző egyedeken vannak. Sok ilyen fa van; például a fűzfa, a nyárfa, a boróka; ilyen a kender is, amelynek hímvirágú — porzós-virágú — példányait a népryelv külön elnevezéssel illette. Ezeknek a növényeknek tehát olyan virágaik is vannak, amelyekből termés és magvak képződnek és olyanok is, amelyek csak porzókat tartalmaznak, s maguk nem alakulnak terméssé. Ahhoz azonban, hogy a másik virágban ez az átalakulási folyamat megindulhasson, szükség van a porzósvirágú példányok közreműködésére. Az első növény, amely ebben a vonatkozásban az ember figyelmét felkelthette, valószínűen a datolyapálma volt. Azt tartják ugyanis, hogy már Babilon piacán, később pedig az arab vásárokon a datolyapálma porzós virágzatát árusították, a vásárlók pedig ezeket a virágzatokat beporozás céljából a termős virágzatok közé függesztették, mert megfigyelték, hogy ilyen módon bőségesebb termést érhetnek el. *Termősvirágoknak* azokat a virágokat nevezzük, amelyekben magház van, amelyek tehát az elvirágzás után terméssé alakulnak; *porzós virágoknak* viszont azokat a virágokat hívjuk, amelyekben csak porzósálak vannak. A porzóban van a megtermékenyítő por, hímpor vagy *virágpor* (*pollen*); ezek a virágok virágzás után elhervadnak. A hím és női, vagyis a porzós- és termősvirágok azonban távolról sem minden esetben helyezkednek el különböző növényegyedeken; sokszor együtt vannak ugyanazon a példányon; ilyen növény a nyírfa, a tölgy, a fenyő, a kukorica. A legtöbb esetben a

porzók és a termők nemcsak ugyanazon az egyedben, hanem ugyanabban a virágban vannak együtt, tehát az ilyen virágok kétivarúak. Ilyen virágot mutat be a 10. ábra.

Vizsgáljuk meg, hogy milyen szerepet játszanak a porzók a termésképződésben. A porzó — mint már az első előadás alkalmával láttuk — legtökéletesebb alakjában többé-kevésbé fejlett szál, amelynek a végén két hosszúkás zsákalakú tok helyezkedik el. A tokok hosszában felrepednek és rendszerint sárgaszínű por hull ki belőlük. Minden egyes porzom egy-egy sejt, melyet többnyire gömbalakú és két-tós burok vesz körül; a külső burok vastag és díszes, a belső vékonyabb és egyszerűbb. A külső burkon rendszerint lyukak vagy néha kupakszerű fedéllel eltakart helyek vannak; a fedelek felpattanhatnak.

A termő legegyszerűbb és legszabályosabb alakja a palackalak (10. és 58. ábra). Az alul kiszélesedő, belül üres része a magház; ez tartalmazza a magkezdeményeket, egyet, többet vagy sokat. Az utóbbira példa a mák. A felnyúló vékony nyakrész a bibeszál, melyen néha csatorna halad keresztül. A gyakoribb eset azonban az, hogy összefüggő, de laza és szivacsos szövete van. E szövet sejtjei nem simulnak szorosan össze, hanem közöket, járatokat hagynak szabadon. A bibeszál csúcsa kiszélesedik: ez maga a bibe. A bibe alakjánál fogva tömpe orra, pajzsra, tollra emlékeztet; egyszóval igen különböző



58. ábra

alakú lehet. A bibe, amelynek felületét rendszerint szőrszálak borítják, ragadós folyadékot választ ki. A magház üregében levő magkezdemény szerkezetét úgy figyelhetjük meg, ha a magkezdeményt hosszában kettémetszük. A metszet közepén az úgynevezett magot látjuk, amelyet két burok vesz körül; a kettős burkon keresztül csatorna vezet a magig. A csatorna vagy felfelé fordul, mint az 58. ábra esetében, vagy lefelé hajlik. A mag felső részében figyelmünket egy nagy sejt köti le; ez a *csíraszák* (embriumzsák); ebben jelenik meg és fejlődik, mint majd meglátjuk, a növény *csírája* embriuma (58. ábra).

Ennyit nagy vonásokban a virág két legfontosabb szervének, a porzónak és a bibének szerkezetéről. A két szervben leglényesebb a magkezdemény, amely majd megtermékenyül és a virágporszem, amely megtermékenyít.

A megtermékenyülés első feltétele, hogy a virágporszem a bibe felületére kerüljön, ahol azután már könnyen megtapad a szőrszálakon és a ragadós folyadékon. A következőkben meglátjuk, hogy a természetben ennek mi az útja-módja. A kertészetben gyakran hasznos a mesterséges megtermékenyítés, s ilyenkor célszerű, ha ecsettel visszük a virágport a bibére. Mi történik azután? Hiszen a bibe felületétől a magkezdeményig aránylag hosszú az út, hogyan jut el tehát a virágpór hatása a magkezdeményig? Ez a kérdés igen régi és megoldására a botanikusok eleinte különféle találgatásokba bocsátkoztak. Azt hitték, hogy a virágporszemek begördülnek a magkezdeménybe. Azután úgy vélekedtek, hogy a porszemek a bibén megrepednek, s tartalmuk beszivárog a magkezdeménybe. Végül volt olyan felfogás is, hogy illanó párolgás révén távolról hatnak a magkezdeményre. A találgatások azonban meddők voltak. A kérdést végül is a pontos mikroszkópos vizsgálat oldotta meg.

Amikor a virágporszem a bibére vagy arra alkalmas folyadékba, például cukoroldatba esik (semmiesetre sem vízbe, amelyben rendszerint megreped), »kicsírázik«, vagyis a virágporszem külső burkának nyílásán keresztül tömlőalakú nyúlvány türemlik ki. Ebbe a tömlőbe átfolyik a virágporszem belsejének tartalma. Maga a tömlő csúcsán továbbnövekszik és jelentékeny hosszúságot ér el. Amikor a virágporszem elülső vége megnyúlik, hátsó vége rendszerint elhal. Ez a tömlőalakú nyúlvány, az úgynevezett *pollen-tömlő*, utat nyit magának a bibeszál laza szöveteiben. Az út néha elég hosszú; így például a kaktusz bibeszála több hüvelyk hosszúságú. Amikor a virágpórtömlő a bibeszálon keresztül elérkezik a magház üregébe, s a magkezdemény bejárati nyílásához jut, a csatornán keresztül előrehatol a magig és elhelyezkedik a csíra-

zsákban.<sup>1</sup> A virágportömlők tehát szinte véletlenül kerülnek a magkezdemény csatornájába. Ez a véletlen azonban igen gyakori, mert a virágportömlők rendszerint jelentékeny számban hatolnak be a magházba. Megfigyelték különben azt is, hogy a mikroszkóp alatt megnyílt virágportömlők a szomszédságukba helyezett bibeszövetdarabkák, vagy bibeszálak felé törekedtek. A bibeszövetnek ez a hatása úgy látszik akkor is megmarad, ha a szövetet előzetesen leforrázással megölték. Az újabb kutatások szerint a virágportömlőre bizonyos anyagoknak, így például a diasztáznak vonzó hatásuk is van; ebben tehát nem láthatunk semmiféle titokzatos dolgot. A magkezdeményben ezalatt a csíraszák felső részében a protoplazmából rendszerint három egyszerű sejt keletkezik. Ezeket a sejteket nem vonja be cellulózburok, tehát csupán gömbalakú, sűrű protoplazma-gomolyagok, közepükön maggal. Közülük az egyiket petesejtnak vagy csírahólyagnak<sup>2</sup> nevezik, mert valóban ez a növény leendő csírájának első eleme, tehát az a bizonyos első sejt, amelyből mint mondtunk, minden növény — akár spórás, akár virágos — kiindul. A petesejt a csíraszák legfelsőbb részében helyezkedik el úgy, hogy a virágportömlő vége, amely a magkezdemény csatornáján keresztül oda behatol, szoros kapcsolatba kerül a petesejttel.

Az utolsó esztendő kutatásai kiderítették, hogy miben áll a megtermékenyítés folyamata. A folyamat lényege az, hogy a virágportömlő végén a pollen meg a tömlő megpuhult, vagy feloldott falán keresztül becsúszik a csíraszákba — amelynek falai szintén megpuhulnak vagy feloldódnak — és ott egyesül a petesejt magjával...

A hím és a női sejtanyag egyesüléséről az egyszerűbb — nem virágos — növények esetében közvetlenül is könnyen meggyőződhetünk. Magának a jelenségnek belső tartalma, a folyamat kémiai természete azonban ez idő szerint alig ismeretes. A virágpor szemek tartalmában mindenesetre enzimet is fedeztek fel és ezenfelül ismeretes az is, hogy a beporzás időszakában a virágokban megélnék a kémiai folyamatok: mohóbban nyelik el az oxigént, szénsavat lélegzenek ki, s a lélegzést az egész virág, különösen pedig a porzók erős felmelegedése kíséri.

Akárhogyan is van: az egyesülés eredményeként felébred a csírasejtben az alakító életműködés. A csírasejt cellulózburkot

<sup>1</sup> A mag kifejezés itt a magkezdemény testét (nucellus) jelöli meg. — Ford.

<sup>2</sup> Lásd az I. előadást. A csírahólyag kíséretében levő két sejt szerepét kellőképpen még nem tisztázták. A csírahólyagot most inkább petesejtnak vagy éppen petének nevezik. Ebből azonban az következne, hogy a pete a csírában van; ennek elkerülése végett inkább a régi kifejezéshez ragaszkodtam, mert az jobban megfelel az eredeti elgondolásnak, t. i., hogy a csíra van a petében. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

ölt, válaszfal keletkezik, s egy sejtből kettő lesz. Az első válaszfalat követi a második és a harmadik és így tovább : soksejtű test keletkezik, s a továbbnövekedés során kialakul a kezdődő növény : a csíra, amelyet már az első előadásunkban a maggal kapcsolatban megismertünk. Előfordul az is, hogy a magban több csíra van, az ilyen eset azonban elég ritka. Több csíra van például a narancs magjában, ezek azonban egészen sajátos módon jönnek létre, s ezt ehelyütt felesleges lenne részleteznünk. A csíra fejlődésével párhuzamosan a magkezdemény többi részében, a csíraszákban és a magban tápanyagkészlet rakódik le ; ebből alakul a magnak az a része, amelyet magfehérjének nevezünk.<sup>1</sup> A csíra tehát felszívhatja mint tápanyagkészletet a magfehérjét még akkor, amikor a mag az anyanövényen van. Ebben az esetben az érett mag már nem tartalmaz fehérjét. Ilyen fehérjementes mag például a borsó vagy a bab. Megmaradhat azonban a magfehérje nagyobb része az érett magban is, mint például a fűfélék, a pohánka, a mák stb. magvaiban.

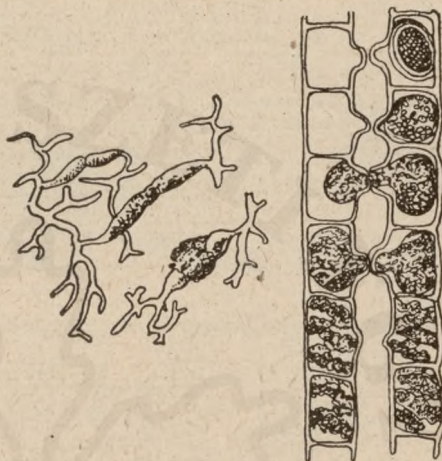
A csíra fejlődésével, a magkezdemény maggá való átalakulásával nem merül ki a megtermékenyülés hatása, sőt kiterjed a termőre is ; a termő is növekedni és fejlődni kezd, s ennek során terméssé alakul.

Ezzel nagy vonásokban felvázoltuk a megtermékenyülés jelenségének alakitani (morfológiai) oldalát ; a folyamatból eddig csak ezt az oldalt ismerjük. A felvázolt képet egészítsük ki azzal, hogy a növényvilág másik sarkában, a legegyszerűbb növények, például a moszatok vagy a penészgombák körében is megvizsgáljuk a megtermékenyülés folyamatát.

Vegyük a mikroszkopikus moszatok köréből a már megismert spirogyrát, jellegzetes csavarmenetes klorofill-szalagjával (58. ábra, jobboldalon). A Spirogyra fejlődésének bizonyos szakaszában a testét alkotó sejtfonalak párhuzamosan helyezkednek el, amint azt az ábrán láthatjuk. Egyes sejtekben a sejttartalom kerek vagy tojásalakú rögökké tömörül össze és ugyanakkor a két szomszédos sejt falain dudorodások keletkeznek. A párhuzamos fonalak sejtheinek kidudorodásai egymással szemben növekednek, összeérnek. Az őket elválasztó fal felszívódik, eltűnik, a két sejttest egy tömeggé olvad össze. Az a körülmény, hogy a sejttartalom a baloldali fonalból húzódik-e át a jobboldali fonalba vagy megfordítva, teljesen közömbös. Az így egyesült tömeg gömbalakot ölt, burkot kap és spórává alakul ; a spóra az anyanövénytől elszakadva kicsírázhat, új szervezet, új spirogyra-fonal kezdheti meg életét.

<sup>1</sup> Lásd a III. előadást. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

Itt tehát a megtermékenyülés folyamatának nagyon egyszerű alakjával van dolgunk; két sejt egyesül, hogy *egynek* adjon életet amely egyben a szervezet újratermelésére szolgál. A jelenség még egyszerűbb alakját láthatjuk a mikroszkopikus méretű penészgomba esetében. Ez a gomba egyetlen vékony, szerteágazó cső (59. ábra, baloldal), amelyben elválasztó keresztfalakat sehol sem észlelhetünk. Ezek szerint az egész szerkezetet egyetlen sejt alkotja. E sejten belül egyes helyeken rövid kiágazásokat láthatunk, amelyek egymásfelé nyúlnak. Amikor összeérnek, mindegyik a kiágazás tövénél válaszfallal elkülönül és felfúvódik, köztük a válaszfal eltűnik, tartalmuk egybeolvad, egyetlen sejtet, spórát alkotnak.



59. ábra

Igy a legegyszerűbb spórás-növények, éppen úgy, mint a bonyolult virágos

növények, azt mutatják, hogy a megtermékenyülés két sejt egyesülése; sőt mi több, e jelenséget spórás növényeknél közvetlenül is könnyen megfigyelhetjük. A szóban levő legegyszerűbb esetekben a hím és női ivarsejtek látszólag semmiben sem különböznek egymástól, bár a gondosabb megfigyelés esetén észlelhetünk szerkezetük között eltéréseket. Bonyolultabb esetekben azonban a spórás növények hím ivarsejtjei mind külsejükre, mind sajátosságaikra nézve tökéletesen eltérnek a női ivarsejtektől. A női ivarsejt nem mozgékony, ezzel szemben a hím ivarsejt, mint valami mikroszkopikus állatka, behatol a női ivarsejtet magába foglaló szervbe, egyesül a női ivarsejttel, szinte feloldódik benne, s megtermékenyíti azt.<sup>1</sup>

Kísérleti úton még inkább megismerhetjük a virágporszemnek a magkezdeményre gyakorolt hatását. Elsősorban is tudjuk, hogyha a bibe nem porozódik be, a virág elhervad, magot és termést nem hoz. Ha közvetlenül a mikroszkóp alatt kényszerítjük a virágportömlőt, hogy a magházból kivett magkezdeményre hasson, meg-

<sup>1</sup> 1897-ben ilyen mozgékony sejteket találtak a magvas növények virágportömlőiben is. — *Az orosz kiadás jegyzete.*



60. ábra

figyelhetjük, hogy a megtermékenyülés jelei csak akkor jelentkeztek, ha a virágpörtömlők érintkezésbe kerültek a magkezdeményekkel. Végül mindennél meggyőzőbb bizonyítékok a hím-tényező közreműködésére azok a kísérletek, amelyek mesterséges keverékek létrehozására irányulnak. Ha valamely virág termőjét nem ugyanabból a virágból, hanem attól eltérő virágból vett virággal porozzuk be — például szirmaiknak színe különböző legyen — tarkavirágú növényeket kaphatunk. Így olyan virágok jöhetnek létre, amelyeknek szirmai részben olyan színűek, mint a beporzott termő virágjáé volt, részben pedig olyanok, mint annak a virágnak szirmai, amelyből a virágpórváló. Nyilvánvaló tehát, hogy a hím ivarsejt hatása tükröződött a megtermékenyülésből származó növényen.

A megtermékenyüléshez szükséges beporzás céljára a virágok sok, rendkívül érdekes tartozékkal vannak felszerelve. Lássunk néhány példát. Vegyük azt a külső tekintetben jelentéktelen virágot, amelyet üveg-

házainkban alábbi érdekes sajátsága miatt természetnek. Amikor virágzik s az apró, szerény virágok egészen elborítják, elég, s ha vízzel megpermetezzük, máris különös jelenséget figyelhetünk meg. A növény felületén itt is, ott is látszólag apró robbanások következtében kis porfelhőkemelkednek fel. A jelenség magyarázata az, hogy e növénynek a belsejében összecsavarodott porzószállai erősen higroszkópikusak; mihelyt víz éri őket, hirtelen, mint a rúgó, kiegyenesednek és a felrepedő portokokból kivetik a virágport. Az ilyen módon szanaszét szóródó virágpor könnyen ráhullhat a bibére is. Még egy példát hozunk fel, de most olyan növényről van szó, amely egészen más környezetben él: a vízinövényről. A szobaakváriumok barátai jól ismerik a valliszneriát, az akváriumok egyik legközönségesebb lakóját. A valliszneria porzói és termői külön-külön virágokban és az egyivarú virágok külön-külön növényegyedeken helyezkednek el (60. ábra). Mind a porzós, mind a termős virágok a víz alatt fejlődnek. A megtermékenyülés azonban a víz alatt nem lehetséges. A kertészek például jól tudják, hogyha a virágzás idején esik az eső, ez akadályozza a megtermékenyülést, ilyen körülmények között a termés nem kötődik meg és a virág meddő marad. A valliszneria abból a célból, hogy megtermékenyülését a víz színe felett, a levegőben hajthassa végre, eléggé bonyolult berendezéssel van ellátva. A termős virágok (az ábrán baloldalon) egészen a vízfenéken ülnek hosszú, csavarmenetszerűen összecsavarodott kocsányokon. A virágzás idején azonban ezek a kocsányok kinyúlnak, megnövekednek és így a termős virágokat felemelik a víz színére. Ugyanakkor a porzós virágok is (a képen jobboldalon), amelyek szintén a vízfenéken fejlődnek, leszakadnak szárúkról s felbukkannak a víz színén. A termős virágok között úszkálva, kinyitják virágportokjaikat, szelnek eresztik azok tartalmát, s a virágpor egy része végül is a bibére hull. Amikor a virágzásnak vége, a termős virág kocsánya ismét összehúzódik, magával húzza a megtermékenyült virágot a vízfenékre, ahol a termés tovább fejlődik.

Most már tisztában vagyunk azzal, hogy a virág legfontosabb szerveinek — a virágpor szemnek és a magkezdeménynek — mi a jelentősége a növény életében. Megértjük, hogy e fent leírt berendezések célja: elősegíteni e szervek kölcsönhatását. Kérdés azonban, hogy mi a virág többi részeinek a szerepe? Milyen célt szolgál például a csésze? Mire való a termő, amely csak megnehezíti a virágpornak a magkezdeménybe való jutását? Mi a célja az élénk színben pompázó, sokszor oly csodás alakú szirmoknak? Van-e rendeltetése a virágok által terjesztett illatnak, vagy annak az édes mézhez hasonló nedvnek, amelyet a párta alján választ ki a gyermek-



korunkból ismert lóhere, árvácska és sok más virág? Igyekezzünk mindegyik kérdésre választ találni. Legkönnyebben megérthetjük a csésze és a termő szerepét. A csésze a levélrügyek pikkelyeirehasonlóan védi a virág fejlődésben lévő belső, fontosabb szerveit, a termő a benne levő magkezdeményeket védi meg. Éppen az előbb említett kísérletek során, amikor a magházból kiemelt magkezdeményt mesterségesen megtermékenyítették, a kutató nagy nehézségekbe ütközött. Harcba kellett szállnia az apró, élősdire szervezettekkel, az úgynevezett *baktériumokkal* (amelyekről olyan szörnyű dolgokat hallunk az általuk okozott fertőző betegségek ellen vívott küzdelemmel összefüggésben). Mit is teszünk, milyen eszközt alkalmazunk, ha a szerves anyagot a romlástól — a baktériumok támadásaitól — meg akarjuk óvni? Hermetikusan<sup>1</sup> zárt edényekbe vagy legalább is olyan edénybe tesszük azt, amelyeknek a nyakába vattát tömtünk, hogy így óvjuk a levegőben hemzsegő szervezetek csíráinak behatolásától. A magház ürege olyan, mint a minden oldalról zárt edény, amelyben a magkezdemény és a mag a levegőben lebegő élősdire gombák csíráitól megvédve fejlődhetik. Felhozhatjuk ez ellen, hogyha a virágporszemek a bibe felületére esnek és ott »kicsírázhatnak«, s kinyújtott tömlőikkel elérhetik a magkezdeményt, akkor a levegőben hemzsegő baktériumok miért ne fejlődhetnének a bibén és érhetnék el a magkezdeményt? Ugyanaz a kutató, akinek köszönhetjük a magház szerepének magyarázatát, fényt derített a bibe különleges szerepére is. A virágporszemek, amelyek a virágon kívül növekednek, éppen úgy mint a magkezdemények, ki vannak téve a baktériumok bántalmainak. A tudós abból a célból, hogy a baktériumok támadását elhárítsa, kísérletképpen enyhén megsavanyította azt a folyadékot, amelyben a virágpór tömlője növekedett. Kiderült, hogy ez az enyhén savanyú reakció nem ártalmas a virágporra, de megakadályozza a baktériumok fejlődését. Ezután pedig a bibén végzett vizsgálatkor is savanyú reakciót kapott. Ilyenképpen a bibe, amikor bebocsátja a virágpórtömlőt a magházba, ugyanakkor elzárja azt a baktériumok behatolása elől.

De mi célt szolgálhatnak a rikító szirmok, az illat- és a méztartalmú mirigyek? Első tekintetre merőben esztétikai szerepük van. Régen, amikor az ember a világegyetem középpontjának érezte magát, amikor úgy vélte, hogy még a Nap is körülötte forog, talán nem is volt nehéz valónak elfogadni, hogy mindez csak az ember tekintetének, szaglásának és ízlésének megédesítésére való. A természettudományok fejlődésével azonban az ilyen elgondolások egyre

<sup>1</sup> Légmentesen. — Szerk.

jobban háttérbe szorultak. Ugyanakkor a botanikusok, akik ezeknek a szerveknek közvetlen hasznát nem ismerték fel, megszokták, hogy lényegtelen szerveknek tekintsék, s elfogadva a költői hasonlatot, csupán a virágok nászöltözését látták bennük. Mindkét felfogás egyaránt téves volt. Kitűnt először is az, hogy ezek a szervek nem az ember, hanem a rovarok kedvéért vannak, s mindenekelőtt magát a növényt szolgálják. Kiderült azután az is, hogy nagyon fontosak, sokszor nélkülözhetetlenek a növényre nézve; hogy nélkülük az úgynevezett fontos részek sem teljesíthetik feladatukat. Végül kitűnt, hogy ezek a szervek éppen azért hasznosak, mert élénk színűek, illatosak, édesek stb., vagyis azért, mert alkalmasak a rovarok csalogatására. Megmagyarázzuk a kérdés lényegét.

A legtöbb nép egyházi és világi erkölcsszabályai és törvényei — ha túljutottak a fejlődés legalacsonyabb fokozatain — elítélik, tiltják, sőt büntetik a közeli rokonok között a házasságot. Orvosok és fiziológusok megkísérelték, hogy ennek az elterjedt felfogásnak helyességét statisztikai adatokkal is bizonyítsák. Valóban igen sok adat utal arra, hogy a szülők közeli rokonsága káros a gyermekek egészségére. Manapság azonban alig van szükségünk az efféle bizonyítékokra. A kutatások hosszú sora igazolja, hogy ez a törvény nem egyedül az emberre, s nem is csupán az állatvilágra érvényes, hanem szélesebb alapon nyugszik, s kiterjed az egész növényvilágra is. Az egész szerves világra általánosan érvényes törvénnyel állunk szemben és ez sehol sem olyan szembeötlő, mint éppen a növényvilágban.

Kétségbevonhatatlan tényeket ismerünk, amelyek azt igazolják, hogy a termőnek ugyanarról a növényről származó virággal történt megtermékenyítése kevésbé sikerült, kevésbé egészséges utódokat ad, mint a más növény virágporával történt beporzás. Sőt vannak olyan növények is, amelyeknél az önbeporzás meddő. Ilyen például a törpe keltike (*Corydalis pumila*) (Host Rchb.), az egyik kora tavaszi növényünk. Vannak növények két-, sőt háromféle virággal, mint például a tavaszi kankalin (*Primula L.*), a réti füzény (*Lythrum Salicaria L.*), a különféle lenfajták stb. Ezeknek a virágaiban a porzók és a bibék számai különböző hosszúságúak, amellé a rövid porzós virágban a bibeszálak hosszúak, és megfordítva. Az eredményes megtermékenyüléshez az kell, hogy a bibére olyan porzószálról vigyék át a port, amelynek hossza megfelel a bibe hosszának; következésképpen mindig a másik virágról. Vannak növények, melyeknél a más egyedről, sőt a más fajtáról történő beporzás termékenyítőbb mint az önbeporzás. Végül igen szavahihető kutatók leírása szerint egyes esetekben az

önbeporzásnak mérgező hatása van, szinte megfertőzi a bibét. A bibe lekonyul, mintha le lenne forrázva, a virág elhervad, nem hoz termést; ezzel szemben a más virágról származó virágpor az ilyenféle virágot rendszerint megtermékenyíti. Sok ilyenféle tény — igaz, csak tapasztalati úton — arról győz meg bennünket, hogy általános érvényű az a törvény, amely szerint a kölcsönös megtermékenyítés hasznos, míg az önbeporzás viszonylag káros a szervezetre.

Mihelyt elismerjük ennek a törvénynek az érvényét, nyomban megvilágosodik előttünk a virág szerkezetének sok, különben érthetetlen sajátossága. A botanika irodalma rendkívül sok adatot gyűjtött össze arról, hogy a virágok szerkezete a keresztező kölcsönös beporzáshoz alkalmazkodik, különösen a rovarok által történő beporzás tekintetében. Vizsgáljuk meg ennek a tanításnak leglényegesebb vonásait.

Annak a nézetnek a helyességét, hogy a színpompás virágtakaró, az illat és a méztermő mirigyek (mézfejtők) rendeltetése odacsalogatni a rovarokat, amelyek virágról virágra szállva előmozdítják a keresztező beporzást, az alábbi elgondolással támaszthatjuk alá. Először mindezek a virágrészek csak a beporzás időszakában működnek, azután eltűnnek. Másodszer vannak növények, amelyek a szél, s vannak, amelyek a rovarok közreműködésével porozódnak be. A szél által beporzott virágok mindig aprók, jelentéktelenek, nincs színpompás virágtakarójuk, illatuk vagy mézük. Ilyen a fásnövények legnagyobb része: a fenyőfa, a nyírfa, nyárfa stb. Cserébe nagymennyiségű virágport hoznak létre; ennek a földre vagy a víz felületére hulló sárga porfelhőnek tulajdonítható, a kényszerű szülő babonás tévhit. Figyelmet érdemel az is, hogy az ilyen virágok rendszerint kora tavasszal virágoznak, amikor a fejletlen levelek nem akadályozzák a virágpor szabad terjedését.

Érthető azonban a szélbeporzásnál elkerülhetetlen anyagvesztés, amely a növényt minden bizonnyal értékes anyagtól fosztja meg. A növény számára nyilván előnyösebb, ha kevesebb virágport állít elő, s biztosabb módon valósíthatná meg, hogy virágpora átjusson a többi növény bibéjére. Ezt a gazdaságossági célt szolgálja a rovarok közreműködése. A rovarok látogatásának oka a mézfejtő, az úgynevezett *nektarium*; csalogató eszköze, a virágtakaró ragyogó színpompája, a virágok nagysága és illata is. Bizonyított tény az, hogy a méhek megkülönböztetik a színeket. Ha különböző színű felületeket mézzel kenünk be, rászoktathatjuk e rovarokat, hogy egy meghatározott színt a méz jelenlétével társítsák. A keresztező megtermékenyítés úgy jön létre, hogy az ivarok elkülönülnek a virágban, emellett a termős vagy a porzós

virágok ugyanazon a növényen vagy más-más növényen helyezkedhetnek el. A kétivarú virágokon viszont ugyanezt a porzó és a bibék nem egyidejű kifejlődése eredményezi, s ez kizárja az önbeporzást. A legmeggyőzőbb érvet azonban az a számos eset szolgáltatja, melyekben a virág valamennyi részének szerkezete és elhelyezkedése alkalmazkodik a látogató rovar alakjához és mozgulataihoz, ugyannyira, hogy amikor a rovar virágról-virágra száll, elkerülhetetlenül érinti az egyik virágon a virágportokot, a másikon pedig ugyanazzal a testrészével a bibét. Elégedjünk meg néhány példával.

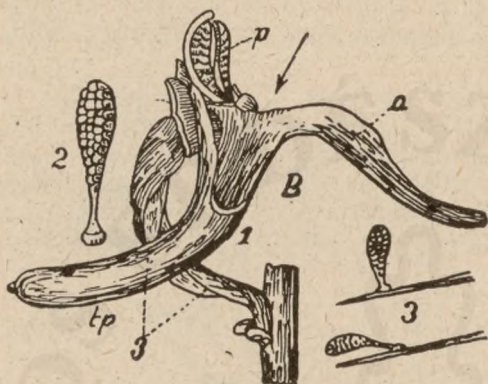
Sok virágon a részek a szokásos szabályos, sugaras elhelyezkedés helyett úgynevezett részarányos, szimmetrikus alakban helyezkednek el. Az ilyen elhelyezkedésben jobb- és baloldalt, alsó- és felsőrészt különböztethetünk meg. Erre jó példa az úgynevezett kétajkú virágok virágszerkezete (61. ábra). Ez a virágalak nyilván kényelmes a rovarok számára. Az alsóajak szinte emelvény vagy erkély, amelyen a rovar kényelmesen elhelyezkedik, amikor szívókáját benyújtja



61. ábra

a párta csövébe, hogy annak mélyén az édes folyadékot megkeresse. Közben azonban a hátával súrolja a virágportokat (61. ábra, 1. és 2. P), s amikor másik virágra száll, poros hátával a bibéhez (B) dörzsölgődik. Ebben az esetben az önbeporzás kizárt, mert a bibe későbbben fejlődik, mint a porzó, tehát virágport csak más virágtól kaphat. Van azonban ennél még érdekesebb is. Az ajakosok egyik fajtáján, a közönséges kerti zsályán (*Salvia officinalis* L.) a következő bonyolult berendezést figyelhetjük meg: (a virágot a 61. ábra 1. rajzán láthatjuk). A zsálya porzójának sajátossága, hogy a virágportok hosszú harántrésze van rögzítve, s ez a haránt rész csuklószerűen kapcsolódik a porzószállhoz (a 61. ábra 1. rajza a virág keresztmetszetét egy porzószállal (P) mutatja, ugyanott

a 3. rajz két porzószálat külön ábrázol). E harántrészek alsó végei elzárják a párta csövébe vezető utat, amelyen keresztül a rovar az említett mézédess folyadékhoz juthat. Amikor a rovar a párta csövébe benyújtja a szívókáját, megérinti harántrészenek alsó végeit, ezek emeltyűszerűen a 3. helyzetből a 4. helyzetbe mozdulnak, s közben a porzók a rovar hátához ütődnek (61. ábra, P) és beszóráják virágporral.



62. ábra

Még bámulatosabb az úgynevezett kosbor-félék egyik csoportjának a megtermékenyülése, melyek a rovarok segítsége nélkül a legtöbb esetben képtelenek lennének megtermékenyülni és örökös meddségre lennének kárhoztatva. Ennek a virágcsaládnak csodá-

latosan szép alakjai vannak; exotikus<sup>1</sup> képviselőit azért nevelik olyan szívesen üvegházainkban. E virágcsalád vadontermő képviselői közül említsük meg az estikét (*Hesperis matronalis* L.), ezt a fehér, erős illatú virágot, amelyet júniusban mindenfelé láthatunk az utcákon is. Képzeljünk el egy ilyen virágot úgy, hogy minden szíromlevelét letépjük (62. ábra), kivéve azt az ajakalakú alsólevelét, amely a tövénél csőszerűen az úgynevezett sarkantyúba nyúlik ki (62. ábra, *tp*)<sup>2</sup>. Ezen a virágon a termő és a porzószálak is igen sajátosan alakultak: a termő hosszúkas, elcsavarodott magházból áll (62. ábra 3; szaggatott vonalak irányában), ennek tetején közvetlenül — bibeszál nélkül — ül a bibe, amely ragacsos felületével a sarkantyú csövének bejáratát éppen elfoglalja (*B*). A porzónak nincs szála, s egyetlen portokból áll (*p*), a mely közvetlenül a bibe mellett ül. Ezzel azonban még nem merülnek ki a különleges vonásai. Virágpóra például nem laza, könnyen szóródó por, hanem a portok mindkét részében rögcskévé tömörül össze, amely ragadós virágporgömböcske (polli-

<sup>1</sup> Exotikus = szokatlan, csodálatos. — Szerk.

<sup>2</sup> A 62. ábra a kosbor virágját ábrázolja. A virágról hiányzik valamennyi szírom, kivéve az ajkat, amelyet kettémetszettünk, hogy bemutathassuk a sarkantyú bejáratát és a bibe helyzetét. — Szerző.

narium) nyelécskével ellátva (62. ábra, 2.). Minthogy a virágpor magától nem szóródik szét, természetesen külső segítség nélkül még ugyanannak a virágnak a bibéjére sem kerülhetne, nem is szólva más virágokról. A külső segítséget a rovarok adják. A rovar rászáll az ajakra (a), benyújtja szívókáját a sarkantyú csövébe, amelynek alján — amint azt az estikén megfigyelhetjük — édeskés nedv választódik ki. Közben azonban a rovar elkerülhetetlenül megérinti a ragadós gömböcskét, amely a virágportokból kiáll, s amikor elrepül a virágról, magával viszi az egész virágportömeget. A virágnak ez a berendezése annyira pontos és olyan tökéletesen működik, hogy a sarkantyúba egy tűt, vagy serteszálat sem dughatunk be (a 62. ábra 1, a nyíllal megjelölt irányban), anélkül, hogy azzal a virágportömeget ki ne húznánk (62. ábra, 3.). Eredetileg a virágpor tömeghelyzete függőleges, de pár perc múlva előrehajlik (62. ábra, 3 jobboldali kép). Ugyanígy hozzátapad a virágporanyag a rovarhoz is. Amikor a rovar másik virágra száll, hogy megismételje előbbi munkáját, a magával hurcolt virágportömeget hozzá kell dörzsölnie a bibe ragadós felületéhez (B), s így a virágpor egy részét a bibén kell hagynia.

Annak bizonyítására, hogy a valóságban mindenúgy történik, ahogyan leírtuk, tanúk azok a rovarok, amelyeket a növények meglátogatása után fogtak el. Szívójukon vagy fejükön rátapadt virágportömeget találtak, néha bizony jelentékeny mennyiségben. Az ilyen virágok ezek szerint csak a rovarok közreműködésével termékenyülhetnek meg, s az ilyen növényre mindig hasznos a keresztező megtermékenyülés. Mindezek alapján megérthetjük, hogy a növényre nézve mennyire fontos, hogy valamennyi virágrészének éppen ilyen alakja van és nem más forma.

Még egy érdekes példával szolgálunk, amelyben a virág minden része ugyanahhoz a célhoz, nevezetesen a rovarok közreműködésével történő keresztező megtermékenyüléshez alkalmazkodik. Ez a növény a közönséges farkasalma (*Aristolochia clematitis* L.). Halványsárga virágai csöves alakúak, tövüknél gömbalakban kitágulnak. A virágon csupán néhány kiszélesedő, ferdén elvágott pártalevél van (63. ábra). A számos magkezdeményt magába foglaló hosszúkás magház (63. ábra) közvetlenül megy át a bibeszál nélkül rajtaülő, lapátalakú bibébe. A termővel ily módon összenőtt bibe alatt helyezkednek el a porzók, amelyek szintén szál nélkül ülnek. A pártá keskeny csövét belülről merev szőrök borítják, amelyek hegyükkel; mint az ábrán láthatjuk, — a cső első része felé hajlanak és így az egérfogó szerkezetére emlékeztetnek (63. ábra, középső metszetkép). A szőrszálak ilyen elhelyezkedése mellett a rovar könnyen becsúszik a virág belsejébe, de onnan nem tud

kijutni, mert valósággal virágcsapdába került, melyben fejlett, megtermékenyítésre váró bibét és fejletlen porzókat talál. Ha a rovar másik virágról szállott oda, akkor a bibén hagyja a virágport. Bizonyos idő múlva megérnek és felszállanak a virágportokok,



63. ábra

közben a rovar nyugtalanul izeg-mozog börtönében (63. ábra, középső metszetkép), teleszóródik virágporral, de ha ez a por a bibére hull, nem okoz önmegtermékenyülést, mert a bibe már elhervadt. Csakhamar elhervadnak és lehullanak a pártá szőrszájai is (63. ábra, alsó metszetkép), megnyílik a börtönajtó s a rovar, virágportól porosan, kiröpül, hogy a következő virágban ismét csapdába kerüljön. Ezt követően a pártá külső, lapátalakú széle elhervad, lekonyul, s elfedi a bejáratí nyílást (63. ábra, alsó metszetkép) és az egész virág lekonyul eredeti helyzetéből (63. ábra, felső kép). Ennek következtében a többi rovarok mentesülnek a már megtermékenyült virág felesleges továbblátogatásától. Ez a szerkezet is

éppen olyan tökéletesen működik, mint a kosborok megtermékenyülési mechanizmusa, éppen ezért a virág külseje alapján a tévedés kizárásával megállapíthatjuk, hogy van-e benne elfogott rovar vagy nem. Egy-egy virágban az ideiglenes fogságba vetett rovarok száma gyakran igen tekintélyes. Így hát a pártá ragyogó színpompájában, különleges alakjában, méztartalmú mirigyeiben (mézfejtőiben) — tehát a virág úgynevezett lényegtelen, mellékes részleteiben — kétségkívül a virág tökéletes alkalmazkodásait kell látnunk, amelyekkel a növény

már említett szükségleteinek kielégítését biztosítja. Valószínűen ugyanezt a célt szolgálja az illat is, ugyanúgy, mint a szín, a rovarokat csalogatja. Megfigyelték azt is, hogy azokat a virágokat, amelyek éjszaka különösen erős illatot terjesztenek, az éjjeli rovarok keresik fel. Az illékony, illatos olajok kiválasztásával különben a növény még más célokat is szolgálhat. Így például tudjuk azt, hogy a növényeknek a virágzáshoz többé-kevésbé magas hőmérsékletre van szükségük, amit részben légzés következtében előálló hőmérsékletemelkedéssel érnek el. Tudjuk azonban azt is, hogy derült, szélcsendes éjszakákon a növények a kisugárzás következtében erősen lehűlnek. A lehűlés megelőzése céljából elegendő, ha a növényt üvegbúrával borítjuk le, mert a búra felfogja a növény által kibocsátott hősugarakat, s ezzel megakadályozza a túlságos lehűlést. Ez a sajátsága azonban minden illanékony testnek — így a virág illóolaj párologtatásának is — megvan: ezek is egészen visszatartják a sugárzó hőt. Győződjünk meg arról, hogy a növényeket körülvevő illóolajpárafelhők milyen tekintélyes atmoszférát töltenek ki. Tartsunk szélcsendes nyári estén égő gyufaszálat a nagy erősfű (*Dictamnus albus* L.) illatozó virágához. Meglepődve látjuk majd, hogy először a virág, s utána a virágokkal borított bokrocska kékes lángba borul. Lángra lobban az illóolajok gőze, amelyet a növény virágszerveit borító mirigyek választottak ki. Derült, csendes nyári éjszakákon tehát, amikor a hőkisugárzás következtében lehűlés veszedelme fenyeget, a virágokat szinte átlátszó illatfelhő, a kipárologtatott illóolajak légköre veszi körül, amely az üvegbúrához hasonlóan felfogja a virágok által kisugárzott hőt s megvédi őket a túlságos kihűléstől.<sup>1</sup>

Az a sok családás tehát, amelyet az emberi önzésnek a természettudományok fejlődésétől el kellett szenvednie, mióta kiderült, hogy nem a Nap forog az ember körül, hanem megfordítva, az ember forog a Nap körül, újabb csapással bővült. A virágoknak a szivárvány minden színében pompázó köntöse, s finom illata sem az ő kedvéért, a teremtés koronájának kedvtelésére, hanem valami apró muslicának vagy bogárkának, s még inkább magának a növénynek kedvéért van.

Ha azonban az ember letesz alaptalan igényeiről, a tudomány minden új vívmánya csak emeli az ember igazi értékét. Így van ez ebben az esetben is. Ha el is kell ismernie, hogy a virágokat nem az ő kedvtelésére teremtették, joggal vigasztalódást találhat abban

<sup>1</sup> A növényeket az éjjeli lehűléstől úgy is megóvhatjuk, ha a közelükben tüzet rakunk, amelynek füstje felhőként terül szét a növények felett; ez a füstfelhő megvédi a növényeket a kisugárzás által okozott túlságos hővesztéstől. — *2 orosz kiadás jegyzete.*



a gondolatban, hogy a virágokat jelentékeny mértékben ő maga teremtette meg... Elég, ha a kerti virágokat, a veteményes és a szántóföldi növényeket összehasonlítja a vadon termőkkel, máris elfogadhatjuk ezt a megállapítást. Elég egy pillantást vetnünk bármelyik természetett növényre, kerti virágra, vagy a veteményes kert zöldségféléire, hogy meglássuk rajtuk az ember alkotó kezét és értelmét. A természet testjei a velük szemben támasztott követelmények hatására, vagy néha a divat múló szeszélyének nyomására, a követelményeknek, vagy a szeszélyeknek megfelelően változnak. Az emberi szeszély azt kívánta, hogy a sápadt hármásvirágú, szabálytalan árvácská nagy, egyvirágú, csaknem fekete és majdnem kerek virág legyen, s íme, szinte a szemünk előtt varázslatszerűen minden évben nagyobb, sötétebb és kerekesebb lett. Kérdés, hogy miként érte el az ember ezt az eredményt, hogyan kényszerítette a növényt, hogy kövesse a kitűzött célt és engedelmeskedjék parancsainak?

Ez az út igen egyszerű, s az ember igen régen járja anélkül, hogy számot adott volna róla magának. A tudomány csak nemrégén vette birtokába azokat az ismereteket, amelyeket a gyakorlat évszázadok alatt halmozott fel, csak nemrégén helyezte helyes megvilágításba e régóta követett eljárások egyszerűségét és általánosságát. Ez az egyszerű út a következő: ugyanattól a növénytől, sőt ugyanabból a tokból származó magvakból soha nem lesz két tökéletesen egyforma növény, hanem ezek a növények mindig különböznek egymástól. Ha ezeket a növényeket együtt nevelik és szaporítják, az eltérések kereszteződéseik következtében könnyen elhomályosulnak s állandó, átlagos típusalak jön létre. Egészen más eredményre jutunk azonban, ha a többiétől valamiben eltérő növényformát kiemeljük és külön neveljük. Ilyenkor a legtöbb esetben átadja sajátosságait utódainak is. Ha pedig az utódok közül is kiválogatjuk és elkülönítjük azokat az egyedeket, amelyeken legélesebben jelentkezik a figyelmünket felkeltő tulajdonság, akkor ezt a tulajdonságot nemzedékről nemzedékre fokozzuk és szilárdítjuk ezeket a bélyegeket. Ez az úgynevezett kiválogatás eljárása.

A kertészetben gyakran alkalmazzuk a kiválogatás folyamatát legegyszerűbb, de leghatékonyabb alakjában: minden nemzedékből elpusztítjuk, kiirtjuk azokat a növényeket, amelyek nem felelnek meg a kitűzött célnak. A kiválogatás folyamatát minden nemzedékben megismételjük, a növény alig észrevehető legkisebb hasznos vonását is megtartjuk, s szinte vonást vonás mellé húzva megvalósítjuk az előre felvázolt eszménykép szerint az új alakot...

A kiválogatás elvével hatalmas eszköz van az ember kezében, amellyel a szervezeteket megjavíthatja, tökéletesítheti. Ennek az

elvnék értelmében a legegyszerűbb eljárás a célnak meg nem felelő szervezetek elpusztítása. Erről a megállapításról ne feledkezzünk meg, mert a következőkben ez adja meg majd a kulcsot a természetben végbemenő jelenségek megértéséhez.

Foglaljuk össze a virággal kapcsolatban megismert tényeket. A szerves természet alaptörvényei szerint a sejt olyan gigászi formákat hívhat életre, mint a mammutfenyő (*Sequoia Wellingtonia Gigantea* DC) vagy a majomkenyérfa (*Adansonia digitata* L.), amelyek évezredekig élhetnek, de nyilvánvalóan nem képesek arra, hogy ivartalan úton korlátlan ideig szaporodjanak. A növényi formák fenntartása végett a növényeknek időről-időre meg kell újulniuk abban a folyamatban, amely két különálló sejt egyesülésében áll. A két nem fennállása törvényének jelentőségét, értelmét, szükségességét teljes homály fedi. Ez kizáróan tapasztalati törvény, amely az általunk ismert összes tények tanúságán alapul.<sup>1</sup>

Lehet, hogy ebben a törvényben csupán egy általánosabb törvény megnyilatkozását kell látnunk: az élettani munkamegosztásról szóló törvény megnyilatkozását. E törvény értelmében az életműködések, amelyeket a legegyszerűbb szervezetekben egyetlen sejt végez el, a szerveződés bonyolódásának mérve szerint egyre több, különféle sejt között oszlanak meg. Lehetséges, hogy a sejt a nemzedékek hosszú során keresztül nem képes minden részét sikeresen megújítani és a munka két olyan sejt között oszlik meg, amelyek közül mindegyik a jövő szervezetenek csak bizonyos részét dolgozza ki, de egyenként, külön-külön képtelen a továbbfejlődésre. Mi azonban a különbség e két sejt között? A fejlődésnek milyen elemeit viszi magával az egyik és a másik sejt? Ezek a kérdések a jövőtől várják a választ. A tényekből ez idő szerint csak annyit állapíthatunk meg, hogy a test szerveződésének bonyolódásával együtt, az ivarsejtek külső különbsége és rokoni kapcsolatának foka megnövekszik. Újból hangsúlyozzuk, hogy a nemek jelentőségének kérdését illetően még ködben tapogatózunk, s így bizonyára jobb minden magyarázattól tartózkodni, mint homályos ténybeli alapokat nélkülöző feltevésekbe merülni.

A virág életműködésének célja elsősorban a magképzés, pon-

<sup>1</sup> Érdemes ehelyütt megemlíteni, hogy bizonyos tengeri moszatok körében érdekes, a szerves természetben példátlan ivartalan folyamatot figyeltek meg. Ebben a folyamatban nem két, hanem három sejt vesz részt, még pedig úgy, hogy az egyik a megtermékenyítendő szerepét játssza a másikhoz képest, a harmadikhoz viszonyítva pedig maga is a megtermékenyítő szerepét tölti be. Ez az egyedülálló, de hiteles tény csakúgy mint az a tény, hogy a legegyszerűbb szervezetek körében hiányzanak a nemek, arra int, hogy tartózkodjunk a túlságosan széleskörű általánosításoktól, a szerves polaritás létezéséről szóló metafizikus elméletektől stb. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

tosabban a csíráképzés, mely utóbbit a megváltozott, megnövekedett magkezdemény foglalja magában. Ez az életműködés a magképzéssel csak néhány magvas (virágos) növény esetében ér véget. Ilyenek például a tűlevelűek és azok a trópusi szágópálmák (*Metroxylon laeve* Rottb.), amelyeknek leveleit koszorúba fonva pálmag néven gyakran teszik a koporsókra. Ha szétszedjük a lúcfenyő vagy az erdei-fenyő (*Picea Abies* L., illetőleg *Pinus silvestris* L.) tobozát, minden pikkely tövén szárnyakkal ellátott magvat találunk. Jól tudják ezt a mókusok is, s ügyesen kiszedik a tobozokból a magvakat, letörik a pikkelyeket, s meghagyják a tobozok üres tengelyét. A botanikusok az ilyen növényeket *nyitvatermők*-nek (*Gymnospermae*) nevezik és a virágos növények egyszerűbb altörzsének tekintik, mert nincs magházuk és virágtakarójuk. Ezt a feltevést a geológia is támogatja, mert megállapította, hogy a nyitvatermők régebbi eredetűek, mint a tökéletesebb *zárvatermők* (*Angiospermae*). Az a szerv, amelyben a magkezdemények rendszerint elhelyezkednek — miként az I. előadásból már tudjuk — a termő. Amikor a megtermékenyült magkezdemények magvakká alakulnak, a termő is új szervvé fejlődik: termés lesz. Az I. előadás során már láttuk, hogy a termő levelekből van, még pedig egy levélből, mint a bazsarózsa (*Paeonia officinalis* L.) esetében (l. 6. ábra a 46. oldalon), vagy több levélből. A termőlevelek nem egyebek, mint különleges módon átalakult levelek, amelyeknek szélein a magkezdemények ülnek. A termés alkatrészeihez gyakran nemcsak a termőlevelek, hanem a virág egyéb szomszédos részei is hozzátartoznak.

A különféle termések között talán még több meglepő eltérés van, mint a virágok között. Lehet a termésnek egy vagy több magja; lehet száraz, állhat egy vagy több termőlevélből, s ezek igen különféle módon pattannak fel, hogy kiszórják a magvakat. Lehet leveses, húsos, ilyenkor együtt érik a magvakkal.

Mindezek a fajták nemcsak lehullhatnak, hanem különleges szétszóró berendezéseik is lehetnek, de szétszóródáson felül messzire is szétterjedhetnek. A terjesztő széthordó tényező lehet a szél, a víz és az állatok.

Mindezeket az eltéréseket megfigyelhetjük a magról szaporodó növényeken. A magvakat bizonyos értelemben az állatok tojásaihoz hasonlíthatjuk. Vannak azonban olyan kivételesen ritka esetek is, amikor a növények élő ivadékot adnak, szinte elevenen szülnek, vagyis a csírák már az anyanövényen fejlődnek, s tőle elkülönülve folytatják megszakítás nélkül önálló életüket. Ilyenkor a termés jelentősége nagyon háttérbe szorul. Erre a ritka esetre példa az a mangrovefa (*Rhizophora conjugata* L.), amelyről harmadik elő-

adásunkban már szó volt. Ez a növény rendkívüli életmódjánál fogva igen érdekes. Mégél a trópusi szárazföldek és szigetek partját szegélyező minden alkalmas talajban, amelyet dagály idején a tenger mos. Ilyen körülmények között az egyszerűen lehulló magvakat az első apály visszavonuló víze magával sodorná a tengerbe. Ezt a veszedelmet a mangrovefa az alábbi módon kerüli el. Termése és magjai szinte ki sem fejlődnek, hanem csupán rövidtartamú közbenső szervet alkotnak az anyanövény és a gyorsan kifejlődő csíra között. Különösen gyorsan nő a sziklevek alatti magrés. Hamarosan átfúrja a termés falát (64. ábra, 1. rajz) s hosszúkas, nehéz és a végén hegyes szervvé fejlődik. Ez a szerv könnyen leszakad a termésben maradó sziklevelekről, s amikor lehull, belefúródik a puha iszapba. Néhány óra alatt gyökeret hajt, s kidugja az előzőleg a sziklevek közé szorult hajtását. Ilyen módon a kedvezőtlennek látszó körülmények között is biztosította további létét és a csíranövény megszakítás nélkül folytathatja az anyanövényen megkezdett életét.

Mint a virág tárgyalásánál, itt is csak néhány példát hozhatunk fel a különféle termésformákra, a csíra további fennmaradását biztosító berendezésekre.

A legjelentéktelenebb termést minden bizonnyal a gabonaféléknél találjuk. A gabonaszemeket a botanikában nem járatos emberek magvaknak vélik. Valóban, nem kis fáradság kell ahhoz, ha meg akarjuk állapítani, hogy a szemek héján belül mi tartozik a maghoz és mi a terméshez. Csak nagyítón keresztül, alapos vizsgálattal ismerhetjük fel a gabonaszem csúcsán a bibe maradványait. Egyes gabonafélék szemtermése szintén élő utódokat ad. Ez a jelenség állandó az egyik közönséges perjefű — az *elevenszülő gumós perje* (*Poa bulbosa* f. *vivipara* Koel) — esetében és néha, nedves időjárás mellett, előfordul a termesztett gabonaféléknél is.

Sokkal bonyolultabb a több magvat tartalmazó termések szerkezete; ilyenek az úgynevezett toktermések (mint a bazsarózsa termése, 6. ábra, 46. oldalon), legkülönbözőbb tokok is egy vagy több termőlevélből képződnek és különféleképpen hasadnak fel, hogy a magvakat szétszórják. Leggyakrabban a varratok mentén repednek fel, ahol a termőlevelek összenőttek, de más módon is szétnyílnak: a fedelükön, lyukakon (például a mák) stb. A magvak néha csak egyszerűen szétszóródnak, máskor azonban szörpamatuk van, hogy a szél könnyebben felkaphassa őket (nyírfa, nyárfa stb. 63. ábra, 2 kép). Különösen érdekes eset az, amikor a termés nemcsak meghasad, hogy a magvakat kiszórja, hanem mechanikusan kivetíti azokat. Erre a legegyszerűbb példát a (helytelenül) sárga akácnak nevezett pukkantó dudafürt (*Colutea asborescens* termése). A magház két kopácsa nemcsak felpattan, hanem összekunkorodik,

s az ismert halk csattanással kiveti az érett magvakat. Különösen érdekes hajítóberendezése van az árnyékos helyeken nálunk is gyakran előforduló erdei nyenyúljhozámnak (*Impatiens noli tangere* L.). Jegyezzük meg ezt a csinos növényt, amelynek világos-sárga virágai karcsú kocsányokon himbálóznak, s a bőség szarujára emlékeztetnek, azután térjünk vissza ehhez a virághoz néhány hét elmúltával, amikor már létrehozta hosszúkás, hegyes csúcsú zöld termését. Ha egy ilyen termést erősen a markunkba szorítunk, először akaratlanul is visszarántjuk a kezünket, mert úgy érezzük, mintha valami erős bogarat fogtunk volna meg, amely szívósan erőlködik, hogy kiszabaduljon. Ha kinyitjuk a kezünket, őt különálló kopácsot és szétszórt magvakat találunk a tenyerünkben. Más alkalommal óvatosan csak a termés csúcsát csípjuk le. A termés már ettől is apró darabkákra törik szét, s messzire széthajítja a magvait (64. ábra, 3. kép). Ez egyúttal szemléltető példa a kölcsönös szövet-feszültségre is, amellyel a növények növekedésével kapcsolatban már megismertedtünk (VII. előadás). A termés külső szövetrétege már elveszítette víztartalmának egy részét, de a belső szövetrétegek még vízzel túltelítettek, s ezért minden kopács kifeléhajlásra törekszik, sőt csavarmentszerűen össze is kunkorodik, miközben nagy erővel kiveti a magvakat. A Kaukázusban más ilyen berendezéssel felszerelt növények is előfordulnak. A magrúgó (*Ecballium elaterium* Rich.) érett termései például a legkisebb érintésre is leválnak a kocsányról és az így keletkezett nyíláson keresztül folyékony tartalmukat a magvakkal együtt jelentékeny távolságra kifecskenedik (64. ábra 4. kép). A szerkezet lényege ugyanaz: a megfeszült külső szövet olyan nyomást gyakorol a termés belsejére, mint a leggömb duzzadt burka, amikor megnyomjuk.

A termés elterjesztésében közreműködnek külső tényezők — miként már említettük — a szél, a víz és az állatok. A szélhordta termésre legjobb példa a mindannyiunk által jól ismert *pitypany* vagy *gyermekláncfű* (*Taraxacum officinale* L.) (64. ábra, 5. kép). A termés növekedése közben a csúcsán sajátos képződmény — *bóbita* — keletkezik, amelybe a szél könnyen belekapaszkodik, s így a termés magvait messze elhordhatja. Hasonló alkalmazkodást figyelhetünk meg a juharfa, kőrisfa és a nyírfa szárnyas termésein (64. ábra, 6. kép); ezek azonban inkább a magasból való aláhulláshoz alkalmazkodnak és kizáróan a fákon fordulnak elő. A bóbita és az ahhoz hasonló szőrpamat ezzel szemben az alacsonynövésű növényeknél is megtalálható.

A víz nemcsak a vízinövények, hanem a szárazföldi növények termésének széthordásában is szerepet kapott, s figyelemreméltó, hogy csodálatosképpen éppen az általunk ismert legnagyobb termé-



64. ábra.

1. A mangrovefa élő utódokat adó termése. 2. A nyárfa szőrpamatos repülő magva. 3. Az erdei nyúljhozám szétrepedő termése. 4. A magrúgó kilövelő termése. 5. A gyermekláncfű bóbítás kaszattermése. 6. A juharfa lependéktermése. 7. A szerbtövis tapadó termése. 8. A harpagophyton karmoló termése. 9. A szamóca húsos aszmagtermése. 10. Az őszibarack húsos termése. 11. A pinyó szét-szórt magvai. 12. A árvalányhaj földbefűrődő termése.

seket is a víz viszi tovább. Ilyen például az *igazi kókuszpálma* (*Cocos nucifera* L.) diótermése és a *tengeri kókusz* (*Lodoicea sechellarum* Labill.) még hatalmasabb termése. Az utóbbi pálma hatalmas diótermései a növénytani múzeumok díszei és azt beszélük, hogy az első ilyen termést Rudolf császár cservonyecekkel<sup>1</sup> töltötte meg, s úgy küldte el annak az utazónak, aki a termést hozta. Ennek a pálmának dióit, ha a partmenti fákról a tengerbe hullanak, a tengeráramlás messzi szigetek és szárazföldek partjai felé sodorja. A kókusz termésének különben a következő érdekes tulajdonságai vannak: külső bőrszövetén a víz nem hatol át; a következő vastag, szőrös-bolyhos rétege levegőt tartalmaz, s ez a nehéz diót a tenger színén tartja. Ezt követi az igen kemény csonthéj és azon belül van a belső nagy üreg, amelyet tejszerű folyadék, az úgynevezett kókusztej tölt ki. Ez a folyadék jelentős mennyiségű édesvízkészletet jelent a csíra számára a hosszú tengeri úton, hasonlóan ahhoz a vízkészlethez, amelyet a hajósok visznek magukkal távoli felfedező útjaikra.

A harmadik mód, amellyel a termés nagy távolságokra szétterjed, az állatok segítsége. Ennek az elterjesztésnek két különféle módja van. Az egyik esetben a termés beleakad az állat külső takarójába, elsősorban a szőrözetébe, s az állattal együtt aránylag nagy távolságokat tesz meg, míg végre éppen olyan véletlenül le hull az állatról, mint ahogyan rákerült. Így jutott el sok növény új országokba az odaszállított állati szőrmékkel. A termésnek ilyen módon történő terjesztéséhez az állatnak rendszerint semmiféle közvetlen érdeke nem fűződik, sőt az sokszor végzetes lehet az állatra. A legegyszerűbb az az eset, hogy a termés a töviseivel (vagy a horgaival, mint a 64. ábra 7. képén) beleakad az állatba, s amikor az más helyen, más tárgyba ütközik, leesik róla. Vannak azonban sokkal bonyolultabb esetek is. Így például a *kunkorgó árvalányhaj* (*Stipa capillata* L.) termése, amely nem a tokfélék, hanem a szemtermések csoportjába tartozik. Alsó részén igen hegyes s úgy szúr, mint a tű, felső részén pedig hosszú, szalagalakú, kopasz, nem tollas toklápszálcája van. Ha ez a szálla megcsalad, összecsavarodik s az így keletkezett hurkokkal és csomókkal mindenbe beleakad, amivel csak érintkezésbe jut. Ha a juh gyapjúbundájába kerül, teljesen belekúszalódik, s hegyes végével a szerencsétlen állat bőrébe fúródik és nyilvánvalóan éles fájdalmat okoz. Ha sok árvalányhaj van azon a helyen, ahol a juhok legelnek, a juhbőr értéktelenné válik, mert a növény termése átluggatja, s így kikészítésre alkalmatlan selejt lesz. Még bonyolultabb a *harpagophytum* (64. ábra, 8. kép), egy Dél-Afrikában honos növény karmoló termései. John Lubbock közlése szerint ezek a termések az oroszán

<sup>1</sup> Cservonyec = régi orosz aranyérme neve. — Ford.

szőrbe akaszknak, s a gyanútlan állat megkísérel onnan fogai-  
val kitépni, szőrnyű tövisai a szájába fúródnak, s a szerencsét-  
len állat, amely nem tud a tövisektől megszabadulni, sokszor éhenhal.  
Ezek a bonyolult formák azonban, amelyek oly sok szenvedést okoz-  
nak a szerencsétlen állatoknak, nyilvánvalóan nem annyira a ter-  
més elterjesztését, mint inkább az állatok ellen való védekezést  
szolgálják.

A termés elterjesztésének az a módszere, amely az állatok moz-  
gásának felhasználásán alapul, inkább előnyösebb a növényekre és  
sokkal kevésbé ártalmas az állatokra. Ennek a módszernek ugyanaz  
a kölcsönös előnynyújtás az alapja, amely a virágoknak a rovarok  
útján történő beporzásánál érvényesült. A növény termésének  
azzal a részével csalogatja az állatot, amelyet az táplálékul használ-  
hat fel. Ilyenek a leves, húsos termések, például a szamóca termése  
(64. ábra, 9. kép), a meggy, a fagyal, az őszibarack csonthéjas ter-  
mése (64. ábra, 10. kép), a málna bogycs termése stb. A magvak e  
széthordási módjának az a lényege, hogy a madarak, vagy a vad-  
állatok az ilyen terméseket táplálékul használják, s így a magot  
igen messzire elviszik, s az ürülékükkel együtt széthullatják. Mindez  
azonban csak akkor lehetséges, ha a termés húsa magához csalogatja  
az állatot, mint ízes falat felkelti az állat étvágyát. További feltétel,  
hogy a magvaknak olyan védőberendezésük legyen, amelyeknek  
segítségével kár nélkül áthaladhat az állat emésztőcsatornáján.  
A két feltételt a növény a következőképpen biztosítja: amíg a mag-  
vak fejlődnek és még nincsen vastag védőburkolatuk, a termés erő-  
sen savanyú, fanyar, a száját összehúzó ízével egyáltalában nem csa-  
logatja az állatokat, ezenfelül ilyenkor a termés kevésbé feltűnő,  
mert színe alig különbözik a levelek színétől. Mihelyt azonban a mag-  
vak megérték és kemény védőburkolatuk kialakult, a termésben  
cukor, keményítő és más tápláló anyagok halmozódnak fel és a ter-  
més színe is feltűnővé válik. Különösen gyakori szín a rikító sárga és  
piros. A magvak állati ürülék útján történő terjesztése még azért is  
hasznos a növényre, mert ebben az esetben a talajba kerülő mag  
közvetlen környezete trágyában is gazdag. Köztudomású, hogy a  
mezőgazdáknak is javasolták, hogy a magvakat elvetés előtt áztassák  
trágyalébe és takarják ásványi trágyákkal, mert a trágyázás ilyen  
megosztását találták a gazdaságosság szempontjából a legmegfele-  
lőbbnek. Nyilvánvaló, hogy a növény már előre megvalósította ezt  
a gondolatot. Némely növény sajátos életmódja egyenesen meg-  
kívánja, hogy termése az állati emésztőcsatornán keresztülhaladjon.  
Ilyen növény például a *fagyöngy* (*Viscum album* L.). Ez az élősködő  
növény, amely országunk déli vidékein fordul elő és néha nagy kárt  
okoz a gyümölcsösökben is, csak az alábbi körülmények között



csírázhatnak. Feltűnő fehér termését a madarak szívesen eszik, s az abban lévő magvakat ürülékeikkel széthordják a szomszédos fák ágaira, amikor azokra leülnek. A fagyöngy magvait rendkívül ragadós anyag (az úgynevezett madárlép) borítja, s ennek segítségével erősen hozzátapadnak az ágakhoz. Amikor pedig kicsíráznak, belefúrják gyökereiket az ág szövetébe, s megkezdik élődsi életmódjukat.

Tudjuk azonban, hogy az ember rendszerint nem elégszik meg azzal, hogy a magvakat elszórja, hanem gondosan be is takarja földdel. Nézzünk meg két esetet, amelyben a növény ezzel a feladattal is megbirkózik. Az egyik ismert kúszónövényünk, a *pintyő* (*Linoria cymbalaria muralis* Hill.) kiugró sziklákon és falakon él (64. ábra, 11. kép). Toktermése, ha megszárad, felpattan és apró, száraz magvai kiperegnek. Azt lehetnők, hogy ilyen körülmények között a magvak nem maradhatnak meg a függőleges, kemény felületen. A termés azonban ahhoz a ravasz fogáshoz folyamodik, hogy a magok kipergetése előtt a falak repedéseiben húzódik meg, s a magvai itt biztos menedéket találnak. Ennek magyarázata különben igen egyszerű. A termés kocsányának megvan az a tulajdonsága, amelyet a növekedéssel kapcsolatosan *negatív heliotropizmusnak* nevezünk. Ezt könnyen bebizonyíthatjuk, ha a növényt cserépben neveljük. Oldalról jövő megvilágítás esetében megfigyelhetjük, hogy a virágfejek a fény felé fordulnak, a termésfejek viszont elfordulnak a fénytől. Kísérleti körülmények között — a cserépben — ennek nincs nagyobb jelentősége a növényre nézve, de amikor a növény függőleges falon növekedik, fontos, hogy a terméskocsányok a repedések felé fordulva, a résekben helyezkedjenek el.

Végül nem csodálatos-e a déli sztyeppéink szépséges növénye, a valódi tollas puszta árvalányhaj szemtermése, amely érdekes berendezésével befúrja magát a földbe? A toklász felső vége hosszú szálkában folytatódik, amely a vége felé vöröses tollba — szőrűstökbe — megy át. Ebbe a tollba (63. ábra, 72. kép) könnyen bekapaszkodik a szél, s messze száll vele a sztyeppén. A termés alsó csúcsán hegyes horog van, amely nyúlványaival együtt a földbe fúródik. Ezután bonyolult szerkezet lép működésbe. A toklász szára, amely alsó kopasz részén igen higroszkópikus, kettős könyökben megöböl, ennek következtében a toll hamarosan vízszintes helyzetbe kerül. Ekkor, de semmivel sem előbb, egy másik mozgást figyelhetünk meg: a száлка alsó része a függőleges tengely körül forgó mozgást végez. Mialatt a toll a függőleges tengely körül forog, előbb utóbb megkapaszkodik valami szalmaszáliba vagy fűszáliba; ettől kezdve a támaszponthoz jutott szár további forgómozgása úgy fúrja be a termést a földbe, mint a dugóhúzó. Eközben a termést betakaró

kemény szőrök felfelé, kissé oldalt visszafordulva úgy megerősítik a szemet, mint a horgony. Azt gondolhatnánk, hogyha a környező légkör páratartalma fokozódik, a szem ugyanilyen módon kicsavarodik a földből. Minthogy azonban a két folyamat ugyanabban a sorrendben ismétlődik a toll, mielőtt kiszabadulna, függőleges helyzetbe kerül, s csak azután kezd a függőleges tengely körül forogni, s így a földre fúródott szemtermést ebbe a mozgásba nem kapcsolja be. Más szóval: a szemtermés befúródik a földbe, de onnan nem csavarodik ki a száлка visszacsavarodásával, hanem lassan még mélyebbre fúródik a földbe. Ennek a folyamatnak az eredménye tehát a kétféle mozgás sorrendjétől függ: a száлка elhajlásától és forgásától. A növény életműködésében alig akadunk másik olyan jelenségre, amely ennyire magán viselné az értelem, a belátás, vagy mint a filozófusok mondani szokták: a célszerűség jelét.

Az utóbbi időben egész iskola alakult ki azokból a filozófus-botanikusokból, akik a növényi élet hasonló jelenségei alapján azt állítják, hogy a növény életműködésében tudat van, hogy a növény érez, sőt mérlegel és ennek eredményéhez képest irányítja életműködését.<sup>1</sup> Erre csak annyit válaszolhatunk: íme, előttünk van a növény legértelmesebbnek látszó életműködése, s ez az életműködés éppen az élettelen száraz növényi szervben folyik le. Ebben a jelenségben nyilvánvalóan csak látszólagos az értelem, s más magyarázatot kell rá keresnünk, mint a képzelt öntudatot, s a növénynek az állathoz, sőt az emberhez való hasonlatosságát. Azt, hogy az efféle tényekhez milyen magyarázatot fűz az exakt tudomány, az utolsó előadásunkban látjuk meg; előbb azonban foglalkozzunk azzal a kérdéssel, hogy mi is a valóságos — tehát nem a kiagyalt — hasonlatosság és különbség a növény és az állat között.

<sup>1</sup> Ezt az iskolát Németországban R. France botanikus képviseli, aki a növény lelkéről szóló tanítását két, gazdagon illusztrált, terjedelmes kötetben fejtegeti; nálunk Famincün és Borodin akadémikusok, különösen pedig Polovcev professzor hirdetik ezt a tant; az utóbbi tankönyvében is arról akarja hallgatóit meggyőzni, hogy a növények éreznek és gondolkoznak. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

## Á NÖVÉNY ÉS AZ ÁLLAT

*Közkeletű felfogások a növény és az állat között fennálló különbségekről. — A növény mozgási képessége. — Mikroszkópikus mozgás: protoplazmák, zoospórák, spermatozoonok. — A magasabbrendű növények szerveinek mozgása a külső körülmények (hő, fény) hatására. — Ingerelhető szervek. — Az ingermozgások mechanizmusa. — Önként mozgó szervek. — A különféle mozgások hasznossága a növényre. — Az állati és növényi mozgási folyamatok belső hasonlatossága. — A táplálkozási folyamatok hasonlatossága. — A légzési folyamat hasonlatossága. — Légzés és erjedés. — Az ingerlékenység és az érzéketlenség jelenségeinek hasonlatossága az állatok és a növények körében. — Van-e a növénynek öntudata? — A növény és az állat között mutatkozó különbség természete nem minőségi, hanem mennyiségi, nem kategorikus, hanem tipikus. — A kísérleti élettan eredményeivel nem merülnek ki ennek a tudománynak feladatai.*

Az eddigi előadásaink során a növényi szervezet három életműködésével ismerkedtünk meg: a táplálkozással, a növekedéssel és a szaporodással, s az utóbbiról megtudtuk, hogy bizonyos mértékig a növekedés részleges esetének tekinthető. Ha csak felületesen nézzük a természetet, ha csupán azokra a formákra és jelenségekre gondolunk, amelyekkel lépten-nyomon találkozunk, könnyen arra a megállapításra juthatunk, hogy ez a három működés a növény egész életműködését kimeríti. Valójában ezt a gondolatot fejezi ki a növényi élet fogalmának az a meghatározása, amely valószínűen még az emberi emlékezetet megelőző időkben alakult ki és amelynek értelmében a *növény él* (vagyis növekszik, táplálkozik), de *mozogni nem tud*. Néha hozzáteszik még: *önként nem tud mozogni*. A mozgásnak, az önkéntes mozgásnak a hiányát a növény és állat közötti különbség egyik lényeges vonásának tekintik. Arról az emberről, akinek életműködése csupán a növekedési folyamatokra szorítkozik, viszont azt szokták mondani, hogy csak vegetál.<sup>1</sup> Helyes-e azonban a növények életének ilyen általános megítélése? Ha mélyebben bepillantunk a növények

<sup>1</sup> Tenyészt. — Szerk.

világába, ha jobban megismerkedünk magával a növényvel, ezt az általánosítást kissé elhamarkodottnak találjuk, mert meglepődve állapíthatjuk meg, hogy a mozgás jelensége nem hiányzik a növények világából sem, sőt ott is igen elterjedt jelenség.

Vegyük hát elő a mikroszkópot, s figyeljük meg a lencséjén keresztül egy teljesen fejlett, egész és ép sejtet, mégpedig lehetőleg természetes körülmények között. E célból vegyünk egy finom szőrszálát a száruk, levelek, vagy a fiatal gyökerek felületét takaró pihéből. Az ilyen szőrszál egy sejtéből vagy a sejtsorok láncszerű sorozatából áll. Ezt figyelhetjük meg akkor is, ha éles borotvával óvatosan kivágunk valamelyik vízinövény, például a *vallisnéria* (*Vallisneria spiralis* L.)<sup>1</sup> leveléből vagy szárából olyan vékony szeletet, amely átlátszó, de amelyben a megvizsgálandó sejtek ennek ellenére épek. A vízi növények azért alkalmasak erre a célra, mert a mikroszkópos megfigyelést víz alatt végezzük, tehát a sejtek természetes környezetükben maradnak. Ha minden feltételre gondot fordítottunk, tehát a hőmérséklet nem túlságosan alacsony és a sejtek is épek, szemünk előtt pár perc múlva a szerves világ egyik legérdeke sebb jelensége játszódik le. A sejtnedv, vagy pontosabban a sejttartalom *protoplazmának* nevezett része<sup>2</sup> — amely sűrű folyadék, s rétegesen takarja a belső sejtfalat, vagy sugarasan áthúzódik a hígabb folyadékot tartalmazó sejtüregben — kezdetben csak lassan, majd egyre gyorsabban mozogni kezd mindegyik sejtben.<sup>3</sup> Ez a mozgás különösen tisztán látható, ha — miként a *vallisnéria* esetében — a protoplazmában világoszöld klorofill-testecskék is úszkálnak. Láthatjuk, hogy a klorofill-testecskéket a protoplazma gyors áramlása magával ragadja s a hosszúkás sejtfalon lefelé viszi. A testecskék azután bekenyarnarodnak a keresztfal irányában, lecsúsznak a másik hosszú falon, ismét befordulnak a következő keresztfalnál, s visszatérnek kiindulási pontjukhoz. Ezt a körforgást újra és újra megismétlik. A protoplazmának ezt a gyors körmozgását ugyanabban a sejtben órákon, sőt napokon keresztül figyelhetjük. Olyan sejtben, amelyben a protoplazma sugárhálórendszer szerint helyezkedik el, a mozgás nemcsak a sejtfalak mentén haladó köráramlásból áll, hanem magukban a sejtüregben áthaladó vékony sugarakban is észrevehető. A mozgást

<sup>1</sup> Ennek a növénynek keskeny, szalagszerű leveleivel minden szobai akváriumban találkozhatunk; a növény virágairól pedig — amelyek virágzás közben igen érdekes jelenséget mutatnak — korábbi előadásunkban volt szó (60. ábra). — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> Lásd a II. Előadást. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>3</sup> Ne feledkezzünk meg arról, hogy a mozgást mikroszkóp alatt figyeljük meg, tehát az erősen nagyított; a valóságban a mozgás igen lassú, rendszerint nem gyorsabb, mint a közönséges zsebóra percmutatójának járása. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

bármilyen szörszálban is megfigyelhetjük, így például a már megismert *pletyka* (*Tradescantia virginiana* L.) szörszálaiban (12. ábra), a csalán csípős szőreiben, valamint a termések húsán, például azokon a nagy, szabad szemmel is látható laza sejtekben, amelyekből a görög-dinnye legérettebb, leglazább része áll. Ha tűheggyel leemelünk, s mikroszkóp alá teszünk néhány ilyen sejtet, mindegyikben megfigyelhetjük a protoplazma sugaras mozgásának érdekes jelenségét. A szóban lévő sejtek protoplazmája tehát állandó mozgásban van, s ez a mozgás önálló mozgás, mert nem külső, fizikai tényező idézi elő, noha az ilyen tényező — például a hő vagy a villamosság hatása — ezt a mozgást módosíthatja, tehát gyorsíthatja, lassíthatja vagy meg is szüntetheti. Ennek a mozgásnak annyiféle példáját ismerjük, hogy valószínűnek tarthatjuk: a protoplazmát minden sejtben — legalább is életének bizonyos szakaszában — a mozgás jellemzi.

A protoplazmamozgás néha még érdekesebb alakban és olyan mértékben jelentkezik, hogy szabad szemmel is megfigyelhetjük. Van a szervezeteknek egy csoportja, amely annyira különleges, hogy hosszú ideig nem is tudták, vajjon az állatok, vagy a növények közé sorolják-e. Még ma is akadnak tudósok, akik ezt a csoportot sem az állatok, sem a növények körében nem tudják besorolni, hanem egy harmadik, külön világba teszik. Helyesebb azonban, ha ezeket a szervezeteket a legegyszerűbb növények, a gombák közé soroljuk. A szervezeteknek ezt a csoportját *nyálkagombáknak* (*Mixomycetes*) nevezzük, mert tagjaik életük javarésztében minden szerkezet vagy sejtfa nélkül, csupán összegyűlt protoplazmából állanak, s így színtelen, barnás- vagy világossárga nyálkának látszanak. Ezek a szervezetek korhadó fák, levelek stb. felületén jelennek meg. Az egyik idetartozó szervezetet jól ismerik a börtgyárakban is, ahol a felhalmozott cserzőkérgen szokott megjelenni . . . Ezek a sárgaszínű, alakatlan plazmatömegek a rothadó fatörzsön keresztül össze-vissza, szálak alakjában hatolnak át, vagy a fatörzs felületén különféle ágas-bogas sugarakban, sűrű gömbalakú csomókban gyűlnek össze. Ha ujjunkkal megérintünk egy ilyen csomót, azt tapasztaljuk, hogy ez a tömeg nem egyéb, mint tejfelhez hasonló sűrű folyadék. De ha valamiképpen megjelöljük a félfolyékony tömeg (plazmodium) helyzetét és emlékezetünkbe vessük alakját, rövid idő múlva meglepetéssel tapasztaljuk, hogy elmozdult helyéről, és megváltoztatta alakját is. Ha jól megfigyeljük a vékony plazmódium egyik vékony elágazását, vagy még inkább, ha mikroszkóp alá tesszük, közvetlenül is meggyőződhetünk mozgásáról. A kiágazások vagy sugarak további kiágazásokat bocsátanak ki, amelyekbe a szomszédos részekből átfolyik a protoplazma. Az így keletkezett nyúlvány hamarosan visszahúzódik a közös tömegbe, majd egy másik tűnik fel s a proto-

plazma ehhez folyik. Ilyen módon a plazmódium hol összehúzódik, hol kifágul s így mindenfelé kúszik, de leginkább egy meghatározott irányban halad. Egyik helyről teljesen áthelyeződik a másikra, jelentékeny távolságra jut, kicsúszik a fényre, felkúszik az útjába eső tárgyakra, például az eléje tett papírra vagy üvegre; egyszerűen vándorol mindaddig, amíg a szaporodás ideje be nem következik. Ekkor bizonytalan alakú lepénnyé alakul, ami tenyérnyi nagyságú is lehet. Ezeknek a lepényeknek nagyon vékony, merev, törékeny kérgük van, a kéreg alatt pedig igen finom port találunk, amely az eltaposott pöfeteggombából felszálló porra emlékeztet. A por mindkét esetben leginkább parányi sejtekből áll, s ezek a parányi sejtek — a *spórák* — szolgálják a gombák szaporodását. A nyálkagomba spórái, ha kicsíráznak, levetik a burkukat, s hamarosan mikroszkópikus tömeggé alakulnak, amelyek állandóan változtatják alakjukat; protoplazmagombolyagokká lesznek, amelyek kicsinyben ugyanazt a kúszó, elfolyó mozgást végzik, mint az imént leírt osztatlan plazmódiumok. Ez érthető is, hiszen a plazmódiumok, azaz a protoplazmák szabad szemmel is látható felhalmozódásai a spórákból származó, rengeteg mikroszkópikus gomolyag egybefolyásából keletkeznek.

Láthatjuk tehát, hogy a protoplazmát, minden növényi vagy állati sejt alapját, az eddig még eléggé meg nem magyarázott mozgás jellemzi, mégpedig tekintet nélkül arra, hogy a protoplazma burokból van-e vagy egészen szabadon, mint a nyálkagombák plazmódiumaiban.<sup>1</sup>

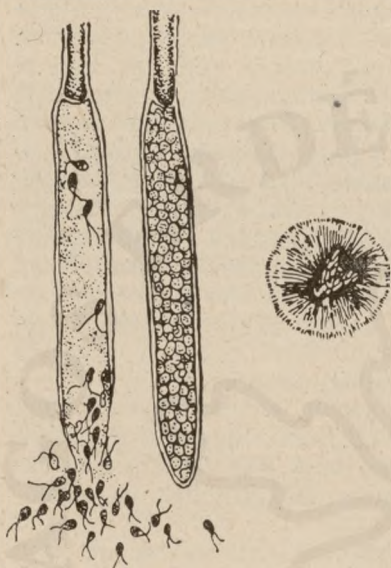
Ezekkel az esetekkel azonban távolról sem merítettük ki a növényi sejtben megfigyelhető mozgás jelenségét. Eddig csak egyféle mozgással, az alaktalan sejtömeg elfolyó mozgásával ismerkedtünk meg; lássuk most az egész sejt gyorsan haladó mozgását is. A spórás növények számtalan példát szolgáltatnak erre a jelenségre. Vegyünk olyan tetszésszerű példákat, amelyekkel lépten-nyomon találkozhatunk. Dobjunk egy döglött legyet egy pohár vízbe. Két-három nap múltával a víz színén a légy körül finom fehér lepedék keletkezik, amely olyan, mintha a légy testét sugárkéve venné körül (65. ábra). Ez a penész, vagyis egy mikrogomba. Ha a sugarasan elhelyezkedő szálakat mikroszkóp alatt vizsgáljuk, a legtöbb szál végén hosszúkas zacskókat látunk, amelyek színtelen, apró szemcsékkel vannak tele (65. ábra). Ha a mikroszkóp alatt vízcseppben több ilyen zacskót hagyunk s időnkint belepillantunk a mikroszkópba,

<sup>1</sup> Ennek a mozgásnak kielégítő fizikai magyarázata van. Sajnos, a magyarázatra nem térhetünk ki, mert akkor hosszasan el kellene időznünk a fizika területén. Ezért csak annyit mondunk, hogy ha a mikroszkóp alatt két folyadékot összekeverünk, hasonló alakokat és mozgást láthatunk. — *Az oroszlán kiadás jegyzete.*

bizonyára eltaláljuk azt az alkalmas pillanatot is, amikor a szemünk előtt hasad meg valamelyik zacskó csúcsa s a benne levő szemcsék kiözönlnek. A szemcsék a nyílásnál tömörülnek, s ekkor megfigyelhetjük, hogy az elülső, kihegyesedett csúcson két csillószőr

van. Még néhány pillanat, s az egész halom szemcse megrezdül. Eleinte csak néhány, azután egyre több, s végül valamennyi szemcse hemzsegni kezd, forog, szétfut, mozgatja csillangóit, amelyeket most már alig lehet észrevenni. Utána még sokáig sűrögnek-forognak, bejárják a mikroszkóp egész látóterét, egymásba ütköznek, beleütődnek az útjukba akadó tárgyakba, eltávolodnak tőlük, s más irányba terelődnek.

Ezt a mozgást nem lehet megkülönböztetni az ázalékállatok mozgásától. Ez a mozgás annyira ellentmond a növények mozdulatlanságáról kialakult közkeletű fogalmaknak, hogy az első megfigyelők nem akarták saját szemüknek hinni. Kétségbe vonták ezeknek a testeknek növényi eredetét s azt képzelték, hogy olyan állatokat figyelnek meg,



65. ábra

amelyek a növények testében fejlődnek ki. A mozgékony sejtek azonban bizonyos idő elteltével megállnak, kicsíráznak, s új szervezeteknek adnak életet: tehát spórák. Mivel pedig ezek a spórák mozgásukkal az állatokra emlékeztetnek, *zoospóráknak*, vagyis állatspóráknak, vagy még találóbban mozgó- vagy vándorspóráknak is nevezik őket. Ismerkedjünk meg a zoospórák másik példájával is, egy másik növénycsoport, az úgynevezett *zöldmoszatok* (Chlorophyceae) körében. Víz alatti tárgyakon, tavakban, patakokban, árkokban és néha a nagyon nedves talajon is előfordul egy világoszöldszínű moszat, amely egyetlen csőalakú, többfelé ágazó sejtéből áll. Ha nyáron egy ilyen moszatot egy pohár vízbe teszünk, minden reggel érdekes jelenséget figyelhetünk meg. A víz színén, a pohárnak az ablak felé fordított szélén keskeny, világoszöld csík jelenik meg. Ha a poharat úgy fordítjuk, hogy a zöld csíkot ne érje a fény, észrevesszük, hogy a zöld csík hamarosan eltűnik, hogy nem-

sokára ismét előkerüljön a pohárnak a fény felé eső oldalán. Akárhányszor ismételjük ezt a kísérletet, az eredmény mindig ugyanaz; világos tehát, hogy ez a zöld anyag mozogni tud és a fény felé mozog. Vizsgáljuk meg, hogy miből áll ez a zöld anyag és honnan került oda. Tegyük egy vízcseppet ezzel a zöld anyaggal a mikroszkóp alá, s majd meglátjuk, hogy csak úgy nyüzsögnek benne a minden irányban sürgölődő zöld sejtek. A sejteknek nincs faluk, hanem olyan protoplazma gomolyagok, amelyeknek egész felületén csillangók csillannak. Most pedig forduljunk a moszat felé, s vizsgáljuk meg, hogy milyen kapcsolatban van az élénken mozgó zöld sejtekkel. Zöld csövecskéinek végein gombostűfejalakú kidudorodásokat látunk, amelyek sötétebb és sűrű zöld anyaggal vannak tele. Ha egy ideig figyeljük ezt a zöld dudorodást (kora reggel figyeljük meg, mert napközben a jelenséget már nem észlelhetjük), azt látjuk, hogy a zöld tömeg kerekded, vagy inkább tojásdad gomolyaggá alakul, kicsúszik a felül megnyíló zsákocskából és mozogni kezd. Ez tehát egy nagy zoospóra, amely a moszat protoplazmájából alakult.

A spórás növények mozgása nem szorítkozik csupán a zoospórákra. Az előző fejezetben már láttuk, hogy ezekben a növényekben határozottan elkülönülnek a nemek, példának azonban az egyszerűség kedvéért szándékosan olyan eseteket kerestünk ki, amelyekben mind a női, mind a hímsejtek mozdulatlanok és csak összenövés révén kerülnek egymással érintkezésbe. Az esetek túlnyomó részében azonban a hímsejt mozgékony és behatol a külön szeryben lévő női sejtbe. Aránylag ritka az az eset, amelyben mind a hím, mind a női sejtek mozgékonyak, mint a zoospóráknál, amelyek mozgás közben összeütköznek, összetapadnak és végül egyesülnek, egy tömeggé, egy sejté, egy spórává alakulnak. Általában a moszatok, mohák, páfrányok, zsurlók és korpafüvek körében csak a hímsejtek mozgékonyak. Ezeknek a hímsejteknek rendszerint jellegzetes alakjuk van: leggyakoribb a csavarmentesen összekunkorodott szőrszál vagy kígyó alakja, melyek néha csillangókkal is el vannak látva. Ezeknek az úgynevezett *spermatozoidáknak* vagy *antherozoidáknak* kettős mozgásuk van: gyorsan haladnak előre és közben saját tengelyük körül forognak. Amíg tehát a magvas (virágos) növények megtermékenyülését bonyolult szerkezetek biztosítják, amelyek a mozdulatlan virágport a bibére segítik, addig itt maguk a sejtek, a spermatozoidák mozognak.<sup>1</sup> A spermatozoidát legjobban a moháknál figyelhetjük meg. Ha tavasszal leszakítjuk az úgynevezett *aranyüstök*-nek (*Polytrichum commune* L.), tehát annak a nagy lombos

<sup>1</sup> Előző előadásunkban már említettük, hogy némely növény virágportömlőjében spermatozoidákat találunk; ennek a ténynek jelentőségét a következő előadásunkban méltatjuk. — *Az orosz kiadás jegyzete.*



mohának a kis szárát, amely erdeinkben és mocsarainkban kerek, puha, párnaszerű, zöld csoportokat alkot, s megnyomjuk ezen a száron — az úgynevezett toknyélen — levő jelentéktelen, barnásszínű, palackszerű tartókat, kis fehérszínű csepp buggyan ki belőlük, s minden cseppben milliószámra nyüzsögnek a spermatozoidák... Vagy itt van a tengeri *hólyagmoszat* (*Fucus vesiculosus* Tourn) női sejtjének megtermékenyülése. Ennek a Balti-tengerben is honos moszatnak a sejtje eredetileg nem mozog, de körülötte hemzsegnek a spermatozoonok, melyek néha sűrű lepedékként elborítják, s mozgásuk közben magát a sejtet is magukkal ragadják.

Ezek, a mikroszkóp alatt megfigyelt példák azt igazolják, hogy a növényvilág is tele van mozgással: mozog a protoplazma a görög-dinnyének a fogaink között ropogva széteső sejtjeiben, mozognak a zoospórák milliárdjai, ott hemzsegnek a kizöldült tócsában vagy az éjjeli harmatcseppben, mozognak a mohák és a páfrányok spermatozoidái, hogy utat törjenek maguknak a női sejt felé, hogy megtermékenyíthessék azt. Vajjon nem találjuk-e meg ezt a mozgást határozottabb alakban olyan szervezetben és növényekben is, amelyeket szabad szemmel megfigyelhetünk, s amelyekre elsősorban gondolunk, amikor a »növény« szót kiejtjük? Könnyen meggyőződhetünk arról, hogy a mozgás jelensége ezeknek a növényeknek a körében is előfordul, noha ritkábban, mint az első csoportban. Különösen határozott alakban jelentkezik a mozgás jelensége a forró országokban otthonos, vagy a melegházainkban élő növényeken. Ez könnyen megérthető, hiszen a hőmérséklet emelkedése a növény minden mozgását meggyorsítja. A protoplazma mozgását például tetszés szerint gyorsíthatjuk vagy lassíthatjuk, sőt megállíthatjuk azzal, hogy a megfigyelt sejtet melegítjük vagy lehűtjük.

Ha a magasabbrendű növények szerveinek mozgásáról beszélünk, kétféle mozgást kell megkülönböztetnünk; az egyik lassú, fokozatos, olyan mint a növekedés, amelyet csak az eredményében ismerünk fel, s rendszerint a külső körülmények változó hatásától függ, a másik mozgás gyors, szakadozott, olyan mint az állatoké, az utóbbi mozgást külső ingerek váltják ki vagy minden ilyen inger nélkül, önmaguktól mennek végbe.

Az első csoportba tartozik a növények úgynevezett *alvása* (niktinasztia); azaz a levelek és a virágrészek helyzeti változásai, a különböző nappali és éjjeli órákban. Ez a jelenség csaknem minden növényen megfigyelhető, élesen határozott alakban azonban csupán néhány növényen jelentkezik. Ha megfigyeljük a vörösherével, vagy bíborherével borított mezőt nappal és este, alkonyatfelé, azt látjuk, hogy egészen más a képe. Nappal a mező felszíne sokkal egyenletesebb, mert a hármasszelevek csaknem vízszintesen helyezkednek el,

színüket az ég felé fordítják, hogy egész felületükkel felfogják a növényre eső fényt. Ezzel szemben alkonyatfelé pedig olyan a mező felülete, mintha felborzolták volna, s ha az egyes leveleket közelebről is megnézzük, észrevesszük, hogy a levélnek mindhárom levélkéje *felemelkedett*, már nem színét, hanem élet fordítja az ég felé. A két alsó levélke összeborult, a harmadik pedig az élükhöz állott. Más növények éjjelre függőlegesre állítják levéllemezeit, s szinte azt hihetjük, hogy ellankadtak, mint a hervadó virágok, pedig ellenkezően: a levéllemezek felfelé emelkedtek. Világos tehát, hogy nem lankadásról vagy hervadásról van szó, hanem különleges mechanikai jelenségről.

A növények alvásának jelenségét még kifejezettebb alakban figyelhetjük meg a virágszerveken. Így például kora hajnalban vagy alkonyatkor nem látjuk a pityang virágait, amelyek nappal sárgán virítanak a tarka kerti tisztásokon. Ennek oka az, hogy nappal a fény hatására a virágfejek szétnyílnak, de nagyon borús időben nappal is csukva maradnak. Más virágok viszont nappal záródnak be; ilyen például a nálunk is elterjedt gyermekláncfű, amely nagyon hasonlít a közönséges pityangra, de sárga virágzata valamivel nagyobb. Ez a gyermekláncfű virágait kora hajnalban nyitja ki, de már 10—11 óra felé újra becsukja. Ez a jelenség a múlt században, erősen foglalkoztatta a botanikusokat, úgyannyira, hogy az úgynevezett *flóranaptár* összeállítását is tervezték. Naptárszerűen akarták összeállítani a különféle virágok kinyílásának és csukódásának időpontjait. Könnyen meggyőződhetünk arról, hogy a szóban lévő jelenségek a fény és a hő hatásától függenek. Különösen alkalmas az ilyen irányú kísérletekre a *kárpáti sáfrány* (*Crocus Heuffelianus* Herbert), amelyet a mi kertjeinkben és szobavirágaink között gyakran láthatunk. Nagy virágai nappal kinyílnak és éjszakára bezáródnak. Ezt a jelenséget azonban megfordíthatjuk megfelelő világitás, illetőleg elsötétítés alkalmazásával, vagy azzal, hogy a virágot meleg helyiségből hűvösbe visszük, vagy fordítva. 5—10<sup>o</sup>-os hőmérsékletváltoztatás a virágot néhány perc alatt kinyílasra vagy becsukódásra készíti. Mindezeket a jelenségeket nem egyetlen növekedéssel, vagy a felső és alsó szövetek, avagy a mozgó szerv külső és belső részének eltérő feszültségével magyarázhatjuk. Láttuk például, hogy a fény késlelteti a növekedést. A fény hatására tehát a külső rész növekedése visszamarad, a belső részek utolérlik azt és arra törekszenek, hogy kifelé nyomják a felső részt. A virág ennek következtében kinyílik. Ekkor a belső (vagy felső) részek kapnak erősebb fényt és az árnyékban lévő külső (vagy alsó) részek növekednek gyorsabban, mire a virág becsukódik. Ehhez hasonló megállapításokra jutunk a hőmérséklet ingadozásával kapcsolatban is.

A jelenségnek tehát ez a lényege. Végső fokon a jelenséget az egyenlőtlen növekedésre vezethetjük vissza, s valóban azokon a szerveken figyelhetjük meg leginkább, amelyek még nem fejezték be növekedésüket.<sup>1</sup> A mozgások másik csoportja nem ilyen természetű, hanem gyorsan megy végbe, nyomban követi az ingerlő hatást, vagy pedig minden külső ösztönzés nélkül, mintegy magától jelentkezik. Vizsgáljunk meg néhány példát ennek a jelenségnek a köréből is. Kezdjük a legegyszerűbb esettel, amelyet egyik, mindannyiunk előtt ismert növényen: a *sóskafán* (*Berberis vulgaris* L.) figyelhetünk meg. Sárga, apró rózsákra emlékeztető virágjának a közepén helyezkedik el a termő, a rajtaülő bibével együtt (66. ábra *t.*),<sup>2</sup> s a termőt hat porzósál veszi körül. A porzósálak elhelyezkedését nyugalmi állapotban az ábra baloldalán lévő *t* rajz mutatja be. Ha a *porzósálat* tűheggyel megérintjük — mint a 66. ábrán láthatjuk — az nyomban megmozdul és az ábrán jobboldalt feltüntetett *p* helyzetet veszi fel, tehát a virágportokkal a bibéhez simul. Bizonyos ideig ebben a helyzetben marad, azután lassan visszatér az eredeti helyzetébe, de a legkisebb ingerre is ismét a bibéhez hajlik. Ingerlésre más-más módon mozdulnak meg a búzavirág, a



66. ábra

bogáncs, az articsóka és más növények porzósálai is, bár nem mikroszkopikusak, elég apró szerveken valósulnak meg, s azért nem annyira meglepőek, mint a melegházainkban termesztett mimóza (*Mimosa pudica* L.) rendkívül érzékeny leveleinek mozgása. Ha látjuk annak az embernek csodálkozó tekintetét, aki a mimózáról mitsem hallott, s most először figyeli meg, hogy ez a növény a legkisebb külső megrázkódtatásra összecukja és visszaengedi a leveleit, értjük meg egészen azt, hogy milyen mélyen gyökerzik az emberekben a növények mozdulatlanságáról a mindennapi tapasztalat által kialakított meggyőződés. A mimóza levele nyugalmi állapotban olyan, amint azt a 67. ábra jobboldali rajza feltünteti. A mimóza levele összetett levél; a közös levélnyélhez legyező-

<sup>1</sup> Ezek a jelenségek némely esetben inkább a következő kategória jelenségeire emlékeztetnek, azaz a sajátos szövet jelenlététől függenek, amelyben a víztartalom s így a sejtek feszültsége is változik. Ilyen esetekben a jelenséget természetesen a kifejlődött növényeken is megfigyelhetjük. Idetartozik például a levelek alvásának jelensége. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> A 66. ábra a sóskafa virágának vázlatos keresztmetszetét mutatja; *sz* — a szirmok állását, *p* és *p* — a porzósálakét és *t* — a termőt a rajta ülő bibével együtt mutatja be. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

alakban szétterjeszkedve négy másodlagos levélnyelül illeszkedik, s mindegyik másodlagos levélnyélen sok páratlanul szárnyalt levélke ül. Elég, ha egyetlen ilyen levélkét megérintünk, vagy más módon ingerlünk, a levélkék nyomban mozogni kezdenek. A levelek párosával felemelkednek s előre összecukódnak, mint a csendesen pihenőlepke szárnyai. Összezárodik oldalvást előre a négy kiterjesztett másodlagos levélnyelül is és végül a főlevélnyelül lesüllyed, lekonyul, mintha levágták volna. Az egész levél olyan lesz, amint azt a 67. ábra baloldalán láthatjuk. Minél magasabb a környező hőmérséklet, annál gyorsabb ez a mozgás.



67. ábra

gyorsabb ez a mozgás. Az ingerlés elmúltával a levél lassanként visszatér eredeti helyzetébe, de újabb ingerlésre a jelenség megismétlődik.

Ebben az esetben már nyilvánvalóan olyan hevesebb mozgást észleltünk, amelyet külső impulzus<sup>1</sup> vált ki. Ez a mozgás meglepően hasonlít azoknak az állatoknak a mozgására, amelyek kitérni igyekeznek a nyugtalanító külső hatás elől. Megmagyarázhatjuk-e valamiféleképpen ezt a jelenséget? Igen is, nem is. A mozgás közvetlen mechanizmusát megmagyarázhatjuk, de nem tudunk magyarázatot adni annak az inger létrehozta izgalomnak a lényegére, mely magát a mozgást kiváltja. A mozgás azokon a pontokon megy végbe, ahol a levélkék a másodlagos levélnyelülekhöz, továbbá a másodlagos levélnyelvek a közös főlevélnyelülekhöz, s végül a főlevélnyelül a szárhoz illeszkedik. Mindezek az illeszkedési helyeken, az úgynevezett csuklóokban különleges vastagodások, vagy vánkосok láthatók. A vánkосok igen dús nedvtartalmú szövetekből állnak, sejtjeik is nedvekkel teltek; ennek következtében ezek a részek állandó feszültségi állapotban vannak. Az ingerlés pillanatában azonban a feszültség hirtelen megszűnik, vagy a feszültség hatása ellenkező irányban jelentkezik. Így például a közös főlevélnyelül illeszkedési helyén lévő vánkосok első részének szövetfeszültsége a nyelet vízszintes, vagy inkább kissé emelkedő helyzetben tartja (67. ábra, jobboldalt). Az ingerlés pillanatában azonban a vánkосnak ez a része elveszti feszültségét, lan-

<sup>1</sup> Itt : ösztönzés. — Szerk.

kadt, petyhüdt lesz ; már nem tudja a nyelet tartani, s a nyél lehull, helyesebben lehajlik, a vánkös rugalmasságát megtartott felső része aláhajlik. Ilyenképpen a vánkös alsó és felső része állandó antagonizmusban (ellenhatásban) van egymással. Nyugalmi állapotban az alsó rész feszültsége a túlnyomó, s a levélnyel felemelkedik. Az ingerlés pillanatában, amikor az alsó rész feszültsége megszűnik, a felső rész feszültsége kerül túlsúlyba s lefelé hajlítja a levelet. Azokon a pontokon viszont, ahol az egyes levélkék a másodlagos nyelekhez illeszkednek, éppen fordított a helyzet. A vánkösök felső része — amely ebben az esetben kölesszem nagyságú, fehérszínű kidudorodások — rendszerint feszültebb, mint az alsó rész, így tehát a levelek vízszintesen, sőt valamennyire lefelé hajolva helyezkednek el. Az ingerlés pillanatában azonban a felső rész feszültsége megszűnik, a levélkékre egyedül az alsó rész feszültsége hat, s így a levélkék felemelkednek és páronként összezárulnak. Így hát a mozgás közvetlen oka a szövet gyors, szinte pillanatnyi feszültségátszállása a vánkös egyik részében. Az addig rugalmas vánkös rész ellankad, s ennek következtében a szerv egymással antagonizmusban levő két része között megbomlik az egyensúly és a levelek a megfelelő irányban elmozdulnak. Mivel magyarázzuk azonban ezt a hirtelen bekövetkezett ellankadást, az egyensúlyt ezt a gyors megbomlást ? A mikroszkópikus vizsgálat azt mutatja, hogy a szövetnek abban a részében, amely a feszültségét olyan gyorsan képes elveszíteni, a sejtek fala vékonyabb, mint az antagonista szervrész szövetének sejtfalai. Ehhez járul még az is, hogy az érzékenyebb szövetrészben sok a sejtközi járat, amely levegővel van tele. Az ingerlés pillanatában ezek a sejtközi járatok folyadékkal telnek meg melyről könnyen meggyőződhetünk. Ha figyelmünket a levélke nyelének csuklójánál lévő duzzadt vánkösra fordítjuk, azt látjuk, hogy a mozgás pillanatában mintha valami árnyék szaladna át ezen a ponton, s utána a vánkös színe sötétebb lesz. Ugyanezt még élesebben megfigyelhetjük, ha óvatosan mindkét kezünkkel egyszerre megfogunk néhány levélpárt, s nem engedjük, hogy az így keletkezett ingerhatásra összezáródjanak. Ekkor világosan láthatjuk, hogy mindegyik levél tövénél azok a duzzadt vánkösök, amelyeket az imént a kölesszemekhez hasonlítottunk, hogyan változtatják meg színüket, hogyan mennek át a homályos fehér színből, az áttetsző vizes-zöldbe. Mihelyt pedig elveszük a kezünket, a levelek hirtelen összezáródnak. Mi az oka a hirtelen színváltozásnak ? Ugyanez, ami miatt a hó fehér feületén, az itatóspapíron, vagy a homályos üvegen sötét folt keletkezik, ha vizet fecskendezünk rá. Mindezekben az esetekben a fehér színt az idézi elő, hogy a fény számtalan, apró, levegővel határos felületről verődik vissza. Amint azonban a levegő helyére víz kerül, csökken,

vagy megszűnik a fény visszaverődése, a test átlátszóbb, s színe kevésbé világos lesz. Egyébként kísérlettel közvetlenül is igazolhatjuk ennek a magyarázatnak a helyességét. Messzük be finoman a főlevélnyél vánkosságának alsó részét. A mozgás pillanatában a metszés helyén egy csepp víz jelenik meg. Ha ugyanígy bemetszünk az inger következtében már összecukódott levélke vánkosságát, a vízcsepp nem jelentkezik. Az a vízmennyiség, amely a sejtekből kinyomul és elfoglalja a sejtközi járatokban a levegő helyét, idővel felszívódik vagy elpárolog. A sejtek újból megtelnek vízzel, a szövet pedig a legközelebbi ingerhatásig ismét megfeszül.

Végső elemzésben tehát a megfigyelt jelenség okát abban kell keresnünk, hogy a víz gyorsan kinyomul az ingerlékeny szövet vékonyfalú sejtjeiből, s hogy ennek következtében a szövet ugyanolyan gyorsan elveszti feszültségét. Mi okozza azonban azt, hogy a víz az ingerlés következtében kinyomul a sejtekből és mi az az erő, amely a sejteket arra készíti, hogy újból megteljenek vízzel? Erre a kérdésre egyelőre nem tudunk választ adni. A továbbiakból azonban kitűnik, hogy valószínűleg elektromos jelenségekkel van dolgunk.

Nézzünk most egy másik példát. A múlt század végén találtak Észak-Amerika mocsaraiban egy növényt (68. ábra), amelyet *Vénusz légyecsapójának* (*Dionaea muscipula* Ell.) nevezték el. Ez a növény még meglepőbb mozgásokat végez. Tőlevéllemezeinek felső része csapda-alakú és valóban ezt a szerepet is tölti be. A levéllemezről több ingerfelfogó szőrkeplet áll ki. Elég, ha csak megérintünk egy ilyen szőrszálat, vagy ha egy rovar rátéved vagy rászáll a levéllemezre: a levéllemez két fele meglepő gyorsasággal összecsapódik,



68. ábra

s a növény többé nem engedi el áldozatát. Minél jobban nyugtalanodik a fogoly állat, annál jobban összezáródnak börtöne falai. Az állat és a növény között folyó harc eredménye pedig mindig ugyanaz: az állat halála.

A mimóza és a Vénusz légyecsapója példáján olyan növényekkel ismerkedtünk meg, amelyekből a jegkisebb külső inger is mozgást válthat ki. Van azonban olyan növény is, amelynél a mozgás látszólag külső ingerhatás nélkül, önmagától megy végbe.<sup>1</sup> Ilyen például a *Desmodium gyrans*, ez a Kelet-Indiában honos, pillangósvirágú növény, a mi borsónk és herénk távoli rokona. Képzeljük el, hogy az összetettlevelű lóhere egyik — a levélgerincen az utolsó — levele, amely három levélkéből tevődik össze, nagyon meghosszabbodott,



69. ábra

míg a két szárnylevél alig fejlett, s ennél a meghosszabbodott levélnél sokkal kisebb; ilyenféle a *desmodium* levele, amelyet rajzban a 69. ábrán mutatunk be. Ha forró, derült napon e növényvel szemben állunk — amelyet melegházainkban is megtalálunk — pár perc alatt észre vesszük, hogy levelei között valami időnkint megremeg. Ha a figyelmünket arra a levélre összpontosítjuk, amelyik váratlan mozdulatával a figyelmünket felébresztette, nyomban megbizonyosodunk arról, hogy a növényvilág

egyik legérdekesebb jelenségének vagyunk tanúi. Tegyük fel, hogy a két kisebb levélkének eredetileg vízszintes helyzete volt; most ezt a vízszintes helyzetet az egyik levélke ugrásszerű gyors mozdulattal hirtelen megváltoztatja s már nem vízszintesen, hanem éles szögben elhajolva áll. Még egy-két mozdulat s már felemelkedett és függőleges helyzetet vesz fel. Ugyanakkor a másik levélke, ugyanolyan gyors mozgással, mintha valami belső erő taszítaná, lefelé ereszkedik. Azt követően a két szembenálló levélke szerepet változtat, a felfelé álló levélke ugyanilyen módon kezd lefelé hajlani és a lefelé álló felfelé. Ez a mozgás lüktetészerűen, változatlanul folyik tovább mindaddig, amíg elég világos és meleg van. Ha süllyed a hőmérséklet, a mozgások között az időköz hosszabb lesz, s végülis a mozgás elveszti

<sup>1</sup> Legalább is így képzelték ezt a legutóbbi időkig és a növény lelkeről szóló tanítás híveinek ez a *spontán*, tudatos mozgás sok vigasztalást jelentett; most már azonban ennek is vége, mert egy indiai fizikus elvette a vigaszt. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

gyorsan lüktető jellegét, lassú, folytonos mozgássá alakul, amelyet csak akkor vehetünk észre, ha a levelek kölcsönös és állandó helyzetváltozását figyeljük. Mikor a hőmérséklet mintegy 20 C° alá süllyed, a mozgás teljesen megszűnik, a növény mozdulatlanul válik. Ha a hőmérsékletet újból fokozzuk, ismét integetni kezd apró levélkéivel.

Mindezen jelenségek kutatása közben önkénytelenül is felvetődik az a kérdés: mi a jelentősége mindennek a növény életében? Valószínű, hogy majdnem minden esetben más és más. A spórák, vagy a spermatozoidák mozgása, a sóskafa porzóinak a bibéhez hajlása magától érthető: szükséges, vagy hasznos a növény megtermékenyülése és elterjedése szempontjából. A virágok alvása, vagyis a virágtakaró összezsugorodása éjjelre minden valószínűség szerint azt a célt szolgálja, hogy a virágok védelmet kapjanak a káros éjjeli lehűlésekkel szemben. Hasonló célja lehet a levelek alvásának is. Ha a lomblevelek összeháródnak és élükkel felfelé fordulnak, kisugárzási felületük aránylag kicsi lesz, s ezzel megelőzik a túlzott éjjeli lehűlést. s kevesebb kárt tesz bennük a hajnali fagy is, amelynek következtében a növények gyakran elfagynak (éppen a kisugárzás folytán), noha a hőmérő higanyoszlopa még nem szállott a 0° alá. A Vénusz légycsapója levelének mozgása is nyilvánvaló célt szolgál, melyet különben a növény elnevezése is elárul. Ez a növény — miként a továbbiakban majd még részletesebben is meglátjuk — több más növényhez hasonlóan az elfogott rovarokkal táplálkozik. Kevésbé érthető az érzékeny mimóza leveleinek mozgása, sőt úgy látszik, hogy ezzel a kérdéssel a hasznosság szempontjából még senki sem foglalkozott. Ebben a vonatkozásban tehát csupán találgatásokra vagyunk utalva, amelyekhez több vagy kevesebb valószínűség fűződik. Aki látta, hogy mennyire pusztító az erős nyári zápor, vagy a jégeső, mely sokszor teljesen leveri afák lombozatát, elképzelheti, hogy mennyivel jobban szenvedhetnek az ilyen légköri veszedelmektől a trópusi égöv alatt az annyira kényes szervek, mint például a mimóza levelei. Talán éppen ez az oka annak, hogy az első lehulló esőcseppek ütéseire a növény összefogja és a szárhoz szorítja szétterjeszkedő leveleit. A levelek tehát olyanformán viselkednek, mint a mesebeli nádszál a százados tölgyeket kicsavaró viharban. Ismétlem, hogy mindez csak találgatás, s hogy a találgatás helyes-e, arról csak ennek az érdekes növénynek a termőhelyén végzett alapos megfigyelés útján győződhetnénk meg. Még ennél is nehezebb feladat, ha a dësmódium leveleinek állandó mozgására keresünk magyarázatot. Talán elfogadhatjuk azt, hogy a növény a kártékony rovarokat akarja távoltartani csábítóan ízletes, húsos leveleiről. Ha így van, akkor e növények két ellentétes célra használják mozgási képességüket:



vagy arra, hogy mozgással távoltartsák az ellenséget vagy arra, hogy megfogják és felfalják.<sup>1</sup>

Tegyük azonban félre egyelőre ezeket a találgatásokat<sup>2</sup> és foglalkozunk most azzal a kérdéssel, hogy joggal állapíthatunk-e meg hasonlatosságot a növények most leírt mozgásjelenségei és az állatok mozgásai között, vagy van-e a kétféle mozgáscsoport között lényegbevágó különbség, amely a hasonlatosságot kizárja. Mindenekelőtt, ami a protoplazma mozgását illeti, nincs oly határozott eltérés, amely ezt a mozgást a természet két birodalmában megkülönböztetné egymástól. Ugyanezt elmondhatjuk a zoospórák és a spermatozoidák mozgásáról is. Akár a növényi szervek, akár az állatok ilyenfajta mozgásáról van szó, nem tapasztalhatunk semmiféle lényeges különbséget. Bizonyíték erre az is, hogy az első megfigyelők, akik nem akartak hinni saját szemüknek, a mozgó növényi szerveket állatoknak vélték.

Más az eredmény, ha a magasabbrendű növények és az állatok mozgását hasonlítjuk össze. Elsősorban is a növényben nem találjuk meg a mozgási célra rendelt különleges szövetet, az összehúzódásra alkalmas izomrostokat. Erre azonban még nem alapíthatjuk azt a megállapítást, hogy a növényi és az állati mozgás között gyökeres eltérés van. Ha összevetjük azokat a legközelebbi körülményeket, amelyek a magasabbrendű növények és állatok mozgását meghatározzák és kísérik, inkább hasonlatosságot, mint eltérést találunk. Tudjuk például, hogy az állatok mozgása szorosan összekapcsolódik a légzés jelenségével. Az összehúzódó izom több oxigént fogyaszt és több szén-savat választ ki, mint a nyugalmi állapotban lévő és igen valószínű, hogy ebből a savképző folyamatból eredhet az az energia, amelyet az izom munkája közben felhasznál. Vajjon van-e a növényvilágban az állatok légzéséhez hasonló jelenség? Erről már többször is meggyőződhetünk előadásaink során. A magvak csírázása, a rügyek fejlődése, különösen pedig a virágzás idején a növényi szervek mohón fogyasztják az oxigént, szén-savat fejlesztenek, s eközben hőmérsékletük észrevehetően emelkedik. A növény minden része egész életén keresztül végzi ezeket a folyamatokat, a zöld részek azonban a

<sup>1</sup> Lehet, hogy ez a magyarázat a mimózára is érvényes. Megfigyelésem szerint ugyanis a melegházainkban élő mimózákat, mielőtt a leveleik megsárgulnának, egy fehérszínű levéltetű támadja meg. Ez a tetű a levelek csuklóin települ meg, de csak akkor, ha a levél már elvesztette ingerlékenységét. A csuklós vánkások szövete bizonyára csábító hely a rovarok számára, mert ezeknek a szöveteknek magas cukortartalma van. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> Ezeket a magyarázatokat negyven esztendővel ezelőtt találgatásoknak neveztem. A későbbi kutatások azonban a magyarázatokat javarészt megerősítették, s csaknem minden botanikus elfogadta azokat. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

fény hatására sokkal erőteljesebben bontják a szénsavat és választanak ki oxigént. Így tehát az utóbbi folyamatok szinte eltakarják, elrejtik az ugyanakkor végbemenő légzési folyamatokat.<sup>1</sup>

Van-e azonban összefüggés a növény légzése és mozgása között? A kísérletek szerint van összefüggés, noha ennek a természetét tökéletesen még nem derítették fel. Ha elvonjuk az oxigént a növénytől, megszűnik a növényben minden mozgási jelenség is: nem mozog a protoplazma, nem hajlik le a sóskafa virágjának porzója, elveszti ingerlékenységét a mimóza. Ha viszont újból oxigéntartalmú környezetbe kerül a növény, hosszabb vagy rövidebb idő múltával ismét visszatérnek a mozgási jelenségek. A növény mozgása tehát — éppen úgy, mint az állaté — összefügg a légzéssel.

Folytassuk tovább az összehasonlítást. Ha az izom összehúzódik, ezzel felmelegszik. Emelkedik a hőmérséklete, bár csekély, de mérhető mértékben. Ugyanazt figyelték meg a növényeken is. Ha a mimóza levélvankosához rendkívül érzékeny hőmérőt, úgynevezett termoelektromos oszlopot illesztünk, kimutathatjuk, hogy a mozgás pillanatában a hőmérséklet emelkedik. Az izmokban, akár nyugalmi, akár feszültségi állapotban, elektromos áramot észlelhetünk. Ha kellő óvatosság mellett a béka izomzatához olyan áramkört zárunk, amelybe érzékeny galvanométert iktattunk, észre vesszük, hogy a galvanométer mutatója kitér, tehát az áramkörön áram folyt keresztül. Az áramkörben, bár gyöngébb mértékben, akkor is kimutathatjuk az áramot, ha a béka combja helyett a Vénusz légyecsapójának levelét iktatjuk be. A hasonlatosság azonban ezzel még nem merül ki. Ha az izmot összehúzódásra készítjük, az összehúzódás pillanatában az áramkörben az áram meggyöngül, a galvanométer mutatója az ellenkező irányban tér ki, úgynevezett *negatív áramkilengést* mutat. Ugyanez a jelenség megismétlődik a Vénusz légyecsapójával is; a mozgás pillanatában, amikor a két levélfél összecukódik, az áram meggyöngül, a galvanométer negatív kitérést mutat. Az izomban az inger felfogása és az összehúzódás között bár igen rövid, de mérhető idő telik el. Ez az inger lappangásának időszaka. Ugyanilyen lappangási időköz van a levél ingerlése és megmozdulása között is, csak hogy ez az időköz lényegesen hosszabb tartamú.<sup>2</sup>

Ezek szerint tehát a Vénusz légyecsapójának mozgása nemcsak a külső megnyilvánulása szerint, hanem a növény belsejében végbemenő folyamatok tartalmánál fogva is hasonlít az állat mozgásához. Igaz ugyan, hogy a növényi szervek mozgása — amint azt a közelebb-

<sup>1</sup> Lásd az V. előadást. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> Érdekes, hogy tudósaink (Famincün és a többiek), akik a növényi lélekről szóló tanítást hirdetik, nem veszik figyelembe ezt a növény és az állat mozgása között kimutatható érdekes hasonlóságot. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

ről megfigyelt esetekben láttuk — arra vezethető vissza, hogy az ingerlékeny szövet túltelített sejteiből a víz kinyomul, viszont az állat mozgása az izmok összehúzódásának, az izomalak megváltozásának következménye. Az izom összehúzódása azonban nem elemi jelenség s így kérdés, hogy végső fokon ezt a jelenséget is nem vezethetjük-e vissza az izmot alkotó elemi szilárd részek és folyadékok helyzetének kölcsönös megváltozására?<sup>1</sup>

Ilyenképpen leomlik az a legfontosabb elválasztó fal, amely az állatvilágot a növényvilágtól elhatárolta. A mozgás az állatvilágnak nem kizárólagos sajátága, hanem előfordul a növények körében is. További kérdés azonban, hogy ha ez az elválasztó vonal nem állja ki a bírálatot, nincs-e valamilyen más megkülönböztető vonás? Vegyük sorra rendszeresen a szervezetek életének mindazokat a különleges vonásait, amelyekről feltételezték, hogy a növényvilág illetőleg az állatvilág tagjainak kizárólagos ismertető jelei.

Kezdjük a vizsgálatot a táplálkozás módjával. Rendszerint azt mondjuk, hogy a növény egyszerű, szervesetlen anyagokból, szénsavból, vízből és sókból, az állat pedig összetett szerves anyagokból táplálkozik. Ez a megállapítás általában véve helyes, de a szabály alól számos kivétel is van. Így például a gombák igen népes rendje olyan növényekből áll, amelyek csak összetett vegyületekből táplálkoznak, s így ezek a szervezetek csupán televényben — bomló szerves anyagokban — gazdag talajon, vagy mint az élősdiek, más szervezeteken élhetnek meg. Nemcsak a gombák táplálkoznak kész szerves anyagokból, hanem vannak élősdiek a növényvilág magasabbrendű tagjai között is. Egyesek, amelyeknek a színe nem zöld — például a herefőjtő aranka — a szántóföldi növényeket — herét, komlót stb. szívják ki és kizárólag gazdanövényeikből, áldozataikból élnek. Mások, mint a fagyöngy, a tölgyet, gyümölcsfákat és más fákat támadják meg, s noha maguk is képesek a táplálékot önállóan előállítani, igen valószínű, hogy nagy mértékben használják fel azokat a kész anyagokat is, amelyeket gazdanövényeik állítanak elő. Az utóbbi évek kutatásai és elsősorban Darwin munkái számos olyan növényt mutattak be, amelyeknek vannak ugyan zöldszínű szervei, de ugyanakkor állati táplálékkal is táplálkoznak, sőt ugyanúgy veszik fel a táplálékot, mint az állatok. Ezek az úgynevezett *rovar-evő* (húsevő — *carnivor*) növények. Ismerkedjünk meg ezek közül néhány fajtával közelebről. A már ismert Vénusz légycsapója az

<sup>1</sup> Ezt a feltevésemet a fiziológusok ma már elfogadták. Lehetséges, hogy a sejtek vízzel való túltelítettsége, s a víznek a sejtekből történő hirtelen kinyomulása az áram jelenléte és ingadozása — a növényi szervek mozgási folyamatának mindezek a sajátosságai az elektromos diffúzió jelenségeiben jutnak közös magyarázathoz. Itt természetesen nem lenne helyénvaló, hogy ennek a kérdésnek a részleteibe bocsátkozzam. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

egyik legérdekesebb ilyen növény. Ha a Vénusz légycsapója leveleivel elfogott egy rovar, addig nem nyílik ki, amíg ki nem szívott a rovarból mindent, amit csak lehet, s csupán az oldhatatlan vázat hagyja meg. Ezt kísérleti úton úgy is kipróbálhatjuk, hogy egy darabka nyers vagy főtt húst vagy keménytojást teszünk a levélre; erre a levél nyomban összecsapódik, s mire újból kinyílik, a tápláléknak nyoma veszett. A Vénusz légycsapója, mint már említettük, Észak-Amerika mocsaraiban otthonos növény; van azonban a mi mocsarainkban is olyan növény, amely rokonságban áll a Vénusz légycsapójával, s ugyancsak rovarokkal táplálkozik, de valamennyire eltérő berendezés segítségével. Ez a növény az úgynevezett *harmatfü* (*Drosera rotundifolia* L.); melynek a leveleit különleges finom szőr borítja. A szőrszálak csúcsán ragadós folyadéksepp választódik ki, s ezt rendszerint harmatcseppnek nézik; innen a növény elnevezése is. A gyanútlanul szálló rovar a növényre repül, odatapad, s ezzel igen érdekes mozgási folyamat kezdődik el. A szőrszálak mindenfelől abba az irányba hajólnak, ahol a rovar fogságba esett. A szőrszálak végén levő mirigyek közben bőségesen választanak ki nedvet, s ez a nedv előmozdítja a szilárd tápanyagok feloldódását, s így azok olyan halmazállapotba jutnak, hogy a szőrszálak sejtjei könnyen felszívhatják. Amikor az egész táplálék felszívódott, a szőrszálak ismét kiegyenesednek, s készen állnak arra, hogy a következő jövevénnyel ugyanígy elbánjanak. Nem kevésbé érdekesek a *kancsóka* (*Nepenthes bicalcarata* L.), a *kürtlomb* (*Sarracenia purpurea* L.) és a *cefalótusz* (*Cephalotus follicularis* Labill.) nevű növények különleges berendezésű nagy levelei sem. Az említett növények a melegebb égöv alatt otthonosak. Idétartozik az *aldrovanda* (*Aldrovanda vesiculosa* L.), a mi patakjainkban és tavainkban is előforduló növény. Az első három növény leveleinek egyrésze nagy, korsószerű szervvé alakul át, amelyet a cefalótusz esetében még fedő is takar, az aldrovandának pedig az apró, szeldelt víz alatti levelei vannak ilyenféle szervekkel felszerelve. Már régen megfigyelték, hogy ezek a korsószerű szervek valamiféle nedvet tartalmaznak, de sokáig azt gondolták, hogy ez a nedv csupán víz. Csak az utóbbi időben győződtek meg arról, hogy ez a folyadék feloldja azokat a szerves anyagokat, amelyek táplálékául szolgálhatnak. Amikor azután alaposan megvizsgálták ezeket a korsószerű szerveket, rovarok fogására szolgáló bonyolult szerkezetet fedeztek fel bennük. A szervek egyes részei izes nedvet, tehát a rovarok csalogatására szolgáló anyagot választanak ki; máshol síkos felületek vannak, amelyekről a rovar akarva, nem akarva becsúszik a csapdába. A csapda körül merev, befelé néző szőrök helyezkednek el, amelyek, mint az egérfogó tüskéi, megakadályozzák

a rovarokat, hogy a csapdából kikerüljenek. Vajjon miféle anyag az, amelyet a növény kiválaszt? Hogyan folyik le a szilárd táplálék feloldása, s hasonlít-e ez valamit is ahhoz a folyamathoz, amelyet az állati szervezetben köznapi nyelven a táplálék *emésztésének* nevezünk? A behatóbb vizsgálat sok olyan részletet tárt fel, amelyet már részben ismerünk<sup>1</sup>; ezek a részletek a két folyamat között meglepő hasonlatosságot mutatnak.

Az állati gyomorsav a fehérjeanyagokat különleges enzim — a *pepszin* — közreműködésével oldja fel. A kutatók a húsevő növények által kiválasztott valamennyi nedvben ilyen különleges enzimet találtak. Az állati gyomornedvben a pepszin csak egy kevés szabad sav jelenlétében hat; a húsevő növények esetében is világosan megállapíthatjuk, hogy a nedv az ingerlés pillanatában savanyú reakciót mutat.<sup>2</sup>

Igy tehát a táplálkozás folyamatában nem találhatunk olyan valódi ismérvet, amely a növényt az állattól megkülönböztethetné, sőt a gombák, az élőködők és különösen a húsevő növények táplálkozása hasonlít az állatok táplálkozásához. Ha mindazt összeállítanánk, amit a húsevő növények táplálkozásáról tudunk, ha leírnánk azt a képzeletbeli szervezetet, amely csápjjaival rovarokat fogdos, bevezeti azokat testének mirigyekkel borított belső üregeibe, ha előadnánk, hogy ez a mirigyréteg olyan nedvet választ ki, amely feloldja a fehérjeanyagokat, s hogy utána a feloldott tápanyagok felszívódnak, akkor végül is mindenki azt mondaná, hogy leírásuk során a polipot vagy a hidrát tartottuk szemünk előtt, holott leírásunk minden vonása kétségtelenül és jellegzetesen növényi szervezetre vonatkozik.

Ha azonban a növényi táplálkozás néha hasonlít is az állatok táplálkozásához, ezzel szemben ez az állatok táplálkozása úgy lehet sohasem tárja elénk a szervetlen anyagokkal való táplálkozás jelenségét, amelyek a növényeket jellemzik. Még ezt sem állíthatjuk, mivel a szénsav felbontásának képessége — amint láttuk — bizonyos

<sup>1</sup> Lásd a III. előadást. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> Az utóbbi időben kétségek merültek fel a tekintetben, hogy ezeknek a szerves anyagoknak a felszívása valóban hasznára van-e a növényeknek. Amikor Ch. Darwint az elmúlt nyáron felkerestem, alkalmam volt a kitérő tudós néhány olyan kísérletével is megismerkednem, amelyeket még nem tett közzé. Ezek a kísérletek azt bizonyították, hogy a szóban levő folyamatok a táplálkozás szempontjából is jelentősek. A rovarok távoltartása céljából üvegharang alatt egy csomó harmatfüvet nevelt úgy, hogy a növények egyik része kapott húst, a másik nem. Abban az időben, amikor én láttam a növényeket — tehát júliusban — az a rész, amely húst is kapott, már sokkal nagyobb és egészségesebb volt. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

szervnek, a klorofill-testecskéknek a sajátsága, kizárólag növényi tulajdonság, s rámutathatunk több olyan kétségtelenül állati szervezetre is, amelyben van klorofill.<sup>1</sup>

Most pedig nézzük meg azt a különbséget, amely a légzéssel függ össze. Amikor a növényben lefolyó gázcserét, amelynek eredménye a szénsav felbontása és a szén felhalmozása, helytelenül hasonlították össze a légzéssel, a következő antitézist (ellentétet) állították fel: az állat légzés közben oxigént nyel el és szénsavat választ ki, ezzel szemben a növény légzés közben szénsavat nyel el és oxigént választ ki. Ma már tudjuk azonban, hogy a szénsav felbontását nem lehet a légzéssel összehasonlítani, mert az előbbi folyamat táplálkozás: a levegővel való táplálkozás különleges folyamata. Tudjuk azt is, hogy ezzel a folyamattal párhuzamosan a növényben másik gázcsere-folyamat is megy végbe: valódi légzés, s hogy ezt a másik folyamatot csak akkor észlelhetjük, ha nem zöld szervet, vagy zöld szervet ugyan, de fényhiány mellett vizsgálunk, amikor tehát az ellentétes szénsavbontási folyamat éppen szünetel. A növényi légzés folyamata természetesen rendkívül erőtlennek tetszik, ha azt az emlősök, vagy a madarak légzésével hasonlítjuk össze. Ezek az állatok tekintélyes mennyiségű szénsavat lélekeznek ki, s ennek következménye az, hogy testük hőmérsékletét érezhető módon a külső környezet hőmérséklete fölé emelik. A növény viszont többnyire passzív módon átveszi környezetének hőmérsékletét. Mihelyt azonban a növény légzését az úgynevezett hullók (például a béka) vagy a dermedt állapotban lévő (téli álmukat alvó) emlősök légzésével hasonlítjuk össze, már azt állapíthatjuk meg, hogy ezeknek a légzése akár mindkét esetben sem a gázcsere mennyisége, sem a szervezet hőmérsékletének a külső környezet hőmérséklete fölé emelkedése tekintetében nem tér el olyan élesen a növény lélekezésétől.

Ezzel kapcsolatosan önként adódik az a kérdés, hogy a lélekezés egyáltalán hozzátartozik-e a növény számára feltétlenül szükséges életműködésekhez. Azt már láttuk, hogy oxigén hiányában is megszűnik minden mozgási jelenség. Sokáig azt hitték, hogy oxigén hiányában nincs sejtnövekedés sem; később azonban kiderült, hogy a légzést egy másik, következményeiben hasonló vegyi folyamat tökéletesen helyettesítheti. Ezt a másik folyamatot *erjedésnek* nevezzük. A folyamat lényege: a cukor alkoholra és szénsavra bomlik. Az alkoholos italok: a bor, sör, pálinka készítését ennek a folyamatnak meg kell előznie. Mindezekben az esetekben az erjedést az okozza, hogy az erjedő folyadékban különleges mikroszkópikus szervezetek fejlődnek ki; ezek az erjesztő- vagy élesztőgombák

<sup>1</sup> Ez a klorofill különben minden valószínűség szerint az állati szervezetben megtelepedett moszathoz tartozik. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

vagy egyszerűen élesztők. Az élesztőgombák sejtjei oxigén nélkül is növekednek és szaporodnak. Az erjedés folyamata különben lényegesen eltér a légzés folyamatától annál fogva, hogy nincs oxigénelnyelés, viszont hasonlít hozzá annyiban, hogy mindkét folyamatot szénsavkiválasztódás és hőfejlődés kíséri.<sup>1</sup> Ez a hőmennyiség nyilván fedezi a szervezet fejlődéséhez megkívánt energiamennyiséget. Az erjedés tehát mintegy pótszere, *szurrogátuma* a légzésnek. Ez a folyamat azonban távolról sem olyan előnyös a növényre nézve, mint a légzés, mert ugyanakkora cukoranyag-veszteség mellett jóval kisebb hőenergia szabadul fel. Eredetileg azt tartották, hogy az erjedés folyamata kizárólag az élesztőgombák tulajdonsága. Később azonban kiderült, hogy minden növény vagy növényi szerv, ha olyan légkörbe kerül, amelyben nincsen elegendő oxigén, szénsavat kezd kiválasztani oxigén elnyelése nélkül és egyidejűen szeszt képez, tehát felbontja tartalék cukoranyagait, vagyis erjedni kezd. Az élesztőgombák abban a folyadékban levő cukoranyag terhére erjednek, amelyben élnek. Az erjedés tehát az élesztőgombákra semmiesetre sem lehet annyira ártalmas, mint azokra a magasabbrendű növényekre, amelyek erjedés közben jóvátehetetlenül elpusztítják saját anyagukat. Ez a körülmény, továbbá az, hogy az alkohol a sejtekben halmozódik fel — mert az élesztőgombák az alkoholt a sejt környékén lévő folyadékokban választják ki — eléggé megmagyarázza azt, hogy a magasabbrendű növények miért nem tarthatják fenn életüket erjedés útján. Oxigén hiányában a magasabbrendű növényekben megszűnik minden mozgás, még a növekedés is, s ha az ilyen növény sokáig marad oxigénmentes légkörben, véglegesen elpusztul.

Erjedéssel ezek szerint csupán az alacsonyabbrendű szervezetek életét lehet fenntartani, de ezeket sem sokáig, mert ezeknek a szervezeteknek is szükségük van arra, hogy időnként léleketet vegyenek. Magasabbrendű szervezetek pedig az erjedést még rövid ideig sem tűrik el. Szerencsére természetes körülmények között nem fenyegeti őket az erjedés veszélye. Csak akkor kezdenek erjedni, ha mesterségesen megrontott légkörbe helyezük a szervezeteket, például üvegbúra alá zárjuk, amely alatt nincs oxigén — egyszóval amikor fulladozni kezdenek. A szervezetnek sem parancsolhatjuk meg egyszerűen, hogy ne éljen. Vagy él vagy meghal, de amíg nem hal meg, ragaszkodik az élethez. Ha nem találja meg a környezetben szükséges életfeltételt, a saját erejére támaszkodik és ebben a belső rombo-

<sup>1</sup> Lélekzés közben a szénsav a levegő oxigénjéből, erjedés közben viszont a cukor oxigénjéből keletkezik. Valójában a lőpor vagy a tápló égéséhez hasonló égésről van szó. Itt is, ott is, mint tudjuk, az égési folyamat levegő nélkül is folyhat annak az oxigénnek felhasználásával, amelyet ezeknek az anyagoknak az összetételéhez tartozó salétrom tartalmaz. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

lásban kimerül és elpusztul. Távolítsuk el a fojtogató légkört, hogy szabadon vehessen lélekzetet — emeljük le idejében a burát — az erjedés önmagától megszűnik. Az erjedés kóros folyamatát a légzés élettani folyamata váltja fel, s a pusztulás munkája helyére az építés munkája lép. Az egészséges, normális élet visszanyeri törvényes jogait, s vele együtt visszatérnek állandó útítársai is: a mozgás és a fejlődés.

A légzés tehát mind az állati, mind a növényi szervezetek szükséges életfeltétele. Most már elég szó esett arról, hogy az élőlények két világának megkülönböztetését nem lehet a mozgási képességre, illetőleg a mozgás hiányára alapítani. Hátra van azonban még az a kérdés, képes-e a növény *önmagától* is mozgásra? A válasz előtt elsősorban tisztáznunk kell, hogy mit értünk *önmagától* való mozgáson vagy általában spontán jelenségen. Ha ez a kifejezés *ok nélküli* jelenségre utal, a tudomány ilyen jelenséget az állatvilág körében sem ismerhet el. Ha azonban ezzel a kifejezéssel olyan jelenséget kívánunk megjelölni, amelyet belső, rejtett, ismeretlen okok idéznek elő, ebben az értelemben egyelőre spontán mozgásnak nevezhetjük a protoplazma, a spermatozoon és a desmodium leveleinek mozgását, mert ezek a mozgások látszólag külső ösztönzés nélkül, a szervezet belső erőinek hatására mennek végbe.<sup>1</sup> Ha azonban a növény mozogni tud, nem tud-e érezni is? Ha érzésen azt értjük, hogy a szervezet az ingerre reagál, tehát ingerlékeny, reakcióra képes, akkor ezt a tulajdonságot a növények tekintetében is el kell ismerünk. Ha az az ember, akit megszúrunk, megcsípünk vagy megcsiklandozunk, ezekre az ingerlésekre semmiféle mozgással sem válaszol, arra következtetünk, hogy ez az ember elvesztette *érzékelőképességét*; ha pedig ezekre a külső ingerlésekre valamiféle mozgással ismét válaszolni kezd, azt mondjuk, hogy visszanyerte *érzékelőképességét*.<sup>2</sup> Ha az érzés ismérvének ezt tekintjük, akkor nyilvánvaló, hogy a mimóza, a Vénusz légycsapója és a többi ilyenféle növény érez, mert mindenféle ingerlésre — szúrásra, könnyű érintésre, égetésre, elektromos áramra, kémiai behatásra — válaszol. Különösen érdekes az az eset, amikor a növény nem egyenlő mértékben válaszol minden ingerre, hanem mintha különbséget tenne az ingerek között. Így például a harmatfű szörei nitrogéntartalmú anyag érintésére gyorsabb mozgással és oldóanyaguknak erőteljesebb kiválasztásá-

<sup>1</sup> A desmódium mozgására l. a 242—243 oldalon mondottakat. — *A orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> Ismeretes egyébként, hogy a megfordított következtetés nem helyes; némely mérge hatására az állat elvesztheti azt a képességét, hogy az ingerre reagál, anélkül, hogy elvesztené érzékelő képességét is. — *Az orosz kiadás jegyzete.*



val válaszolnak, mintha olyan szervetlen anyagokkal érintjük, amelyek tápláléknak nem használhatnak fel. Ha állatról lenne szó, azt mondanánk, folyik a nyála, s mohón ráveti magát az izes falatra. Ha a növény érez, akkor talán meg is foszthatjuk ettől a képességétől: s érzéktelenné tehetjük mindenféle ingerléssel szemben. A kísérletek azt mutatták, hogy valóban elérhetjük ezt a hatást, még hozzá ugyanazokkal az eszközökkel, mint amelyekkel az embert érzéstelenítjük. Ha a növényt étergőz vagy kloroformgőz belélekezésére kényeszerítjük, ugyanúgy érzésteleníthetjük, mint az embert súlyos műtétek alkalmával. Ha a cserép mimózát üvegbura alá helyezzük és a bura alá éterbe vagy kloroformba mártott szivacsot teszünk, a növény bizonyos idő eltelte után elveszti mozgási képességét. Bárhogyan is ingereljük, nem csukja össze a leveleit. Ha azonban bizonyos ideig ismét olyan levegőn van, amely ezektől az ártalmas gőzöktől mentes, újra visszanyeri ingerlékenységét, illetőleg érzékenységét. A kísérlet sikerét azonban csak úgy biztosíthatjuk, ha a virágot nem tartjuk túlságosan sokáig az érzéstelenítő anyag hatása alatt, mert különben már nem is jön helyre és végkép elpusztul. Ugyanez a szabály azonban az emberi szervezetre is érvényes, hiszen sajnos, elég gyakran fordul elő haláleset a kloroform gondatlan kezelése miatt. Sokan úgy emlegetik az idegrendszert, hogy az az állat feltétlen jellemzője. Ezzel szemben nincs is minden állatnak idegrendszere; viszont ha bebizonyosul némely tudósnak az a feltevése, hogy a növényben is vannak bizonyos pályák, amelyeken keresztül az ingervezetés gyorsabb, mint egyéb utakon át, akkor ezekben a pályákban is olyasvalamit kell látnunk, ami legalább is élettani szempontból az idegpályákra emlékeztet. Így például a mimóza esetében az ingert egy különleges csatornarendszer továbbítja hidrosztatikus nyomás útján.<sup>1</sup> Ezt a készüléket leginkább a csengőhöz hasonlíthatnánk. Természetesen a valóságban nincs szó az állati idegrendszerrel való hasonlatosságról.

Ebben a tárgykörben még egy — egyben utolsó — kérdést nem tárgyaltunk meg, nevezetesen azt, hogy van-e a növénynek tudata. Erre a kérdésre kérdéssel válaszolunk: van-e tudata minden állatnak? Ha nem tagadjuk meg a tudatot a legegyszerűbb állattól sem, miért tagadnók meg a növénytől? Ha pedig megtagadjuk a legegyszerűbb állatoktól, akkor mondjuk meg azt is, hogy hol, a szerves lépcsőzet melyik fokán találjuk meg a tudat *küszöbét*? Hol van az a határ, amelyen az objektumból szubjektum, a tárgyból alany lesz? Megoldhatjuk-e ezt a dilemmát? Ne ismerjük-e el, hogy a tudat határai a természetben elfolynak, hogy a tudat az alacsonyabbrendű lényekben csak vakon pislog, s csupán az ember elméjében lobog

<sup>1</sup> A legújabb kutatások szerint ez a jelenség igen bonyolult. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

fényes lánggal? Vagy inkább nem kell-e megállnunk azon a határon, ahol megszakad a pozitív öntudat vezérfonala, s amelyen túl a spekulatív gondolkodás végtelen térségei kezdődnek, ahol örökké hívogatnak a csábító messzeségek, s örökké elfutnak kíváncsian fürkésző pillantásunk elől?<sup>1</sup>

\* \* \*

Ezek szerint sem az állat, sem a növény életében nem találtunk egyetlen olyan vonást sem, amelyről nyugodtan állíthatnánk, hogy egyiknek vagy a másiknak kizárólagos tulajdonsága. Nem fedeztünk fel egyetlen olyan ismertetőjelet sem, amelynek alapján az adott szervezetet egyik vagy másik világ körébe sorolhatnánk. Így hát csakugyan nincs különbség a növény és az állat között?

A különbség pedig mégis túlságosan szembeűnő, s tudatunkban túlságosan mélyen gyökerezik ahhoz, hogy könnyen lemondjunk róla. A józan ítélet, amely a mindennapi tapasztalaton nyugszik, kártart állítása mellett: mondhatnak amit csak akarnak, a fa fa marad, a ló pedig ló, s a kettő között áthidalhatatlan a szakadék.

Hogyan szüntethetjük meg ezt az ellentmondást? Van-e egyáltalán nyilvánvaló különbség? Ez a megoldás egyszerű és az ellentmondás érthető. Az egész azon a logikai tévedésen alapul, hogy az ember egy elvont gondolatnak, amelyet saját értelme hozott létre, valóságos létet is tulajdonít. Ez a tévedés sajnos nagyon elterjedt, s elég sokat ártott a természettudományok fejlődésének. A valóság az, hogy nincs külön növényvilág és külön állatvilág, hanem csak egyetlen, oszthatatlan szerves világ van. A növény és az állat csak fogalmak, átlagértékek, csupán képzelt típusok, amelyeket magunk szerkesztünk úgy, hogy a szervezet bizonyos ismertetőjeleit elvontan szemléljük, ezek közül egyeseknek rendkívüli jelentőséget tulajdonítunk, míg másokat teljesen figyelmen kívül hagyunk és szinte meg is feledkezünk róluk. Hozzájárul ehhez az is, hogy a fogalmak olyan időben alakultak ki, amikor még az egyes csoportoknak csak a szél-

<sup>1</sup> Az utóbbi időben néhány botanikus (nálunk Korzsinszkij és Famincün akadémikusok) a növény lelki működéséről szóló tanítás hívévé szegődött. Meg kell jegyezni, hogy ennek a tanításnak megalapozására semmiféle ténybeli adatot nem hoztak fel. A tanítás mellett — csakúgy, mint negyedszázaddal ezelőtt, amikor ezeket a gondolatokat felvettem — csak metafizikus elképzeléseket hozhatok fel, de tudományos értékű érveket nem. Azt is meg kell jegyeznünk, hogyha a növényi élet aránylag nem bonyolult jelenségeit azzal magyarázzuk, hogy egyszerűen összehasonlítjuk az állati és az emberi élet összehasonlíthatatlanul bonyolultabb jelenségeivel: valójában felborítjuk azt a logikus eljárást, amelyet követve a tudomány és a tudás eddig előrehaladt... — *Az orosz kiadás jegyzete.*

sőséges, legélesebben jellegzetes képviselőit ismertük. Addig nem is lehetett semilyen félreértés, amíg az összehasonlítás csak a fára és lóra terjedt ki; egészen más lett azonban a helyzet, amikor már valamennyi élőlényt a maguk összességében kellett figyelembe venni. Ekkor már arról kellett meggyőződünk, hogy a szerves világ egységes egész, be kellett látnunk, hogy minden keret vagy osztályozás csupán értelmünk alkotása, igaz ugyan, hogy egyik legnagyobb alkotása, amelynek segítségével nélkül nem igazodhatnánk el a formák végtelen káoszában. Amikor azonban ezt a logikai rendszerezést felhasználjuk, nem szabad megfeledkeznünk annak valódi értékéről és semmiképpen sem szabad az elvont fogalmakat, a típusokat az igazi valósággal azonosítanunk.

Ha azonban a szerves természetből hiányzik is az az elvont ket-tősség, s ha nem is látunk többé a növényben és az állatban egymás-tól tökéletesen eltérő két kategóriát, hanem csupán az élőlényeknek két jellegzetes képviselőjét, mégis, miután ez a két típus az agyunk-ban kialakult, arra kell törekednünk, hogy mindkettőt megfelelően jellemezzük, feltüntessük azokat az ismertetőjeleket, amelyeket nyom-tatékosaknak tekintünk, amelyeket a növény fogalmával különösen összekötünk.

Adhatunk-e ma rövidebb és találóbb jellemzést a növényről, mint amilyent a régi bölcs mondás tartalmaz : »a növény növekszik, de nem képes önkéntes mozgásra«. Vizsgáljuk meg, hogy mi a kon-kkrét értelme ennek a bölcs mondásnak. Az állat mozgása, mint minden mozgás, a mechanika általános törvényeinek uralma alatt áll. Az állat jellemzője, hogy a benne ható erők forrása magában az állatban van. Ez magyarázza a külső körülményektől való függetlenségét. Ezeknek az erőknek a forrása mint tudjuk az az égési folyamat, amely az állat egész testében mindenütt végbemegy. Ez megnyilvánul a légzésben s okozza a hőt és a mozgást, amely összességében egyik lényeges megkülönböztető jegy az állat és a növény között. Azt mondtam : »összességében«, mert éppen elég bizonyítékot mutat-tunk be arra nézve, hogy ezek a folyamatok a növényben is megvan-nak, de háttérbe szorulnak más túlnyomó folyamatokkal szemben, s homályban maradnak. Láttuk,<sup>1</sup> hogy a növény zöld részében a fény hatására állandóan olyan jelenség folyik, amely az égéssel tökélete-sen ellentétes : nevezetesen a szénsav felbontása és a vele együttjáró szénfelhalmozás. Ez a folyamat a növényben csaknem hússzor erő-teljesebb a légzés folyamatánál; vagyis amíg a növény egy font szenet eléget, csaknem húsz font szén képződik újra. A növény tehát a benne lerakódott szénmennyiségnek hozzávetőlegesen csak egy huszadrészét fogyasztja el. Ez a magyarázata annak, ami a növeke-

<sup>1</sup> V. ö. az V. előadással. — Az orosz kiadás jegyzete.

dés jelenségében leginkább meglepő, hogy tudniillik a növényben akkora mennyiségben halmozódik fel a szén, s hogy a növény tömege olyan hatalmas mértékben megnő. A teljes kifejlődését elért állapotban bizonyos egyensúlyállapot alakul ki az anyag felvétele és fogyasztása között. A növény növekedése, vagyis az anyagfelhalmozás ezzel szemben szinte a növény elhalásáig folytatódik.<sup>1</sup> Az anyag felhalmozása azonban teljesen a Naptól függ, ami annyit jelent, hogy a növények tökéletesen függenek a külső körülményektől, hogy a növények passzív szerepre kényszerülnek. Ez a szerep lényegesen eltér az állatok önálló életműködésétől.

A növények és az állatok között nem minőségi, hanem mennyiségi különbség van. Mindkettőben azonos folyamatok mennek végbe, de a növényben az egyik folyamat, az állatban a másik folyamat az uralkodó. Ha a folyamatok végső eredményeként oxidáció, anyagvesztés és energia jelentkezik, állati típussal állunk szemben; ha pedig a végeredmény fordított: savmentesítést, anyagfelhalmozást, energiaelnyelést állapíthatunk meg, növényi típusról van szó. Az állat és a növény megosztották egymás között a munkát. Az állat elfogyasztja azt az anyagot és azt az energiát, amelyet a növény felhalmoz; a növény viszont a számára szükséges energiát a Naptól kapja. Az állat a növénytől függ, a növény a Naptól.

Ilyenképpen eljutottunk a növény életének legáltalánosabb fogalmához, a szerves világban elfoglalt szerepéhez. Ez a szerep közvetítés a Nap és az állatvilág között. A növény, vagy helyesebben annak legjellegzetesebb szerve: a klorofill-testecske az a láncszem, amely összeköti az egész szerves világot — mindazt, amit életnek nevezünk — bolygórendszerünk központi energiaforrásával. Ebben van a növény *kozmosz* szerepe.

Ha magunk elé képzeljük a zöld tölgy típusát, amelynek dús lombja nyáron suhog, s ágai télen dermedten, passzívan tűrik a külső hőmérséklet ingadozásait, azt a tölgyet, amely évszázadokon keresztül minden évben továbbnöveli szerves tömegét, de ugyanakkor mozdulatlanul helyhez van kötve, s ha utána felmerül képzeltünkben a nyílként száguldó hatásló, amely fölött télen oszlopokban gomolyog a pára, s amely cserébe télen-nyáron egyaránt hatalmas széna- és magmennyiséget fogyaszt el, ha rájövünk arra, hogy ezek ketten ellentétes külső jelenségek s csupán vegyi folyamatok szükség-szerű következményei, akkor hirtelen megvilágosodik előttünk az

<sup>1</sup> A hasonlat nem egészen pontos. Helyesebb, ha a növényben az egyes hajtásokat tekintjük egyedeknek, amelyeknek növekedése korlátozott. Az egész növény, például a fa, bonyolult szervezet, amely példaként a korálhoz hasonlítható, tehát ahhoz a szervezethez, amely határozatlan ideig növekszik. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

állat és a növény antitézise. Ha azonban ezt követően átfogó pillantást akarunk vetni nem csupán a tipikus képviselőkre, hanem minden növényre és minden állatra, ezeknek valamennyi életműködésére, akkor egyszerre belátjuk, hogy hamis az ilyen antitézis. Mihelyt azonban elismerjük, hogy a szerves élet áradása valamikor az idők sötét mélyében medret ásott magának, s azután két ágra szakadt, az ellentmondások megoldódnak, s minden ismét érthetővé válik előtünk. Most pedig, amikor ennek az áradásnak a torkolatánál állunk, úgy tűnik fel, mintha egymástól független két folyást látnánk, s csak ha visszatérünk a távoli eredethez, ha egyetlen pillantással igyekszünk áttekinteni mindkét ágat egész hosszában, akkor jövünk rá, hogy a két folyás csak két ága az élet hatalmas és egyetlen folyamának.

\* \* \*

Ezzel be is fejeztük a növény életműködésének szemléjét. Megismertük a növény különféle szerveinek szerkezetét és megtudtuk azt, hogy mi ezeknek a szerepe. Ezzel megoldottuk azt a kettős feladatot, amely állandóan ott áll a fiziológus előtt: adva van a szerv, meg kell keresni életműködését; adva van az életműködés, meg kell találni az annak megfelelő szervet. Meggyőződhetünk arról, hogy minden szerv mennyire tökéletesen végzi a maga életműködését, mennyire alkalmazkodik környezetéhez, mennyire szükségszerű és összhangzatos a különböző szervek kölcsönhatása; hogy ezekből tevődik össze a növény egész élete; hogy mennyire bámulatos kölcsönhatások figyelhetők meg egyes szervezetek között s végül, hogy milyen harmónikus kölcsönhatásban él egymás mellett a természet két nagy birodalma. Miután mindezeket a tényeket megismertük, joggal gondolhatnánk azt, hogy utunk végére értünk. De éppen ezen a látszólagos végállomáson kezdi a fiziológus szomorúan belátni, hogy feladatát távolról sem oldotta meg. A megoldott részletkérdésekből nagy, általános, mindent átfogó kérdés keletkezik: miért olyan tökéletes valamennyi szerv, valamennyi lény, miért alkalmazkodnak olyan művészi tökéletességgel környezetükhöz és életműködésükhöz? Minél bámulatra méltóbb a tény s tökéletesebb a szerv, annál kínzóbb a kérdés: miért ilyen tökéletes? Hogyan és milyen úton érkezett el a tökéletességnek erre a fokára? Vajjon érdemes volt-e az egész hosszú utat megtennünk, ha a végén csak ilyen kurta válaszokat kaphatunk: nem tudjuk, nem értjük fel nem foghatjuk. Valóban, a természettudós mindig készen áll arra — és ebben a tekintetben készségesebb és őszintébb, mint más tudományágak kutatói — hogy megvallja: *nem tudom*. Ezzel szemben annál szívósabban ragadja

még a magyarázat legkisebb lehetőségét is, annál féltőbben őrzi a tudásnak mindazokat a területeit, ahová már behatolhatott a fénynek mégolyan gyöngye sugara is.

Milyen mértékben elégítheti ki a tudomány ebben az esetben az értelem természetes kíváncsiságát? Milyen megoldást adhat a modern természettudomány a szerves világ alaptulajdonságainak: tökéletességének, harmóniájának és célszerűségének magyarázatára? Ezek azok a kérdések, amelyekkel következő és egyben utolsó előadásunk során foglalkozunk.

## Á SZERVES FORMÁK KÉPZŐDÉSE

*A szerves formák célszerűsége csakis keletkezésük történeti folyamatával magyarázható. — A paleontológia, morfológia és embriológia egyértelmű tanúságtétele a szervezetek rokon kapcsolata mellett. — Ellentmondás e megállapítás és a fajok állandóságáról szóló uralkodó felfogás között. — Igaz-e az, hogy a fajok változatlanok? — E meggyőződés alapjául szolgáló logikai tévedés. — Miért vezet a történeti folyamat a tökéletesedéshez? — Darwin elmélete. — Küzdelem a létért és a természetes kiválogatódás. — Az átmeneti formák hiányának magyarázata. — Mennyivel kell beérni a célszerű alkalmazkodás egyes eseteinek magyarázatánál?*

A mult előadásunk végső következtetése szerint minden gondolkodó ember, aki a szerves természet jelenségeit vizsgálja és annál inkább a természetkutató, aki a kérdések mélyére tekinthet, arra a meggyőződésre jut, hogy az egész szerves világot és annak minden részletét olyan közös vonás jellemzi, amelyet a következő szavakkal igyekszünk kifejezni: tökéletesség, harmónia, célszerűség stb. Ez a meggyőződés viszont szükségképpen felkelti bennünk azt a kívánságot, azt a sürgető hiányérzést, hogy magyarázatot keressünk az élőlények e legkimagaslóbb jellemvonásaira. Amikor a multban a természettudós kutatásai közben ehhez a ponthoz elérkezett, úgy vélte, hogy útja véget ért, hogy a tökéletesség, harmónia vagy célszerűség pusztá ténye olyan elsődleges, elemi jelenség, amelyet a tudomány tovább nem boncolhat. Világnézetének megfelelően tehát vagy hallgatott erről a kérdéstről, vagy lírai ellágyulásokba kezdett. A többség ilyen magatartásával szemben már régen egyedülálló és bátor hangok is elhangzottak a tudományban: követelték, hogy a tudomány a szerves lényeknek ezzel az általános jellemvonásával szemben ugyanúgy viselkedjék, mint a részletkérdésekkel szemben; ne elégedjenek meg a tény pusztá tudomásulvételével, hanem igyekezzenek ezt a tényt észszerűen megmagyarázni, mint általánosabb törvények részletes esetét levezetni; ne ériék be azzal a tapasztalati ismerettel, hogy a szervezet ilyen, hanem törekedjenek levezetés

útján megállapítani, hogy ilyenek kell lennie. Melyek lehetnek azok az általános természeti törvények, amelyekből a szerves világ benünket meglepő tökéletességét, mint szükséges eredményt levezethetjük?

Ennek a kérdésnek szenteljük záróelőadásunkat.

A növényi élet részletjelenségeinek magyarázata közben eddig mindig arra törekedtünk, hogy a jelenségeket általános és közérthető fizikai és kémiai törvényekre vezessük vissza. Ez a törekvésünk a legtöbb esetben többé-kevésbé sikerült is. Egyszer sem kellett ahhoz a titokzatos *életerő*höz folyamodnunk, amelynek alkalmazására a multban a fiziológusok annyira ráfanyalodtak. Nem bizonyítottuk, hogy ez az életerő, bizonytalan jellemzőivel és megfoghatatlan működési körével együtt, mennyire tarthatatlan. Meg se kíséreltük, hogy létezését cáfoljuk, erre egyszerűen nem jutott hely magyarázataink közben, s nem volt okunk egyszer sem arra, hogy ezt megbánjuk.

Most azonban itt áll előttünk az a kérdés: követhetjük-e a magyarázatnak ezt a módszerét a növényi élet minden tényével kapcsolatban? Megmagyarázhatjuk-e például egyedül a fizikai erők hatásával olyan célszerű alakok keletkezését, amelyekkel különösen két utolsó előadásunkban megismerkedtünk? Megmagyarázhatjuk-e például, az adott pillanatban érvényesülő fizikai erők bármiféle kombinálásával, a zsályavirág alakjának kialakulását, amely minden részletével olyan meglepően alkalmazkodott ahhoz a célhoz, hogy a rászálló rovarok közreműködjenek a növényre előnyös porzásban, keresztvező megtermékenyítésben? Vagy megmagyarázhatjuk-e ugyanezeknek a tényezőknek a hatásával azt, hogy a Vénusz légy-csapója vagy a harmatfű levelei miért vannak ellátva mindazokkal a szükséges mechanikai és kémiai tulajdonságokkal, amelyek ezeket a rovarok megfogására és felfalására szolgáló tökéletes eszközökké alakítják? Mindezt nyilvánvalóan nem tudjuk megmagyarázni. Ezeket a formákat; vagy pontosabban e formák célszerűségét semmiképpen sem magyarázhatjuk meg azzal, hogy szükségszerűen következnek azoknak az anyagoknak és erőknek a kölcsönhatásából, amelyeknek hatása alatt a szóban lévő szervezetek kifejlődtek. De ha nem tudjuk ezeket a formákat létkörülményeik alapján megmagyarázni, nem kereshetjük-e a magyarázatot más úton?

Amikor a történettudós valamely nép történetét kutatja és a nép életének bizonyos időpontjában olyan jelenséggel találkozik, amelyet nem lehet közvetlenül levezetni a korabeli erkölcsökből, vagy egykorú életkörülményekből, vagy ha nagyon tökéletes, részletesen kidolgozott államformát vagy közösségi életformát talál, ezeknek magyarázata céljából történeti okokhoz folyamodik. Ha a



jelenben nem találja meg a tökéletes magyarázatot, a multban keresi azt. Vajjon nem alkalmazhatjuk-e mi is ezt az eljárást a természetben lefolyó jelenségekre? Ha olyan szövet találunk, amely bámulatos módon hozzáillik életműködéséhez, ha olyan szervezettel állunk szemben, amely bámulatos összhangban van a környezetével és ha nem tudjuk megmagyarázni kialakulásukat a jelenben gyökeröző olyan okokkal, amelyek mindegyik szervezetre hatnak, alaposan feltehetjük-e, hogy ez a tökéletesség nem hirtelen következett be, hanem a történelmi fejlődés lassú folyamatának eredménye, s hogy a fejlődés folyamán ugyanazok a fizikai erők hatottak, amelyek a jelen pillanatban is hatnak? Van-e alapja annak a feltevésnek, hogy olyan fizikai tényezők, amelyek nem alkalmasak arra, hogy egy bizonyos szervezetet célszerűen megváltoztassanak, előidézhettek ezt a változást, ha nemzedékek hosszú során keresztül hatnak?

Abból a célból, hogy elfogadhassuk ezt a természetmagyarázatot, két tételt kell bizonyítanunk: először is, hogy a szerves világnak van története s másodszor, hogy ez a történet megmásíthatatlanul és feltartóztathatatlanul a tökéletesedés felé vezet. Ha ezt sikerül bizonyítanunk, ha valóban meggyőződhetünk ennek a két tételnek helyességéről, nyilvánvalóan megkapjuk azt az egyetemes kulcsot, amellyel megoldhatjuk a szerves lények tökéletességének kérdését.

\* \* \*

Van-e a növényeknek története? Már alkalmilag több ízben állást foglaltunk ebben a kérdésben és igenlő választ adtunk, de nem került sor az ilyen válasz mellett szóló valamennyi érv együttes mérlegelésére. A kérdésre elsősorban a geológiától kell választ kérnünk. Már az I. előadásunkban jeleztük, hogy a Föld növényzete most nem olyan, mint volt a korábbi geológiai korszakokban, s hogy minél régebbi ez a korszak, minél messzebb esik a mi korszakunktól, annál egyszerűbb szervezetek képviselik. Először a zsurlók, páfrányok és korpafüvek — mindegyikük spórás növény — jelennek meg; később a magvas (virágos) növények is jelentkeznek. Kezdetben csak az egyszerűbb túlevelűek s legvégül a legbonyolultabb szerkezetűek, a legtökéletesebb szerveződésű növények: a kétszikűek, amelyek ma túlsúlyban vannak Földünkön. Az idők folyamán tehát a már létező típusokhoz újabb növényi típusok, az egyszerűbbekhez bonyolultabbak társultak, s számbeli fölényükkel győztek az előbbieket felett.

Már az I. előadásban láttuk, hogy ezt az alapvető geológiai tényt két ellentétes hipotézissel magyarázhatjuk: vagy újratertették az új típusokat, teljesen függetlenül a már meglévőktől, vagy pedig az új típusok megváltozások útján a meglévőktől szár-

maztak, tehát közvetlen rokonságban vannak azokkal. Mindkét fel-fogást hipotézisnek neveztük, s ezt nem lehet eléggé nyomatékosan hangsúlyozni. Az első nézet hívei ugyanis ezt a kifejezést csodálatra-méltó önbizalommal és következetességgel kizáróan a második nézetre alkalmazzák, s megfelelnek arról, hogy az általuk védett nézet legalább annyira hipotézis, mint a második. Értelmezés, méghozzá önkényes értelmezés, nem pedig e tények egyszerű ki-nyilvánítása.

Próbáljuk a két hipotézis viszonylagos értékét meghatározni. Vizsgáljuk meg, hogy a kettő közül melyik fér jobban össze a való-sággal, melyik magyaráz meg több tényt és keveredik kevesebb ellentmondásba, vagyis melyik felel meg inkább azoknak a követel-ményeknek, amelyeket minden tudományos hipotézissel szemben támasztanunk kell.

Első tekintetre az a gondolat, hogy az egyik növény a másiktól származott, például a tölgyfa a nyírfától vagy a rózsa a liliomtól, különösnek, furcsának, olyasminek tetszik, amit ésszel fel nem fog-hatunk. Nem különösebb-e azonban az a gondolat, hogy a sziklevel, a szírom, a porzó, a termő a hozzájuk olyan kevésbé hasonló lomb-levélből származik? És mégis, amikor az I. előadásunk során a meta-morfózisról beszéltünk, szükségszerűen arra a megállapításra jutot-tunk, hogy mindezek a szervek — bármennyire is eltérő az alakjuk, szerkezetük és életműködésük — valójában az egyik alapszerv módosulásai, átalakult lombszelevek. Ezt a következő megfontolás alapján állapítottuk meg. Először is vannak nem érzékelhető át-menetek. A tündérrózsa (*Nympaea alba* L.) virágában például egész sorozat átmeneti szervet találtunk, amely se szírom, se porzó nem volt, hanem részben a szíromhoz, részben a porzóhoz hasonlí-tott, s így pontosan nem tudtuk meghatározni, hogy hol végződik az egyik és hol kezdődik a másik szerv. A második ok, amelyet az egyik szervnek a másikba történő átmenetével kapcsolatban megem-líthetünk, az úgynevezett rendellenesség esete; ezekben az esetek-ben az egyik szerv véletlenül felveszi a másik alakját. Erre példa a bazsarózsa (*Paeonia officinalis* L.) termője, amely pirosas szírom alak-jában jelenik meg, s amelynek a szélein ülnek a magkezdemények. Különösen meggyőzőek a szóban lévő esetek akkor, ha ezt az elvál-tozást mesterségesen idézzük elő. Ilyenek például az úgynevezett telt (teljes vagy dupla) virágok esetei, amikor a porzókból járulékos szíromlevelek lesznek, vagy azok az esetek, amikor a levélrügyek pikkelyei valódi levelekké alakulnak át. Ha azonban az ilyen meg-gondolások eredményeképpen el kell ismernünk, hogy az egyik szerv másik, hozzá egyáltalán nem hasonló szervvé alakulhat át, akkor még inkább el kell ismernünk azt, hogy különböző növények azonos

szervei átmehetnek egymásba; ha elfogadjuk, hogy porzó alakulhat levélből, sokkal könnyebben elfogadhatjuk azt, hogy az egyik növény levele a másik növény leveléből s az egyik virág a másiktól alakult, s erre készítenek ugyanazok az érvek: az átmenetek s az úgynevezett rendellenességek, vagyis hirtelen eltérések fennállása. Keressünk mindegyikre valamilyen példát is. Amikor a virágokat tárgyaltuk, megismerkedtünk az *orvosi zsályával* (*Salvia officinalis* L.), s megcsodáltuk azt az alkalmazkodását, amellyel a rovarok segítségével történő keresztező beporzást biztosította. Kíséréljük meg annak bizonyítását, hogy milyen fokozatosan alakulhatott ki az orvosi zsálya bonyolult virága a látszatra hozzá egyáltalán nem hasonlító sugaras alakú virágból. Az orvosi zsálya az ajakosak (*Labiatae*) családjába tartozik; ezt a családot azért nevezik így, mert tagjainak virágja csaknem mindig többé-kevésbé kétajkú.



70. ábra

Ehhez a családhoz tartozik például az északi *kakukfű* (*Thymus serpyllum* L. Em. Fr.), a *menta* stb. Az ajakosak családjára sok tekintetben hasonlít az érdeslevelűek (*Borraginaceae*) családja — ebben valamennyi botanikus megegyezik. Az utóbbiak köréből nézzük például a *nefelejcs*t (*Myosotis palustris* L.). Köztudomású, hogy ennek a virágnak két pártája a tövénél csövecskébe megy át, s címpeín tompán lekerekített öt fogacska van. Ha a csövecskébe betekintünk, öt egyforma sárgaszínű portokot látunk, amelyeknek szára a csövecskéhez hozzánőtt (70. ábra).<sup>1</sup> Feltételezhetjük-e, hogy ebből a szabályos csillagalakú virágból és annak öt porzójából alakulhatott ki a zsálya ajakos virága és annak két sajátos porzója? Ezt a feltevést nagy mértékben valószínűsíthetjük azzal, ha a család tagjai között sikerül olyan tagokat találnunk, amelyek közbenső formák a két szélső forma között. Mindenekelőtt meg kell jegyeznünk, hogy

<sup>1</sup> 70. ábra. 1. a nefelejcs pártája; 2. a farkasszem pártája; 3. a görvélyfű pártája; 4. az északi kakukfű pártája; 5. a zsálya pártája. Mindegyik pártát az alsóajkánál hosszabban szétszakították és kiterítették. A zsálya pártáját ezen felül a felsőajkánál is szétvágták. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

az érdeslevelűek családjában nem minden virág annyira szabályos, mint a nefelejcs virága; így például a *farkasszem* (*Lycopsis arvensis* L.) pártája már valamennyire részarányos, tehát van felső és alsó része, bár a virágja még nem határozottan ajakos (70—2. ábra). Ugyanakkor azonban az öt porzója már különböző nagyságú, s különösen a felső (70—2. ábra, *m.*) sokkal kisebb, mint a többiek. Másrészt az ajakosak családjában nincs minden tagnak határozottan kettős ajakalakú pártája; példa erre a menta, amelynek a virágai csaknem szabályosak. A szabályos alakú párta tehát fokozatosan mehetett át a kettős ajakalakú pártába. Nézzük most a porzókat: az érdeslevelűek esetében öt porzót, az ajakosakon négy porzót, még pedig két alsó, nagyobb és két felső, kisebbet látunk (70—4. ábra). Hová lett az ötödik porzó? Ha valamely szervezből hiányzik egy olyan szerv, amelynek hiányára egy másik szervezettel történt összehasonlítás alapján következtethetünk, akkor rendszerint két eset lehetséges: a hiányzó szerv más szervvé alakult át, metamorfózison ment keresztül vagy eltűnt, elcsökevényesedett és helyette más, újabb szervek alakultak. Ezt a kompenzációt, ezt a kölcsönös összefüggést a részek fejlődésében *Goethe* figyelte meg, akinek — amint már hallottuk — a tudomány a metamorfózis tanát is köszönheti. Ha az ajakosak esetében eltűnt egy porzó, még hozzá éppen a felső porzó (ez a porzó a farkasszem virágában már kisebb, mint a többi porzó; 70—2. ábra, *m.*), akkor mi lehet az, ami helyette megjelent? Meg kell jegyezni, hogy ennek a porzónak az eltűnése egybeesik a felső ajak erős kifejlődésével és feltehetjük, hogy a porzó szíromszerű szervvé alakult át, összenőtt a két felső szíromlevéllel, s felső ajakká lett. Ebben nincs semmi meglepő, mert mindennapos jelenség, hogy a porzó szíromlevéllel alakul és hogy a virág részei összenőnek. Magyarázatul hivatkozhatunk arra a tényre, hogy a menta virágain, amelyek az ajakszerűség csak gyengén mutatkozik, az ötödik porzó valóban gyakran megmarad. A következtetést más növények példája még jobban megerősíti. Az érdeslevelűekhez és az ajakvirágúakhoz hasonlóan rokonságban vannak egymással a burgonyafélék (*Solanaceae*) és a tátogatók (*Scrophulariaceae*) családjai. Az előbbi családra példa a burgonya, az utóbbira a gyűszűvirág és a kakastaraj. Az első család tagjainak virága szabályos, s porzóinak száma öt; a második család virága ajakos, s porzóinak száma négy. Az utóbbi családban azonban a *görvélyfű* (*Scrophularia vernalis* L.) példáján láthatjuk, hogy a felső, az ötödik porzó szírommá alakult és összenőtt a két felső szíromlevéllel (70—3. ábra). Így tehát megmagyarázhatjuk, hogy a nefelejcs szabályos, ötporzós virága miként alakult át fokozatosan négyporzós, kétajakas virággá, ami a legtöbb ajakosvirágúra nézve jellemző. A zsálya virágjában azonban csak két porzó

van. Vizsgáljuk meg tehát, hogy mi történt a másik kettővel. Ha megvizsgáljuk a párta kettészelt csövet, valamivel magasabban két jól fejlett porzószálat látunk, azon a helyen pedig, amelyet a többi ajakosvirágú növényben a két kisebb porzószal foglal el, két alig észrevehető, elsatnyult porzósökevényt veszünk észre (61. és 70—5. ábra). Ennek a két fejletlen porzónak a rovására a fentebb említett Goethe-féle szabály értelmében a másik két porzó jelentékenyen megnövekedett és felvette azt a sajátos szerkezetet, amelyet már megismertünk (61. ábra). Viszont ennek a két porzószálnak sajátos alakja a különféle zsályafélék esetében eltérő mértékben bonyolult, nem egyszerre, hanem egymást követő számos elváltozás során alakult ki. Az átmeneti alakok leírása azonban túlságosan sok időt és magyarázó ábrát kívánna.<sup>1</sup> Hasonló megfontolásokkal magyarázhatnánk még azt, hogy egy másik, még csodálatosabb virág, a *vitéz kosbor* (*Orchis militaris* L.) hogyan származhatott le a liliomhoz hasonló szabályos virágból. A növények morfológiájában vagy összehasonlító anatómiájában sok ilyen példát találunk; szinte azt mondhatjuk, hogy az csak ilyen példákából áll.

Igy tehát, ha a metamorfózis tana megmagyarázza, hogy miként származhattak egymásból nem érzékelhető átmenetek során ugyanannak a növénynek különböző szervei, akkor a különböző növények azonos szerveinek összehasonlító anatómiai tanulmányozásából is hasonló következtetésre kell jutnunk, tudniillik, hogy az egyik növényi forma a másiktól származhatott, mert különben hogyan magyarázhatnánk meg azokat a lépten-nyomon előforduló kezdetleges vagy csökevényes szerveket, amelyek a nem hasonló formák közötti átmenetre utalnak.

Következtetésünk helyességéről még inkább meggyőződhetünk, ha a szervezeteket kezdetleges állapotukban tanulmányozzuk. Az embriológia minden adata arról tanúskodik, hogy az a hasonlatosság, analógia, amely a teljesen kifejlődött szervezetekben felfoghatatlan, megmagyarázhatatlan, nyomban érthetővé válik, ha a szervezeteket fejlődéstörténeti alapon vizsgáljuk. A növényvilágban például nincs

<sup>1</sup> Amikor a virágokat tárgyaltuk, azt állapítottuk meg, hogy a zsálya virágában levő bonyolult porzóberendezésnek az a rendeltetése, hogy a rovarok segítségével biztosítsa a kölcsönös beporzást. A kölcsönös beporzást azonban még tökéletesebben biztosítaná az, ha a virágok egyivarúak lennének, azaz az egyik virágban csak termő, a másikban csak porzó lenne. Ilyen esetben a termős virágban a bonyolult és fokozatosan kialakult beporzó berendezés feleslegessé válnék. Valóban egy másik zsályafélen — nem a leírt orvosi zsályán, hanem a mezei zsályán (*Salvia pratensis*) — a kétivarú virágokkal együtt termővirágok is előfordulnak. Ezeket a termővirágokon sokszor megfigyeltük, hogy a feleslegessé vált bonyolult berendezés lassankint elsatnyul és visszafordított sorrendben átmegegyezik a fejlődési fokozatokon, amelyeken kialakulása közben át kellett haladnia. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

mélyebben gyökerező különbség, mint ami a spórás és magvas növények különbsége; szinte úgy tetszik, hogy áthidalhatatlan szakadék van a két fél birodalom között. Mégis *Wilhelm Hofmeister*nek sikerült ezt a szakadékot áthidalnia. A magasabbrendű spórás és az alacsonyabbrendű magvas növények fejlődéstörténetének tanulmányozása kapcsolatot fedezett fel a kettő között, sőt azt is megállapította, hogy az átmenetnek hogyan kellett végbemennie. Már tudjuk, hogy a spórás növények legjellegzetesebb tagjai, például a páfrányok spermatozoonok útján, a virágos növények pedig a virágportömlők segítségével szaporodnak. Hofmeister széleskörű kutatásai alapján megjósolta, hogy bizonyos virágos növények virágportömlőiben spermatozoonoknak kell lenniök s ez a jóslata halála után húsz esztendővel ragyogóan bebizonyosodott. Az exakt tudományok, az asztronómia, a fizika, a kémia büszkéek az ilyen jóslatra. A nyitvatermők, amelyek közé a túlevelűek is tartoznak, összekötő hidak a növényvilág ezen két csoportja között, ezeknek a virágporában találtak meg ugyanis a spermatozoonokat. Azt pedig már láttuk, hogy a geológia és a fejlődéstörténet e következtetéstől függetlenül és nála sokkal korábban megállapította, hogy a szóbanforgó növénycsoportok a Földön valóban ebben az időrendben jelentkeztek. Gondoljunk vissza korábbi előadásainknak arra a megállapítására, hogy a növény és az állat között nem vonhatunk fiziológiai értelemben vett határvonalat. Emlékezzünk vissza arra is, hogy minden szervezet kezdete a sejt, vagy még egyszerűbben a protoplazma, akár milyen élőlényről is van szó. Mindezek alapján szükségképpen arra a megállapításra kell jutnunk, hogy a szerves világ egységes egész, s hogy minden, ami él ezen a Földön, egymással közvetlen rokonságban van.

Ha figyelembe vesszük azt, hogy a biológiai tudomány minden ágában a különböző tanúságtételek mennyire egybehangzóan támogatják ezt a következtetést, különösnek, sőt érthetetlennek tűnik fel, hogy ennek a következtetésnek akadhattak, sőt még ma is akadnak ellenfelei.

Abból a célból, hogy fényt vethessünk azokra az okokra, amelyek ebben a kérdésben a tudósok között véleményeltérést idéztek fel, rövid időre ki kell térnünk néhány — talán unalmasnak tetsző — olyan technikai részletkérdésre, amelyeknek ismerete nélkül a véleménykülönbség forrását nem érthetjük meg. Aki a szerves természetet tanulmányozza, hamarosan meggyőződik arról, hogy a szervezetek különböző fokú — mint mondani szokás — *rokonságban* vannak egymással. A rokonsági kapcsolatok kifejezése céljából a szervezeteket rendszeres leírásuk közben egyre szűkebb csoportokba sorolják, s a csoportok megjelölésére csupa olyan kifejezést alkalmaz-

nak, amelyek a rokonsági fokozatok kifejezésére használatosak : család, ág, nemzetség és így tovább. Azt a legszűkebb csoportot, amelynek tagjai az egymáshoz legjobban hasonlító egyedek, s amely úgyszólván összefogó egységet alkot, Linné *fajnak* nevezte. A fajokból tevődnek össze a nemzetségek, a nemzetségből a családok. Így például, az ibolya és az árvácska ugyanannak a Linné-féle nemzetségnek: a *violáknak* két faja; a hamvas égerfa (*Alnus incana* L.) és az enyves éger (*A. glutinosa* L.) az *Alnus*-nemzetség két faja; a szamár és a ló is egy nemzetséghez, az *Equus*-nemzetséghez tartoznak; a farkas és a kutya közös nemzetsége : a *Canis* és így tovább. A fajok csoportjainak összeállítása hatalmas tudományos eredmény volt. Ez tette lehetővé, hogy a szervezeteket szigorú rendszer szerint osztályozhassuk. Amikor azonban összeállították a rendszer alapegységét, a fajokat, a rendszerezők — nem annyira Linné, mint inkább a követői — kezdték azt hinni, hogy a faj valóban valami megrendíthetetlen, térben és időben megváltoztathatatlan egység ; hogy a fajok mindig ugyanolyanok voltak és lesznek, mint amilyeneknek most látjuk azokat a Földön; szó sem lehet egyik fajnak a másikká való átalakulásáról, tehát képtelenség minden olyan tanítás, amely a származás egységét hirdeti. Mi pedig az eddigiek során sok olyan adatot sorakoztattunk fel a metamorfózis tanából, az összehasonlító anatómiából, az embriológiából, a paleontológiából, amelyek azt bizonyítják, hogy az egyik család formái átmehetnek egy másik család formáiba (például az érdeslevelűek az ajakosak felé), hogy nem vonhatunk éles határmegyét a növények és az állatok között stb. Vajjon mi lehet azonban ezeknek a tényeknek az értelme, ha helyes az a nézet, hogy az egymáshoz közelálló lények, mint ugyanannak a nemnek a fajai között is lehetetlen az átmenet? Ha az ibolya és az árvácska között mindig ugyanaz volt a különbség, ha azok semmiképpen sem változhatnak meg, ha a fajok valóban változatlanok, akkor persze füstbe megy minden elgondolásunk, amely a családok között, az osztályok között, sőt a növényvilág két tartománya között lehetséges átmenetekről szól. Ebből következik, hogy a szerves lények egységes származásának kérdése, s így mint láttuk, a szervezetek tökéletességének szélesebb kérdése is összefügg a változékonyság vagy általában a fajok eredetének kérdésével. Így tehát érthető, hogy Darwinnak az egész természettudományt forradalmasító munkája, címében ezt a száraz technikai elnevezést viseli.

Vajjon valóban igaza van-e annak a néhány természettudósnak, akik makacsul állítják, hogy a fajok változatlanok? Mindenekelőtt jól tudjuk azt, hogy nincs a természetben olyan két forma, amely tökéletesen megegyező lenne. Még azok a növények is különböznek egymástól, amelyek egy termés magjaiból származtak. Tökéletes

hasonlatosságról tehát nem beszélhetünk, sőt arra soha senki nem is gondolhat. Jól tudjuk azt is, hogy a fajon belül is találunk olyan egyes egyedsoportokat, amelyeknek tagjai jobban hasonlítanak egymásra. Ilyenképpen a faj, amely a magasabb fokú csoportok alapegysége, maga is további kisebb egységekre oszlik. Mindannyian tisztában vagyunk azzal, hogy mennyire különbözők például a kutyafajták vagy a búzafajták, nem is beszélve arról a sokféle virágváltozatról, amelyeket évente a kertészek árjegyzékeikben ismertetnek. Hol van tehát a faj híres állandósága? A fajok megmerevedésének hívei erre is készen tartják válaszukat: »Természetesen a fajon belül történhetnek változások, de ezeknek a változásoknak megvannak a maguk határai; a változatok között soha nem olyan mérvű a különbség, mint a fajok között.« Más szóval, olyan megváltozások útján, amilyeneken a változatok keresztül mennek, nem keletkezhetnek új fajok. Ilyenképpen a fajok állandóságának kérdése lényegében a változékonyság határainak vagy általában a változatok jelentőségének kérdéséhez vezet el. Ha fajok és változatok között ilyen kategórikus különbségekről hallunk, azt gondolhatnánk, hogy a fajok változatlanosságának hívei pontosan meg tudják határozni az egyik és a másik fogalom körét és biztosan ki tudják jelölni azok ismérveit, már csak azért is, hogy tudhassuk, mikor van dolgunk egy faj két változatával és mikor két önálló fajjal. Ezt azonban egyáltalán nem tették meg, sőt nem is képesek megtenni, mert mind a két fogalom kitér a pontos meghatározás elől; ennek okát hamarosan megismerjük. A fajok állandóságának védelmezői — abból az *a priori* meggyőződésükből kiindulva, hogy egyik faj nem keletkezhetik a másik fajtól — rendszerint azt a szabályt követik, hogy két olyan formát, amelyet átmeneti alakok kötnek össze, bármennyire is különbözzenek egymástól, nem ismerhetünk el két önálló fajnak. E szabály alkalmazásával azonban ellenfeleik olyan példákra utalnak, amikor a fajok között átmeneti formák találhatók. Erre azután azt válaszolják: »Ezek szerint tévedtünk, mert fajnak tekintettük azt, ami valójában változat.« Minthogy pedig ekként hibás körben — *circulus vitiosus*-ban — forognak, megtámadhatatlanok. Abból kiindulva, hogy a fajok változatlanok, minden változékonyság alakot — a fajt a változattól megkülönböztető pozitív ismertetőjelek hiányában — változatnak nyilváníthatnak. Egyébként volt idő, amikor a fajok állandóságának védelmezői abban a reményben ringatták magukat, hogy a faj és a változat közötti különbséget pozitív fiziológiai ismertetőjelre alapozhatják. Kialakult az a meggyőződés, hogy egy-egy faj minden tagja, valamennyi változata, bármennyire különbözőek is, keresztezhetőek egymással, olyan hibrideket alkothatnak, melyek további szaporodásra képesek; ezzel



szemben a fajok nem kereszteződhetnek, vagy ha kereszteződnek, terméketlenségre vannak ítélve. Ebben az — állítólag változatlan törvényben a természet részéről még valami célzatosságot is felismertek, s úgy vélték, hogy a természet, miután bizonyos számú fajt létrehozott, gondoskodott arról, hogy ezek örökké változatlanok maradjanak és ebből a célból kizárta a kereszteződés útján való megváltozás lehetőségét. A megtermékenyülés tárgyalása közben azonban olyan tényekkel ismerkedtünk meg, amelyek ezt a felfogást véglegesen megdöntik. Láttuk, hogy néha a saját virággporral vagy hasonló növény virággporával történt megtermékenyülés kevésbé termékeny, mint az idegen vagy nem hasonló növény virággporával való beporzás, sőt néha a más faj virággporával történő megtermékenyítés termékenyebb volt mint a saját faj virággporával való beporzás.<sup>1</sup> Amikor a fajok állandóságának hirdetői, miután felismerték, hogy a faj és a változat megkülönböztetésére képtelenek pozitív kritériumot felállítani, bizonyos »tapintókészségre« vagy megézésre szeretnek hivatkozni, amelyet a természetkutatóknak e kérdés eldöntésében követnie kell. Az azonban, hogy milyen kevésbé megbízható ez a »tapintóérzék«, az leginkább az alábbiakból tűnik ki; amíg a nemzetség kevés fajt tartalmaz, a botanikusok egyetértének a számok tekintetében; mihelyt azonban a nemzetség — mondjuk — négy fajnál többet foglal magában, már megszűnik az egyetértés. Azt pedig, hogy az egyetértés hiánya hova vezethet, a következő példából láthatjuk: a hölgymál (héjafő) (*Hieracium pilosella* L.) nemzetséghez egyes botanikusok húsz, mások háromszáz fajt sorolnak. Hasonló a helyzet a földi szederrel, a fűzzel és számos más növénnyel kapcsolatban is. Nyilvánvaló, hogy egyesek fajnak tartják azt, amit mások csupán változatnak vélnék. Ezekre a nézeteltérésekre való tekintettel a rendszerezők még a »jó faj« fogalmát is használják, amellyel a mindenki által elismert fajokat különböztették meg a kétes fajoktól. A bőséges ellentmondásokból egyet bizonyosan megállapíthatunk: a faj és a változat között nem vonhatunk szigorú logikai határt, s hogy ezeket a fogalmakat a valóságra nem tudjuk mindig és minden esetben teljes bizonyossággal alkalmazni. Ez a megállapítás pedig akaratlanul is felébreszti bennünk a kétséget: nem csúszott-e valami olyasféle logikai hiba az egész kérdésbe, mint amilyent az élet és a növény fogalmának tárgyalása során találtunk. Lehetséges-e, hogy a természetben két, egymástól minőségileg különböző kategóriaként nincs se faj, se változat? Lehetséges-e, hogy ezek is csupán tipikus elgondolások s ezeket is csak az emberi értelem hívta életre? Vilá-

<sup>1</sup> Az az olvasó, aki ezzel a kérdéssel vagy általában Darwin elméletével részletesebben kíván foglalkozni, közérthető magyarázatot talál »Charles Darwin és tana« című munkában. — Az orosz kiadás jegyzete.

gitsuk meg a kérdést egy példával. Világosan felismerjük a gyermek és a felnőtt között lévő különbségeket, sőt megkülönböztetünk a gyermeken felül serdült korút, ifjút, férfiút, aggastyánt és így tovább. Ezek a fogalmak többé-kevésbé alkalmazhatók a valóságra is, hiszen egyébként nem alakultak volna ki az agyunkban. Mindebből azonban még nem következik, hogy kivétel nélkül ráillenek minden esetre. Végre is kinek jutna eszébe, hogy minden esetben meg lehet és meg is kell oldani a kérdést : serdült, ifjú, férfiú vagy öreg ember az, akivel éppen szemben állunk? Éppen ilyen feladat megoldásán fáradoznak a rendszerezők, akik minden esetben el akarják dönteni azt a kérdést, hogy fajnak vagy változatnak kell-e tekinteni a *kétséges* fajt. A faj és a változat a legtöbb esetben világosan elhatárolódik; ebből azonban nem következik, hogy a két fogalom egyszerűsmind két olyan kategória is, amelyek lényegében eltérnek egymástól. Ellenkezően : a két fogalom között csupán mennyiségi különbség van.

Valójában két értékről van szó, amelyek közül az egyik fokozatosan megy át a másikba. Az értékek egyik végén csupán csekély egyedi eltérések mutatkoznak, azután félváltozatok, *határozott változatok*, kétes fajok és végül a valódi, *jó fajok* következnek.<sup>1</sup> Valóban. ebből az ellentmondásokkal teli zsákutcából csak egyetlen logikai kivezető út van, Darwin formulája a fajról és változatról : »a változat kezdődő faj és a faj éles változat«, ugyanúgy miként a gyermek sem más, mint fejletlen ember és a felnőtt kifejlett gyermek ; ebből következik, hogy sem az előbbieket, sem az utóbbiak között nem vonhatunk éles minőségi határvonalat. De fűzzük tovább a hasonlatot: Képzeljünk el valamely nagyon rövid élettartamú lényt, aki azzal a kérdéssel foglalkozik, hogy a felnőtt ember a gyermekből származik-e, vagy hogy mindkettő egymástól független élőlény-e. Az elképzelt lény — rövid élettartama miatt — saját szemével nem figyelheti meg az átalakulást. Ha azonban mégis észrevenné, hogy a csecsemő és az aggastyán között egész sor nem észlelhető átmeneti fokozat van, továbbá ha rájönne arra, hogy mindezek az átmeneti formák, habár elenyészően csekély mértékben, de a szeme előtt változnak, mégpedig meghatározott irányban, tehát az öregedés felé : arra következtetne, hogy a gyermek, akit most lát, idővel aggastyánná válik és hogy az aggastyán is egykor gyermek volt. Tegyük fel, hogy erre a következtetésre egy másik, szintén képzeletbeli lény azt válaszolná, hogy »mindaddig, amíg ezt az átalakulást saját szememmel nem látom — erre pedig érthető módon nem kerülhet sor — azt állítom most és

<sup>1</sup> Valóban ha a fajokra való felosztást rendszertani szempontból a multban befejezettnek is tekinthették, akkor ma már négy, általánosan elfogadott alcsoport van, melyek a fajnál alacsonyabbak. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

mindig is állítom, hogy a felnőtt ember sohasem volt gyermek. Nos, rajtunk a sor, döntsük el, hogy a két képzeletbeli lény közül melyiknek van igaza, annak-e, aki valamennyi tapasztalatát szigorúan következetes megállapításban összegezi, vagy annak, aki egyaránt elveti tapasztalatai tanulságát és a logika követelményeit, s csökönyösen valami álfilozófiai szkepticizmusba burkolózik? Pontosan ez a helyzet a faj fogalma körül vitázó tudósok két ellentétes tábora között. Nemcsak az ember élete, de sok nemzedék együttés életkora is elenyészően rövid, ha azt egy új faj létrejöttéhez szükséges időtartamhoz hasonlítjuk. Ennek ellenére azok a tudósok, akik nem fogadják el a fajok állandóságát abból, hogy a szerves lények általában változékonyak, továbbá abból, hogy a faj és a változat között nem lehet különbséget tenni, szükségképpen arra következtetnek, hogy a fajok a változatokból keletkeztek, s hogy a változatok csak sorrendi szakaszok a fajok kialakulásának útjában.

Bármennyire is meggyőző azonban a kérdés ilyen felfogása, természetesen sokkal meggyőzőbb lenne az, ha az új fajok kialakulásának folyamatát közvetlenül megfigyelhetnénk. Ha a fajok változnak, vajjon az emberemlékezet óta nem változhattak-e annyira, hogy más fajokat hozhatnának létre? Ezt a természetben vadon élő szervezetekre nézve nem bizonyíthatjuk be, mert ezekről nincsenek elég távoli időre visszanyúló feljegyzéseink. Valamivel könnyebb a bizonyítás, bár még mindig tetemes nehézségeket kell leküzdeni, ha természetett növényekről vagy a háziállatokról van szó, mert ezekről vannak bizonyos történeti tájékoztatásaink. A legnagyobb nehézség arra vonatkozó bizonyítékok felkutatása terén mutatkozik, hogy az egymástól élesen eltérő állat- vagy növényfajták valóban ugyanabból a fajból származnak-e. Darwinnek néhány esetben — különösen a galambfajtákkal kapcsolatban, maradéktalanul sikerült ez a bizonyítás. Kimutatta, hogy a mai galambfajtákat, amelyek egymástól annyira különböznek, nemcsak külön fajhoz, de külön nemhez is sorolnák, hogy ha a természetben vadon élő állapotban találnák őket. Mindennek ellenére egyetlen galambfajtól származnak. A fajok állandóságáról szóló hipotézis követőinek azonban van még egy súlyos érve. Azt mondják: elismerjük, hogy az egyik faj a másiktól származik, de hová lettek azok a finom átmeneti formák, amelyeknek közöttük lenniök kellett? Miért tűntek el? Miért alkotnak a fajok rendszerint egészen elkülönülő, egymástól elszigetelt élőlénycsoportokat? Közbevetően megjegyezzük, hogy a fajok között az átmenetek hiányának ténye sok esetben azért kétséges, mert — amint láttuk — mihelyt két faj között átmenetet fedezünk fel, a faj állandóságának hívei ezt mondják: ezek tehát nem voltak fajok. A legtöbb

esetben azonban a fenti érv mégis megtartja teljes súlyát. Az igazi, kétségtelenül *jó fajok* között valóban nem találunk átmeneti formákat és ez a tény volt a legfontosabb akadály minden olyan korábbi kezdeményezéssel szemben, hogy a fajoknak változások útján való keletkezését feltételezzék. Mindenki visszatorpant ez elől a súlyos érv elől. A továbbiakban majd meglátjuk, hogy mi Darwin állásfoglalása ezzel a ténnyel kapcsolatban. Addig is azonban, amíg Darwin tanításának alapjait bemutatjuk, megjegyezzük, hogy Darwin, ellenfeleinek ebből a legveszedelmesebb támadó fegyveréből erős fegyvert kovácsolt elméletének védelmére, mert tökéletesen megmagyarázta az átmeneti formák hiányának tényét, sőt azt is, hogy az átmeneti formák fennállása súlyos ellenérvet jelentene ezzel az elmélettel szemben. Ez a Darwin-féle elmélet egyik legnagyobb érdeme, ereje és előnye a többi hasonló irányú próbálkozással szemben.

\* \* \*

Eddig érveket sorakoztattunk fel amellet, hogy a szerves világnak van története és igyekeztünk megcáfolni minden olyan fel fogást, amely annak ellentmond. A biológiai tudomány minden ágából egyértelmű bizonyítékokat sorakoztattunk fel amellet, hogy a szervezeteknek minden természettudós által elismert *rokönvonsáit* csak szoros *rokönságukkal* magyarázhatjuk. A szervezetnek tehát van genealógiája, vagyis története. Ezzel kapcsolatban most áttérünk feladatunk második felére, s megkíséreljük bizonyítani azt, hogy ez a történelmi folyamat szükségképpen a szervezetek tökéletesedéséhez vezet. Tökéletesedésen ebben a vonatkozásban azt értjük, hogy a szerv életműködéséhez, a szervezet pedig környezetéhez alkalmazkodik.

A szerves világ az élőlények fokozatos lépcsőzete, amely a leg egyszerűbbekkel kezdődik és a legtökéletesebbekkel végződik. A tökéletesedés folyamata pedig egybevág azzal az időrenddel, amelyben ezek az élőlények Földünkön megjelentek. Sok természetkutató ebben a tényben annak bizonyítékát látta, hogy a szerves világot a tökéletesedés felé való törekvés jellemzi. Úgy vélték, hogy a szerves világnak ez a tulajdonsága nem szorul további magyarázatra. Mások viszont megkísérelték, hogy ennek a ténynek észszerű magyarázatot adjanak, de többnyire csak csekély sikerrel. Darwin volt az első, aki a közvetlen okokat megjelölte; felhívta a figyelmet a természetnek azon általánosabb törvényeire, amelyeknek következménye a szerves világ fokozatos fejlődése, haladása vagy más szóval *evolúciója*. Ebből a célból olyan módszert követett, amely első tekintetre paradoxnak tetszik; módszerének logikai értelmét ellenfelei mindmáig nem értet-

ték meg vagy helyesebben, sok ellenfele a kapott felvilágosítások után sem akarta megérteni. Darwint mindenekelőtt az foglalkoztatta, hogy milyen módon juthatott el a szerves világ a történeti fejlődés útján a tökéletességnek arra a fokára, amelyen mi látjuk. Ezért először is azzal a kérdéssel foglalkozott, hogy miként éri el ezt a célt az ember, hogyan tökéletesített mesterségesen egyes növényi és állati fajtákat? Arra a megállapításra jutott, hogy ebben a folyamatban a legfontosabb tényező a kiválogatódás (szelekció). A kiválogatódás<sup>1</sup> — amint már láttuk — abból áll, hogy minden nemzedékből csak azok a szervezetek maradnak meg továbbszaporodásra, amelyek tökéletesen megfelelnek a kitűzött céloknak. A kiválogatás legegyszerűbb és leg-tökéletesebb alakja az, hogy valamennyi meg nem felelő egyedét kiirtják. Amikor például a kertész új növényváltozatot akar létrehozni vagy megszilárdítani, csupán annyit tesz, hogy elpusztítja mindazokat a növényegyedeket, amelyek kitűzött eszményképének nem felelnek meg.

Ezután felveti Darwin a kérdést, vajjon a természet e kiválogatás útján nem halad-e a tökéletesedés felé? Rendszerint ki sem mondhatjuk végig ezt a feltételezést, máris felhangzik az ellentábor elsietett diadalkiáltása, máris zúdulnak az ellenvetések: »Lehet-e valami közös, az ember tudatos akarata által irányított folyamat és a természet vak erőinek működése között? Éppen ti, akik a szerves formák keletkezését a fizika törvényei alapján kívánjátok megmagyarázni, azzal kezdtétek, hogy megszemélyesítitek a természetet, öntudatos tevékenységet és kiválogató képességet tulajdonítotok neki. Ne figyeljünk ezekre az elhamarkodott cáfolatokra, amelyek csak pusztá szavak, hanem ismerkedjünk meg a dolog lényegével, s akkor könnyen megérthetjük a nagy tudós eszméit. Darwin, hogy az ugrás ne legyen túlságosan merész, elsősorban azokat az eseteket veszi elő, amelyeket nem tudatos kiválogatásnak nevez. A vadember sovány esztendőkből arra kényszerül, hogy háziállatainak egy részét elpusztítsa. Természetesen ilyenkor a legjobb példányokat tartja meg s ezzel akaratlanul is, nem szándékosan javítja a fajt. Sőt egyes akaratlan ellenére jár el, mert ha akarata szerint tehetne, bizonyára szívesen megtartaná a kevésbé kielégítő példányokat is. Az egyes állatpéldányok kiválogatásával így időnként folyamán tökéletesíti a fajtát, noha az elért eredményt illetően csak vak eszközként, öntudatlan elemi erőként cselekszik.

Feltételezhetünk-e ilyenformán a természetben öntudatlan kiválogatódást? Hogy a kérdést ne találjuk annyira meglepőnek, végézzünk egy kis behelyettesítést, s a kérdés nyomban más megvilágítást kap. Azt mondtuk, hogy a kiválogatódás folyamatának leg-

<sup>1</sup> Lásd a VIII. előadást. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

egyszerűbb és leghatásosabb alakja a meg nem felelő formák kiirtása. A felvetett kérdést tehát egy másikkal helyettesíthetjük: előfordul-e a természetben, hogy a meg nem felelő formák kipusztulnak? Az ilyenféle kipusztulási folyamat egyértelmű lenne a tökéletesedéssel. Erre a kérdésre a tudomány nagyon határozott választ ad: igenis előfordul, mégpedig hatalmas méretekben és kérlelhetetlen szigorúsággal. A természetnek ez a jelensége valamennyi szerves lénynek egyik közös tulajdonságán alapul. Ez a közös tulajdonság az, hogy a szervezetek reprodukálása mindig a szaporodásukkal kapcsolatos. Ez a tény annyira általános és állandó, hogy a két kifejezést egymás helyett is használják: szaporodást mondanak reprodukálás helyett. Valóban nem ismerünk egyetlen olyan szerves lényt sem, amely egész élete folyamán csak egy új lényt hozna létre, sőt rendszerint a szaporodás gyorsan, mértani haladvány arányában növekszik tovább. Ez a tény beláthatatlan következményekkel jár; melyeknek jelentőségét először kellőképpen Darwin értékelte.

A szerves lények gyors szaporodását csak akkor tudjuk teljesen értékelni, ha nem vagyunk restek valamely példán kiszámítani, hogy hány utódot hoz létre néhány év alatt egy-egy szervezet. Így például, ha megmaradna egyetlen pitypangnak, annak a növénynek minden utóda, amelynek sárga virágai olyan kelletlenül tarkítják pázsitjainkat, akkor tíz-tizenkét esztendő alatt elborítanák az egész szárazföldet. Pedig a pitypang nem is nagyon szapora növény. Az egyik legközségesebb kosborfélének — az *agár kosbor* (*Orchis morio* L.) Darwin számítása szerint egy évben legalább 180.000 magot hoz egyedenként úgy, hogy ennek a növénynek már az ükunokái elboríthatnák az egész szárazföldet zöld takarójukkal, pedig még mindig nem ez a szaporaság legfelső határa. Vannak kosborfélék, amelyeknek magvait milliókkal kell számolnunk. Vagy emlékezzünk vissza a szabadszemmel nem is látható spóra-szemekre, amelyek a páfrányfélék leveleiben teremnek; mindegyik porszemből egy-egy új növény keletkezhetik.

Milyen következményekkel kell együttjárnia annak, hogy valamennyi szervezet kivétel nélkül hatalmas méretben szaporodik s az egész földkerekség meghódítására törekszik. Az eredmény nyilvánvaló; ezeknek a szervezeteknek túlnyomó része elpusztul. Sőt azt is mondhatjuk, hogy az életbenmaradó rész elenyésző azoknak a számához képest, amelyek halálra vannak ítélve. Minden újonnan megszületett nemzedék tagjai között gyilkos verseny alakul ki, melyből csak kevesen kerülnek ki győztesen. Mi dönti el azt, hogy ezek a kiválasztottak fennmaradhatnak?

Milyen körülmények határozzák meg számukra a harc kimenetelét? Nyilvánvalóan a saját kiválóságuk, szerveződésük tökéletes-

sége; tökéletességen értjük — mint már mondtunk — a szerv alkalmazkodását a működéséhez, s a szervezetét a környezetéhez. Azt, hogy ez a tökéletesség miben nyilatkozik meg, a legtöbb esetben még csak észre sem vehetjük, az azonban könnyen érthető, hogy a tökéletesség ilyen eltérő lehet; s a különböző esetekben azok a tulajdonságok, amelyek a létért folytatott harcban felülkerekednek, egymással is homlokegyenest ellentétesek lehetnek. Az egyik esetben azért az a növény a kiválasztott, amelyik a többinél gyorsabban növekedett, hamarabb ült le az élet terített asztalához, s így helyet biztosított magának. Más esetben a helyzet éppen megfordítva alakul: az a növény a kiválasztott, az marad meg, amelyik a többinél későbbben fejlődött ki és így megmenekült azoktól a későtavaszi fagyoktól, amelyek túlságosan igyekvő társait elpusztították. A *létért vívott harc* és annak az a szükségszerű következménye, hogy a tökéletesebb megmarad, vagy amint Darwin képletesen kifejezte: a *természetes kiválogatódás*,<sup>1</sup> a szerves lények gyors szaporodásának logikus és szükséges következménye. A harc és a kiválogatódás tényére azonban nemcsak ilyen deduktív természetű bizonyítékokat lehet felhozni. A közvetlen megfigyelés ugyanilyen eredményre vezet. Ha valamelyik virágos növény, például a borsóka-bükköny különböző színárnyalatú magvait minden évben összegyűjtjük és ugyanabban az ágyásban elvetjük, néhány év alatt megfigyelhetjük, hogy bizonyos színárnyalatok kiszorítják a többieket. Ebből nyilvánvaló, hogy a még olyan jelentéktelennek látszó bélyeg, mint a színárnyalat (és természetesen az ahhoz kapcsolódó, de a közvetlen megfigyelés alól kibúvó tulajdonság is) felülkerekedhetik a létért vívott harcban. Hasonló eredményre jutunk a természetes rétek kísérleti trágyázásával kapcsolatban is. Tudjuk, hogy a nitrogéntartalmú trágyák, valamint a foszforsavat és káliumot tartalmazó ásványi sók kétségtelenül hasznos és minden növény számára szükséges táplálékot foglalnak magukban. Ha azonban olyan természetes rétet trágyázunk, amelyet bizonyos százalékban füves és bizonyos százalékban pillangósvirágú növények népesítenek be, megfigyelhetjük, hogy kizárólag nitrogéntartalmú trágyázás mellett a füves növények legyőzik és fokozatosan kiszorítják a pillangósvirágúakat, viszont fordítva, nitrogénmentes trágyázás mellett a pillangósvirágúak vannak előnyösebb helyzetben. Mind a kétféle trágyázás hasznos mind-

<sup>1</sup> A kiválogatás szónak ez a képletes, metafóraszerű alkalmazása — mint már említettük — sok kritikust félrevezetett. Azt állították, hogy Darwin a természetnek tudatos cselekvést tulajdonított, amint azt a kiválogatás szó is mutatja. Kezdetben csak kevésbé értelmes emberek eshettek ebbe a tévedésbe. Ma már azonban Darwin magyarázatai után csak azok folyamosodhatnak ilyen cselekvésekhez, akik nem válogatósak a vita eszközeiben. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

két fajtájú növényre, de eltérő mértékben; és ennek az eltérésnek a következményeként a létért vívott harc hol az egyik, hol a másik csoport javára dől el. Végül emlékezzünk csak vissza arra, hogy a földművesnek mekkora erőfeszítésre van szüksége ahhoz, hogy távol-tartsa a szántóföldjeiről a gyomnövények tömegeit. Ebből is megérthetjük, hogy az általunk termesztett növényeknek mekkora harcot kellene vívniok, ha sorsukra hagynánk őket, s hogy ebben a harcban minden bizonnyal alulmaradnának. A létért vívott harc tényét tehát, amely matematikai bizonyossággal következik abból a törvényből, hogy az élőlények mértani haladvány arányában szaporodnak, a közvetlen tapasztalat is bizonyítja. Ez a harc éppen ilyen logikai szükségszerűséggel vezet a természetes kiválogatódáshoz, azaz a tökéletesedéshez, noha ezt a folyamatot minden egyes nemzedékben nem kísérhetjük figyelemmel. Ha ezenfelül azt is tekintetbe vesszük, hogy a geológia tanúsága szerint szinte mérhetetlen idő telt el a szervezeteknek a Földön történt megjelenése óta, akkor bizonyára könnyen egyetértünk abban, hogy a kiválogatódás folyamata — amely megfoghatatlan következetességgel és hosszú időn keresztül érvényesül — tökéletesen megmagyarázhatja mind a szerves anyagok sokféleségét, mind alkalmazkodásuk tökéletességét.

Ezek szerint a szervezetek képződését s a tökéletességhez való folytonos közeledését úgy tekinthetjük, mint a szervezetek három alaptulajdonságának logikailag szükségszerű következményét. Ez a három alaptulajdonság a következő : a megváltozásra való képesség, elváltozások átöröklésének képessége, vagyis az öröklékenység és végül a szaporodás képessége, amely elválaszthatatlanul összekapcsolódik a reprodukcióval.

A szervezetnek a megváltozásra való képessége nem kétséges. Nem ismerünk két tökéletesen egyforma lényt. Azok az okok azonban, amelyek ezeket a változásokat előidézik és a megváltozásra való képességnek a kiválogatódáshoz való viszonya is, bizonyos magyarázatot kívánnak. Az a kiinduló ok, amely a szervezet megváltozását elindítja, szükségszerűen a külső körülmények közvetlen vagy közvetett hatása, majd a másodlagos hatások sora, az egyes részek fejlődésének, a szervek használatának különböző aránya volt. A legtöbb esetben azonban igen nehéz lenne kimutatni a megváltozás és az azt előidéző hatás között a kapcsolatot ; ilyenkor a megváltozást véletlennek nevezzük. A tudomány persze nem ismerheti el a szó szoros értelmében a véletlen jelenségeket. Egyes jelenségeket csak addig nevezünk véletlennek, amíg szükségszerű okukat még nem ismerjük. Azt a nehézséget, amelybe akkor ütközünk, amikor a megváltozást és az azt előidéző ok kapcsolatát próbáljuk kideríteni, leginkább két körülményre vezethetjük vissza: az egyik, hogy mire az eltérést fel-



fedeztük, már késő van, elkéstünk az ok keresésével; a másik, hogy a külső tényezők ritkán hatnak tartósan a teljesen kifejlődött szervezetre, hanem valószínűleg sokkal többször a kezdődő, még fejlődésben lévő szervezetre. Ez érthető, mert minél korábbi a hatás, annál mélyrehatóbb következményekkel jár. Annak bizonyítására, hogy mennyire mélyre hatnak a lét első pillanataiban fellépő okok, elég ha arra utalunk, hogy egyes eltérő alakokat másként, mint ivartalan szaporítással, nem is lehet örökíteni, mert az ivaros szaporodás folyamatában a másik szülő hatása elég erős ahhoz, hogy áthassa az egész szervezetet és megakadályozza a kívánatos tulajdonság átadását. A változékonyság egyik másodlagos okát az úgynevezett »arányos fejlődés« törvényében kell keresnünk; ennek a törvénynek értelmében az egyik rész túlságos kifejlődése a másik rész fejlődésének elmaradásával jár. A szervezetnek egy adott pillanatban meghatározott mennyiségű tápanyag áll rendelkezésére, s mint Goethe mondta: »ha ebből az egyik irányban bőkezűen osztogat, azt a másik irányban meg kell takarítani«. Végül az egyszer már kialakult szerv nyilvánvalóan éppen a használat következtében továbbfejlődhet.

A fizikai körülmények hatására keletkező változások önmagukban véve nyilván közömbösek, de mégis hasznosak vagy károsak lehetnek a szervezetre. A létért vívott harc és a kiválogatódás azonban a megváltozást meghatározott irányba tereli, mert elpusztítja a káros és megerősíti a hasznos eltéréseket. Ennek folytán a nemzedékek hosszú során felgyülemlett, alig észrevehető változások végül is jelentékeny méreteket öltenek. Keressünk példát arra, hogy ebből a jelenségből mennyi esik a változékonyságra és mennyi az ezt követő kiválogatódásra. Az előbbieken megkíséreltük megmagyarázni, hogy miként alakul ki a részarányos virág a szabályos virágból és ezzel kapcsolatban az átmeneti alakok egész sorát mutattuk be. Ezzel azonban természetesen még nem magyaráztuk meg a részarányosság keletkezésének kezdetét, a szabályostól való első eltérést. Igen valószínű, hogy ezt az első változást a fejlődő világra ható nehézkedési erő idézte elő. Láttuk,<sup>1</sup> hogy a növekedő szervek a nehézkedési erő hatására megváltoztatják növekedési irányukat, s hogy e változást a szerv felső és alsó részének nem egyenletes növekedése okozza. Ez a hatás másképpen is megmutatkozik: a vízszintesen terjeszkedő ágak felső és alsó részei egyenlőtlenül növekednek; a főszáron a levelek minden oldalon egyenletesen, a vízszintes ágakon azonban csak egyetlen vízszintes síkban helyezkednek el stb.

Végül a virágon megfigyelhető sok és hasonló tény is ennek a felfogásnak a helyességét igazolja. Megfigyelték, hogy a virágok

<sup>1</sup> Lásd a VII. előadást. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

aszerint, hogy milyen helyzetben ülnek a kocsányon, szabályosak vagy valamennyire részarányosak. Így például a szabályos virágú növényeken az oldalvirágok, amelyek szinte teljesen vízszintes helyzetben vannak, vagy a lecsüngő virágok sokszor bizonyos fokig részarányos alakot vesznek fel, míg ugyanazon a bokron a felső virágok, vagy az egyenesen álló virágok egészen szabályszerű alakúak maradnak. Ezt a jelenséget megfigyelhetjük a harangvirágon, a csuporkán (*Gloxinia*, *Sinningia hybrida hort.*) stb. Ezzel szemben a részarányos virágú növényeken — például az ajakosak, kosborfélék stb. esetében — a felső virág egészen szabályos alakot vesz fel. Ezzel a jelenséggel találkozunk a zsályán is; virágzatában minden oldalsó virágnak jellegzetesen kétajkú alakja van, a felső virág azonban néha egészen szabályszerű alakot ölt. A megfigyeléseknek ezeket az adatait az utóbbi időben sikerült egyenesen kísérletekkel is megerősíteni. A VII. előadásban ismertetett eljárásokkal kikiűszöbölték a nehézségi erő hatását s így sikerült részarányos virágokat szabályszerű sugaras virágokká átalakítani. Ezek szerint a virágban a hosszanti részarányosság első jelentkezését a nehézkedési erő hatásának tulajdoníthatjuk, a további a kiválogatódás feladata. Minthogy egyrészt kétségtelen, hogy a rovarok által elvégzett keresztező beporzás előnyös a növényre, s hogy abból erősebb, egészségesebb utódok származnak, másrészt az is nyilvánvaló, hogy a virágokat a virágméz gyűjtése céljából látogató rovarok a virág alsó ajakán kényelmes elhelyezkedést találnak, természetes, hogy a létért vívott harcban minden nemzedék során egyre növekedő valószínűséggel éppen azok a virágok maradhatnak meg, amelyeken az a kettősajkú alak a legkifejezettebb. Ugyanígy, részben a nehézkedési erő közvetlen hatására, részben a fent már említett arányos fejlődési törvény következtében, először csak az egyik, majd később mind a három felső porzó elcsökevényesedik, míg ugyanakkor a két alsó megnövekedik és a kiválogatódás eredményeként a növény számára hasznos sajátos alakot vesz fel. Ebből a példából azt láthatjuk, hogy a legbonyolultabb forma keletkezését is megmagyarázhatjuk azzal, ha kimutatjuk, hogy az első változás fizikai erők hatása folytán jött létre (tehát olyan erők érvényesülése következtében, amelyek ritkán hatnak a teljesen kifejlődött szervezetre, hanem sokkal inkább a fejlődő szervezetre), ha igazoljuk továbbá, hogy vannak fokozatos átmeneti formák, s végül — ami a legfontosabb — ha bebizonyítjuk, hogy az átalakulás előnyös a növényre, így tökéletesen érthetővé válik, hogy ez a forma a *természetes kiválogatódás* következtében létrejöhetett, sőt ennek kellett létrejönnie.

Az a magyarázat tehát, amelyet Darwin ad a szerves világ

harmóniájáról, vagy tökéletességéről, nem követeli meg, hogy a szervezetnek a tökéletesedésre való törekvését mint valamilyen sajátos folyamatos mozgást *a priori* elismerjük. Ellenkezően: ennek az elméletnek értelmében s a valósággal összhangban a változások maguk közömbösek, éppen annyira lehetnek hasznosak, mint károsak. A kiválogatódás hatása azonban minden hátrányos változást — éppen hátrányossága miatt előbb vagy utóbb kiküszöböl, minden előnyös változást pedig átad az utódoknak. Az előrehaladást, a tökéletességhez való törekvést az biztosítja, hogy minden, ami hátrányos, kiküszöbölődik s ami hasznos, lassan, fokozatosan felhalmozódik. Így tehát a szerves világ tökéletessége nem megmagyarázhatatlan s érthetetlen cél, hanem hitelt érdemlő, közismert okok teljesen érthető eredménye.

Darwin szerint a biológiai harmónia annak következménye, hogy minden diszharmónia, vagyis minden, ami a szervezet és környezete egyensúlyának alaptörvényeivel nem fér össze, kiküszöbölődik . . .

Darwin szerint — aki elfogadta a szerves alakok korlátlan változékonyságát — ez az egyensúly mozgékony, a harmónia mindig előrehalad és soha nem ér határt. Ha azonban a harmónia nem mozgékony és nem állandó, akkor nem lehet feltétlen sem. Ez így is van: a természetben nincs abszolút tökéletesség. Joggal tartjuk azt, hogy a legtökéletesebb szerv a szem. Mégis az a Hermann V. Helmholtz, aki ebben a kérdésben a legfőbb szakértő és aki ezenfelül az üres szólamokat sem szereti, azt mondta, hogy ha egy látszerész ilyen fogyatékos műszert szállítana neki, visszaadná kijavítás végett.

Látjuk tehát, hogy Darwin elmélete a testek alapvető, közismert és mindenki által megérthető tulajdonságaiból indul ki, ezeknek alapján magyarázza meg a szervezet tökéletességének okát anélkül, hogy egyetlen önkényes és alaptalan utalásra szorulna. Ez Darwin elméletének hatalmas fölénye minden régebbi ilyenirányú kísérlettel szemben. A másik nagy előnye az, hogy elmélete javára fordította azt az igen súlyos ellenvetést, amellyel szemben a szerves lények változékonyságának korábbi hívei tehetetlenek voltak. Ez az ellenvetés abban áll, hogy a valódi *jó fajok* között hiányoznak az átmeneti formák. Ha a fajok csakugyan rokoni kapcsolatban vannak, akkor közöttük átmeneti, közbenső formáknak egyesítő láncszemeknek is kell lenniök. Erre Darwin tanítása így válaszol: ilyen formáknak valóban kellett lenniök, de eltűntek, s eltűnésük a létért vívott harc és a kiválogatódás egyik szükségyszerű következménye. Mielőtt ezt a kérdést bővebben kifejtenénk, megemlíjtük, hogy a két eltérő alakot összekötő átmeneti

alakokról gyakran tökéletesen ellentétes elképzelések uralkodnak. Felteszik, hogy az átmeneti alaknak a szó szoros értelmében átlagosnak, közepesnek kell lenni, tehát a két összekötendő alak tulajdonságait egyesítenie kell magában. A valóságban ezzel szemben sokszor sem az egyiknek, sem a másiknak jellegzetes tulajdonságait nem tartalmazza. Gyakran találkozunk ilyenféle ellenvetésekkel is: ha a nyírfa és a tölgyfa valóban rokonok, mutassatok olyan szervezetet, amely félig nyír- és félig tölgyfa. Ilyen szervezet azonban a valóságban, minden valószínűség szerint, sohasem fordult elő. A most élő szervezetek nem azért vannak egymással rokonságban, mert egymástól származtak, hanem mert közös őseik vannak s könnyen úgy lehet, hogy ha megláthatnánk a két mai alak tényleges összekötő láncszemét, azaz azt az ősi alakot, amelynek révén rokonságban vannak, ez utóbbit nem ismernénk fel, mert csupán kis mértékben, vagy talán egyáltalában nem tünteti fel két utódjának jellegzetes megkülönböztető tulajdonságait. Világosítsuk ezt meg a kultúrnövények példáján. A káposzta szervei bámulatosan eltérő módon fejlődnek: egyes fajtánál a megvastagodott leveleiből hajtás alakult: másoknál a szár répaalakúra duzzadt; a harmadiknál a virágzat az ismert húsos szervekké alakul át, a negyedik szára a magasba szökken és elfásul, úgyhogy botot készítenek belőle, az ötödik levelei egészen élénkzintűek stb. Természetesen senkinek sem jutna eszébe, hogy mindezeknek a közös őse, tehát a valódi összekötő átmeneti alak mindezeket a tulajdonságokat magában egyesítse. Valóban a káposzta vadontermő ősfelműjében sem láthatunk egyetlen ilyen szélsőséges tulajdonságot. Eképpen könnyen meglehet, hogy némely esetben a valódi átmeneti forma elkerüli a figyelmünket. Nem kétséges azonban, hogy napjainkban a legtöbb esetben hiányzik az átmeneti forma az egyes fajok között és Darwin elmélete szerint ebben a hiányban a természetes kiválogatódás egyik következményét kell látnunk. Magyarán céljából vegyünk ismét egy hasonlatot a mesterséges kiválogatás köréből. Amikor a káposzta egyes változatai kezdtek kibontakozni, a termelők nyilvánvalóan a legritkább, a legszélsőségesebb képviselőket igyekeztek megtartani. A kelvirág specialistája bizonyára keveset törődött a szárral vagy a levelekkel, főképpen arra törekedett, hogy a virágzat legyen minél nagyobb és húsosabb. S díszes fajták természetűjét viszont csak a levelek színe és alakja érdekelte. Ugyanaz a növény azonban nem adhatott egyszerre kocsányt és botot is. Érthető, hogy azt a növényt, amelyen nem jelentkezett szélsőségesen kifejtett alakban egy-egy tulajdonság, hanem több tulajdonság kevésbé határozott alakban egyesült, a termelők nem kedvelték, sőt kipusztították, s az ilyen növény-

nek el kellett tűnnie. Ilyenképpen az élesebb alakok megjelenése elkerülhetetlenül a kevésbé élesek pusztulásával jár, ennek folytán a szélsőséges alakok között megszakad a kapcsolat és egy egymással nem összefüggő változat keletkezik. Ilyesminek kell végbemennie a természetben vadon élő alakok között is. Természetes állapotban új alak csak akkor keletkezhetik, ha az tökéletesebb, mint a többi s ekkor nyilvánvalóan kiszorítja és túléli a többieket. Darwin azt is kifejti hogy valamennyi lényre előnyös, ha minél inkább különbözik a hozzá hasonlótól, mert minél kevesebb a hasonlóság két forma szükségletei között, annál kevésbé alakul ki közöttük versengés, annál inkább élhetnek egymás mellett ugyanazon a helyen anélkül, hogy egymással harcra kelnének. A földművesek régóta tudják, hogy nem szabad hosszabb ideig ugyanazon a szántóföldön ugyanazt a növényt termesztetni, hanem a növényeken évenként változtatni kell, részben ezen a tapasztalaton alapul a váltógazdaság. Ami érvényes az időre, érvényes a térre vonatkozóan is. A gazdák azt is jól tudják, hogy a réten több széna terem, ha a növényzet különféle fajtákból áll, mintha egynemű lenne. Alig lehet tehát kétséges, hogy az újonnan keletkező alakok kiszorítják, kiüldözik kevésbé tökéletes elődeiket és hogy az egyszerű keletkezett alakok közül azoknak van nagyobb valószínűségük a fennmaradásra, amelyek egymástól leginkább különböznek. Ilyen módon minden szerves alak, amikor megváltozik, alárendeltebb alakokra igyekszik szétbomlani, közben ezek között elszakad az összekötő kapocs, s ennek eredményeként több olyan csoport keletkezik, amelyek elszigetelődnek, amelyek között nincsenek közvetlen átmenetek. Ezek a csoportok azonban hol nagyon közeli hol távolabbi rokonság kétségtelen jeleit viselik magukon, amelyeket azelőtt a *hasonlatosság* bizonytalan kifejezésével, most pedig egyszerűen a *rokonság* megjelölésével illetünk. Szóval a szerves világ egész mai rendszere — a zárt fajokkal, nemekkel és más, nagyobb, de mégis természetes osztályozás törvényeitől függő, csoportokkal együtt — szükségszerű eredménye annak, hogy a szervezetek természetes kiválogatódás útján származtak.

Ezzel lezárjuk az érveknek hosszú sorát, amelyeket a modern biológia, lángeszű képviselőjén, Darwinon keresztül szolgáltathat, a szerves világ tökéletesedésének vagy harmóniájának magyarázatára. Vessünk még egy futó pillantást mindarra, amit erről mondottunk. Az életjelenségek nagy részét egyszerűbb fizikai-kémiai összetevőikre bonthatjuk szét, s így manapság is ható okai-  
val magyarázhatjuk. A formákkal összefüggő csaknem valamennyi kérdés magyarázata végett azonban a történeti okokhoz kell folyamodnunk. Ha ilyen módon kívánjuk a szervezetek tökéletese-

désének kérdését magyarázni, elsősorban azt kell bizonyítanunk, hogy a szervezeteknek valóban van története, azután pedig azt, hogy ez a történeti fejlődésük a tökéletesség felé vezeti őket. A biológia valamennyi ágának — a rendszertannak, az összehasonlító anatómiának, az embriológiának — egybevágó tanúsága meggyőző a szerves élet eredetének egységéről. Ennek a feltevésnek az útjában csupán a faji formák állandóságába vetett hit állott. A faj fogalmának bírálata azonban és még inkább azok az adatok, amelyek emberemlékezet óta kialakult házi fajtákra vonatkoznak, elhárították ezt az akadályt is. Miután meggyőződünk arról, hogy minden érv amellet a következtetésünk mellett szól — és nincs semmi érv ez ellen — hogy a szerves világnak van története, foglalkoztunk ennek a történeti folyamatnak a lényegével is. Kiindulva a szervezeteknek minden kétségen felülálló, tehát bizonyításra sem szoruló olyan tulajdonságaiból, mint a változékonyság az öröklődés és a mértani haladvány szerint növekedő szaporodás, arra a következtetésre jutottunk, hogy a történeti folyamatnak a szervezeteket szükségszerűen a tökéletesedés felé, azaz afelé kell vezetnie, amit Darwin találóan »természetes kiválogatódásnak« nevezett el. Darwin elmélete tehát nem különböző s különleges alakok, vagy egyes részleges esetek magyarázata. Ez az elmélet rámutat, hogy miként kell bármely adott esetben a magyarázatot megkeresnünk. Ha sikerül felfedeznünk a változás kiinduló okát, azután feltárnunk az átmeneti alakok összefüggő sorát (ahogyan példaként a zsálya virágával kapcsolatosan megkíséreltük), akkor még a legbonyolultabb alak származása sem titokzatos többé számunkra. Csupán az idő és a kiválogatódás eredményét látjuk benne, feltéve, hogy ez a bonyolult forma a szervezetre hasznos volt. Érthető tehát, hogy a természettudósok miért üdvözlik Darwin elméletében azt a tanítást, amely a mai fiziológia épületét betetőzi. Ez az elmélet valóban megadja azt a keresett kulcsot a szervezet eredetének és tökéletessége okainak magyarázatához, s eldönti azt a kérdést is, amelyet előadásunk kezdetén tűztünk magunk elé...<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Darwin elméletének teljesebb megismerése céljából az olvasó szíves figyelmébe ajánljuk K. A. Tyimirjavez: »Charles Darwin és tanítása« című könyvét.

Darwin gondolatvilágának fejlődésében új korszakot jelöl meg a szovjet alkotó darwinizmus. Ez az elmélet megvetette a tudományos alapját annak, hogy az állatok és a növények fejlődését irányíthassuk és természetüket az ember számára kívánatos irányban megváltoztassuk. Az olvasó tehát jól teszi, ha ismereteinek kiegészítése végett megismerkedik I. V. Micsurinnak, a természet nagy átalakítójának és nagytehetségű tanítványának s műve folytatójának, T. D. Liszenkónak a munkáival is. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

## A NÖVÉNY MINT ERŐFORRÁS<sup>1</sup>

Vajjon elvész-e bár  
Egyetlen napsugár  
S a Földre hiába száll?  
Vagy újjászület tán,  
Titkon átalakulván,

-----  
Smaragd levelekben?

Scserbin

Mindenki tudja, sőt nemcsak tudja, de tökéletesen megérti, hogy ha az ember éhezik, akkor le is fogy. Ez a tény nemcsak közismert, hanem mindenki által érthető is, mert a legegyszerűbb gondolkodás is könnyen megtalálja a logikai kapcsolatot a két jelenség: a fogyás és a táplálékhiány között. Az ember teste — mint minden a világon — elhasználódik és fogy. A fogyást táplálékkal pótoljuk.

Nem nehéz elképzelni, hogy a táplálék egy része testünk anyagává alakul át, noha még sok időbe kerülhet, amíg a tudomány ennek az átalakulásnak minden részletét tisztázza.

Hasonlóképpen közismert, bár távolról sem annyira érthető a táplálék hatásának másik oldala, a szervezetre gyakorolt másik hatása. A táplálkozás hiánya, vagy az elégtelen táplálkozás, erőnk hanyatlását idézi elő. Az éhező állatnak, az éhező embernek nincs ereje. A táplálék visszaadja az erőt és erősít. Minél nagyobb munkát végez a szervezet, annál több táplálékra van szüksége. Mindannyian tudjuk, hogyha a lóra erős munka vár, munkájában azzal segítjük, hogy felemeljük a zabdagját. Ez a tény közismert, de megértéséhez már nem elég a józan felfogás.

Látjuk tehát, hogy a táplálék nemcsak arra való, hogy testünk élő mechanizmusát felépítse, hanem arra is, hogy ezt a mechanizmust mozgásba hozza. Az ember vagy az állat a táplálkozással nemcsak a testét tartja fenn, ami különben magától értetődik, hanem az erejét is, ami viszont magyarázatra szorul. Kérdés tehát: miféle erő rejtőzhet egy marék zabbban, egy darab kenyérben vagy húsban?

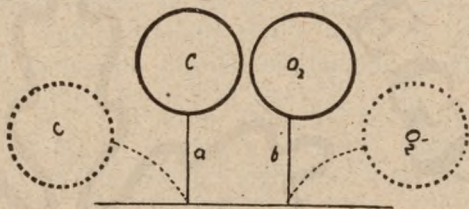
<sup>1</sup> Nyilvános előadás, amelyet a szerző a szentpétervári műszaki társaságban 1875-ben tartott meg. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

A válasz erre a kérdésre egyáltalában nem egyszerű, sőt talán maga a kérdés sem vetődik fel mindenkiben.

Ha kielégítő választ keresünk, elsősorban meg kell ismerkednünk a növényi anyag tulajdonságaival és eredetének körülményeivel. Azt mondtuk: növényi anyag, mert nyilvánvaló, hogy az állati anyag is közvetve a növényből származik. A hús sem egyéb, mint az állati szervezet által feldolgozott fű és mag.

Mielőtt azonban feladatunkhoz hozzáfognánk, néhány általunk használt fogalom pontos értelmét kell tisztáznunk. Először is mit jelent az erő? Megpróbáljuk ezt néhány példával megmagyarázni. A tudományos igazságok ilyen magyarázatát persze nem tartjuk a legpontosabb eljárásnak, viszont ez a magyarázat a legkönnyebb és a leggyorsabb, tehát a jelen esetben a legalkalmasabb.

Az erő fogalmát az ember saját tapasztalata alapján, saját érzékeléseinek segítségével állítja fel. Erőnek nevezi azt az önmagában tudatosított képességét, amellyel mozgást idéz elő vagy állíthat meg, vagy általában akadályokat küzdhet le. Ha ezt a fogalmat a külső



71. ábra

természetre kiterjesztjük, erőnek vagy erőknek nevezzük, a jelenségek előttünk ismeretlen okait; tehát általában a mozgást. Lássuk az erő megjelenésének néhány esetét. Kezdjük a legismertebb erővel, izmaink erejével.

Képzeljünk el két golyót, amelyek két acélrúgóra vannak erősítve, s C és  $O_2$  helyzetben vannak (71. ábra).

Ha ezeket a golyókat C' és  $O'_2$  állásba akarjuk széttolni, erőt kell kifejtenünk, erőt kell fogyasztanunk. Ha leküzdjük a rúgó ellenállását és elszakítjuk az egyik golyót a másiktól, a mechanika kifejezése szerint *munkát* végzünk. Ugyanúgy munkát végzünk, ha a súlyt felemeljük, leküzdjük azt a törekvést, hogy a földre essék, szinte elszakítjuk a föld színétől. A súlyemelés a munka leg egyszerűbb példája; ilyen munkát végez például a teherhordó. Tudjuk, hogy az ilyen munkában annál több erőt kell felhasználni, minél nagyobb a felemelendő súly és minél nagyobb a magasság, amelyre a súlyt emelni kell. A munka egysége a súlyegység — font, pud, kilogramm — felemelése a hosszmérték egységének — lábnak,<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 1 orosz láb = 0,305 méter. — Szerk.



méternek — megfelelő magasságra: a munka mértékegysége, a pud-láb, vagy a kilogramm-méter — tehát a mechanikai munkának az az egysége, mellyel összehasonlítunk, melyre visszavezetünk minden egyéb munkát.

A golyók széttolásával ezek szerint munkát végeztünk, s közben bizonyos erőmennyiséget veszítettünk, amelyet az elvégzett munkával mérünk meg. A rúgókon álló golyók a legegyszerűbb dinamométert, vagy erőmérő készüléket képviselik. Lássuk azonban, mi történik a golyókkal. Kölcsönös helyzetük megváltozott s ugyanakkor fellépett bennük az a lehetőség is, hogy külső erő hatása nélkül mozgásba jöhetnek. Elég, ha levesszük róluk a kezünket, tehát nem fejtünk ki semilyen erőfeszítést, s a golyók máris mozgásba jönnek, visszatérnek eredeti helyükbe, s erővel egymáshoz ütődnek. A golyókban tehát, abban a helyzetben, amelybe kezünkkel hoztuk őket, erő van, ez az erő az eredeti helyzetben nem volt meg bennük. Az erő tehát rejtett állapotban van és készen áll arra, hogy bármely pillanatban mozgás alakjában jelentkezék.

Ez az egyszerű példa szemléltető módon két különböző állapotot, szinte két erőtípust mutat be; a nyilvánvaló, nyílt, aktív, a *mozgásban* (kezünk, a golyók mozgásában) *megnyilatkozó* (kinetikai) erőt és a lappangó, tartalék alakjában nyugvó *helyzeti* (potenciális) erőt, vagyis a megfeszült rúgó erejét. Ha körülnézünk, léptenyomon hasonló jelenségekre bukkanunk. Ilyen a leeső súly ereje és annak a súlynak ereje, amely leeshet, az elengedett vagy megfeszített húr ereje. Mindezek a mozgási és a helyzeti erő példái. A leesett súlyban, az ernyedett íjban viszont egyáltalában nincs erő, sem működésben, sem tartalék alakjában.

Nyilvánvaló, hogy a két erőtípus lényegesen különbözik egymástól. A második esetben valójában nincs is erő, csak az erő fellépésének *lehetősége*. Ha el akarjuk kerülni az abból eredő homályosságot, hogy ugyanazzal a kifejezéssel két eltérő fogalmat jelölünk meg, használjuk az általánosabb *energia* kifejezést. Energián általában a testnek azt a képességét értjük, hogy munka végzésére képes. Ezzel a képességgel a test vagy mozgásánál vagy helyzeténél fogva rendelkezik: (a magasba emelt súly, a széthúzott golyók). Az első energiafajta, vagyis a nyilvánvaló energia, a *mozgási energia* elnevezést, az az energia pedig, amely a testek helyzetétől függ, a *helyzeti, potenciális energia* elnevezést kapta. Az utóbbi energia a *lehetőség* vagy a *feszültség* állapotában van. Az energia tehát a *mozgás* alakjában jelentkezik, a *feszültség* állapotában pedig lappang. Mindkét energiafajta kölcsönösen átalakulhat, ezt a golyók szemléltetően be is mutatták. Az a nyílt energia, amelyet a golyók szétválasztására használtunk, nem vezett el, hanem átalakult

helyzeti energiává, a rúgók feszültségévé. Az energiát ebben az alakjában tartalékolhatjuk, megőrizhetjük és azután szükség esetében egyszerre vagy apránként felhasználhatjuk, miután megelőzően visszaalakítottuk nyílt energiává, mozgássá. Naponta félreteszünk ilyen energiátartalékot, amikor felhúzzuk az óránkat s a csavaró kéz mozgási energiája az óra rúgójában potenciális energiává alakul, majd apránként a nap folyamán az óra mutatóinak mozgásában ismét nyílt alakot ölt. Így jár el az az ember is, aki öregségére vagy a nehezebb időkre tartalékol, vagyis átalakítja nyílt energiafeleslegét, mechanikai vagy szellemi energiáját potenciális energiává, hogy aztán felhasználhassa, amikor nyílt energiája majd kimerül. Bármerre tekintünk a természetben, mindenütt ugyanazt látjuk: a mozgás feszültséggé és a feszültség mozgássá alakul. Ha ezeket a változásokat folyamatosan figyelemmel kísérjük, hamarosan meggyőződhetünk arról, hogy az energia soha nem keletkezik és nem tűnik el, hanem örök. Más szóval: rájövünk arra, hogy az az egész munkamennyiség, amelyet adott pillanatban a világegyetem természeti erői elvégeznek és elvégezhetnek, nem gyarapszik és nem csökken, hanem mindig ugyanannyi. Ez a legtágabb fizikai törvényszerűség — amelyet az erő fennmaradásának vagy helyesebben az energia megmaradása törvényének neveztek el — a 19. század tudományának alighanem legnagyobb tudományos eredménye.

Sokszor előfordul, hogy úgy látszik, mintha ez a törvény nem igazolódna be. Néha úgy tetszik, mintha az energia megsemmisülne, a mozgás nem változna át feszültséggé, hanem nyom nélkül eltűnék. Ilyesmit látunk a két golyó esetében is. Széthúzzuk a golyókat, azután elengedjük; ebben az összeütközésben látszat szerint elfogy az egész energia, amelyet a kezünkkel átadtunk. A golyók már nem mozognak, de hiányzik belőlük a mozgás lehetősége is, vagyis a feszültség. Az energia tehát — úgy látszik — eltűnt. Ez azonban csak a látszat. Abban a pillanatban, amikor a golyók összeütköztek (amikor megszűnt a mozgás), másik erő jelentkezett, nyilvánult meg: a hő. Az egymásba ütköző golyók felmelegedtek. Az adott esetben kissé körülményes lenne ennek az állításnak a bebizonyítása, mert a hőmérsékletemelkedés jelentéktelen. Az azonban, hogy a test az ütéstől felmelegszik, senki előtt sem lehet kétséges, aki valaha is csiholt tüzet. Az energia ilyen átalakulásának példáival is lépten-nyomon találkozunk: a fém fúrása közben a fémforgács és a fúró erősen felmelegszik; ha két fát összedörzsölünk, lángra lobbanthatjuk; a hirtelen megállított vonat fékjei szikráznak; a kemény fárgyba ütköző lövedék egyrésze megolvad stb. Ezek a jelenségek, amelyekben a mechanikai erő hővé alakul át,

már régen felkeltették a figyelmet. Ezek a jelenségek több mint két évszázaddal ezelőtt arra indították Robert Boyle-t, a híres tudóst, hogy olyan gondolatot mondjon ki, amely teljes tudományos kifejtését csak most találta meg.

»Ha egy nagy szöveget beverünk a deszkába — írja Boyle — azt tapasztaljuk, hogy sok ütést kell a szögre mérni, amíg észrevehetően felmelegszik. Ha azonban a szöveget egészen a fejéig bevertük, úgyhogy tovább már nem mehet, elegendő néhány ütés ahhoz, hogy forró legyen. Amíg a szög a kalapács minden ütésére mind mélyebbre hatol a deszkába, egész tömegének általános előrehaladó mozgását idézzük elő, ha azonban a mozgás megáll, az ütés által átadott lökés nem hajthatja mélyebbre a szöveget vagy nem törheti szét, s így a részecskék erőteljes belső rázódására kell elhasználnia s ebből a rezgő mozgásból áll, mint látjuk, a hő.«

A modern fizika valóban azt tanítja, hogy a hő nem más, mint a test részecskéinek igen gyors, láthatatlan, de érzékelhető rezgése. Ilyenképpen a kezünk mozgása a golyók látható mozgása révén a golyórészecskék láthatatlan mozgásává alakult át. A golyó ezt a mozgást, vagyis a hőt először a legközelebbi testekkel közölte, majd a hő onnan továbbterjedt és szétszóródott a térben. Szétszóródott, de nem semmisült meg. Az erő tehát, amelyet a golyók szét-húzására fordítottunk, nem tűnt el nyomtalanul. Végeredményben ezzel a munkával a világuirt melegítettük; igaz ugyan, hogy nem mérhető kis mennyiségű hővel, de mégis melegítettük. A kutatások hosszú sora azt bizonyítja, hogy a mechanikai munkának hővé vagy a hőnek mechanikai munkává történő átalakulása közben a mennyiségek között pontos és állandó mennyiségi összefüggést figyelhetünk meg. Bizonyos mennyiségű mechanikai munka, ha hővé alakul át, mindig ugyanazt a hőmennyiséget adja és megfordítva. Ezt az állandó összefüggést kifejező értéket a hő mechanikai egyenértékének (ekvivalensének) nevezzük. Az egyenértéket különféleképpen határozhatjuk meg. A legegyszerűbb, a legkönnyebben érthető, bár nem a legpontosabb meghatározását az alábbiakban ismertettjük. Ez a meghatározási eljárás, amely Gustave Adolphe *Hirn* híres francia fizikadós nevéhez fűződik, általános vonásaiban a következőkből áll: egy nehéz vaskalapács bizonyos magasságból egy üllőre esik; az üllőn ólomdarab fekszik, s ez az ütéstől felmelegszik. A munka egységeként, mint már láttuk, a kilogramm-métert fogadták el, hőegységnek pedig azt a hőmennyiséget, amely egy kilogramm vizet egy Celsius fokkal felmelegít. Ha ismerjük a kalapács súlyát, az esés magasságát, valamint az ólom súlyát és meghatározzuk az ólom felmelegedésének mértékét, végül ha mindezeket felül még néhány olyan adat is rendelkezésünkre áll, amelyeket

ezúttal felesleges ismertetnünk, kiszámíthatjuk, hogy hány munkaegységet fogyasztottunk el, s hogy ezekből hány hőegység lett. A hő mechanikai egyenértékére vonatkozó pontos meghatározások eredménye a 427-es számot adta. Ez a szám jelzi az összefüggést, amelyben a hő mechanikai munkává alakul át és megfordítva. Ez annyit jelent, hogy egy hőegység munkává átalakulva 427 mechanikai munkaegységet szolgáltat, tehát annyi munkát végezhet, ami 427 kg súlynak egy m magasra emeléséhez vagy egy kg súlynak 427 m magasra emeléséhez szükséges. Megfordítva, ha 427 mechanikai munkaegységet vízmelegítésre használnánk fel, egy kg víz hőmérsékletét egy fokkal emelhetnénk.

Sok példát láthatunk arra, hogy a mechanikai erő hővé alakul át. A fordított esetre is gyakran van példa. Az utóbbi egyik legérdekesebb példája a gőzgép. Az a hőmennyiség, amely az égő fűtőanyagból fejlődik, a gőz közvetítésével a gép mechanikai munkájává alakul át. A Nap melege elpárologtatja a vizet a Föld felszínén s arra készíti, hogy mint pára, jelentékeny magasságba emelkedjék, majd a Földre visszahullva, a magaslatookról a síkságra s végül is a tengerbe ömöljék. A víz útja közben azonban mechanikai munkát is végez, például malmokat hajt. Ugyancsak a Nap melege idézi elő a légkörben a helyi felmelegedést s hozza létre ezáltal a mechanikai erő ijesztő megnyilatkozásait, amilyen a vihar vagy az orkán.

Ezek szerint tehát akkor, amikor a hő mechanikai munkává alakul és viszont, mindig pontos mennyiségi arányt követ. Ez a természet egyéb erőire, a fényre, a villamosságra, a vegyrokanságra is érvényes. Valamennyi képes a kölcsönös átalakulásra akár közvetlenül, akár lappangó feszültség alakjában, hogy azután más alakban ismét megjelenjék. Csak akkor győződhetünk meg arról, hogy az energia megmaradásának elve általánosan érvényes, ha az erők kölcsönös átalakulásának ezt a lehetőségét nem tévesztjük szemünk elől.

Szenteljünk egy kevés időt a hő és a vegyrokanság kölcsönös összefüggésére is, mert ez akaratlanul is visszavezet bennünket feltett kérdésünkhöz. A modern kémia mai tanítása szerint a különemű testek atomjai vonzzák egymást és pedig igen különböző mértékben. A különemű testek atomjai úgy igyekeznek egymás felé, mint a leeső test a Föld felé, mint ezek a golyók a rúgók hatására egymás felé. Ez a készülék különben ezt a kémiai tényt is szemléltetően ábrázolja. A C betűvel megjelölt golyó a szenet, az O<sub>2</sub>-jellel ellátott golyó pedig az oxigént jelképezi. A szén és az oxigén atomjai kölcsönösen arra törekszenek, hogy egymással egyesüljenek s ennek eredményeként szénsavat alkossanak, amelyben egy szénatomra két atom oxigén jut (CO<sub>2</sub>). Hasonlóképpen a hidrogénatomok (H)

azt akarják elérni, hogy oxigénatomokkal egyesüljenek és vizet ( $H_2O$ ) alkossanak, amelyben két atom hidrogénre jut egy atom oxigén. Ezzel szemben a szén és a hidrogén vonzóereje egymás iránt aránylag gyöngé, s ha egyesülnek is, mind a két elem az első adódó alkalommal arra törekszik, hogy az oxigénnel egyesüljön, s ezzel szénsavat illetve vizet alkosson.

Az atomoknak egyesülésük közben éppen úgy egymásba kell ütközniök, mint ennek a két golyónak. Amikor azonban a testek összeütköznek, hő keletkezik. Ennek az elvnek érvényesülnie kell az atomok összeütközése során is. Így ütköznek össze a szén- és a hidrogénrészecskék az oxigénrészecskékkal is, s éppen ez az, amit közönségesen égésnek nevezünk. Amikor az acél és a kovakő egymásba ütődnek, fény és hő jelenik meg, ugyanúgy, amikor az oxigénrészecskék azokkal a szén- és hidrogénrészecskékkal ütköznek össze, amelyekből a világítógáz vagy a kőolaj áll, a lángban érzékelhető hő és fény keletkezik. A különbség a két eset között csupán annyi, hogy az első esetben látjuk a mozgást és az ütődést, valamint az azt kísérő jelenséget: a fényt és a hőt is, a második esetben csak a kísérő jelenségeket látjuk, s a következményekből csupán következtetünk az összeütközésre. Az égés előtt szénhidrogén (azaz a szén és a hidrogén vegyülete), világítógáz vagy kőolaj és oxigén volt, az égés után pedig szénsav és víz maradt.

Ezek szerint a szén, a hidrogén vagy vegyületeikben minden atom olyan helyzetben van az oxigénhez képest, mint a C' golyó az  $O_2$  golyóhoz képest. Ugyanúgy, mint az említett golyók, ezek az atomok is feszültségi helyzetben vannak, lappangó *potenciális energiát* képviselnek, amelyet *vegyrokonságnak* (affinitásnak) vagy *kémiai feszültségnek* nevezünk. Az elváló szén- és oxigénatomokban újabb példát láthatunk a lappangó *helyzeti energiára*, amely az összeütközés következtében az égés jelensége során *mozgási energiává*, hővé és fényvé változik át.

A szénatomoknak vagy szénrészecskéknél ez a feszültségi állapota, ez a törekvése az oxigénrészecskék felé nem meglepő, s a mindennapi életben nem is tűnik fel, mert rendszerint lökést kell adnunk ahhoz, hogy a vegyi folyamat meginduljon. Ha el akarunk égetni egy darab szenet, meg kell gyújtanunk azt, tehát az égési folyamatot kívülről kell elindítanunk. A szénnek az a törekvése azonban, hogy az oxigénnel egyesüljön, a legszemléltetőbben az öngyulladás jelenségeiben mutatkozik meg. Régóta ismert tény például az, hogy a kazlakban befülledt széna magától meggyulladhat. Nemrégén Németországban alaposan megvizsgálták egy ilyen esetet. Az erős füstgomolygásról látták, hogy néhány szénaboglyában öngégés lépett fel. Amikor a nagy szénaboglyát széthányták, kiderült,

hogy a boglyák belsejében a széna már egészen elszenesedett, s hogy ez a laza, fényes, a grafithez hasonló szén a levegővel való első érintkezésre lánggra lobbant. Később kiderült az is, hogy ilyen önmagától meggyulladó szenet mesterségesen is előállíthatunk; ha a szénát légmentesen, mondjuk beforrasztott üvegcsőben hevítjük. Az ilyen módon előállított szén nyomban meggyullad, mielőtt levegővel érintkezik. Ilyenféle és ehhez hasonló példák meggyőző módon bizonyítják, hogy az égés, tehát az oxigénnel való egyesülés önmagától, azaz előzetes meggyújtás nélkül is bekövetkezhet.

A szén és a hidrogén külön-külön képes az oxigénnel fény- és hőjelenségek kíséretében egyesülni; tehát kémiai feszültség alakjában energiatartalék van bennük. Ugyanez áll a szén és a hidrogén vegyületeire is és általában minden olyan testre, amely képes az oxigénnel vegyi kapcsolatra lépni, tehát égni. Azok a testek, amelyekből a növények és az állatok vannak — az összes szerves testek — égésre alkalmasak; ezekben a testekben tehát lappangó energiatartalék van.

Ezt az energiatartalékot használjuk fel, amikor a fát vagy a szenet elégetjük gépeinkben. Eközben a kémiai feszültség lappangó energiája nyílt energiává, molekuláris mozgássá alakul át, vagyis hővé változik, amely viszont külső mechanikai munkává, látható mozgássá, például a mozdony mozgásává alakul.

A szén- vagy a hidrogénatomoknak az oxigénatomokkal való összeütközését azonban nem kíséri mindig az erőnek olyan szembe-tűnő felszabadulása, mint az égés folyamatában. Ezek az atomok egyesülhetnek anélkül is, hogy fényt és igen magas hőt fejlesztenének. Ez akkor következik be, ha az atomok egyesülése igen lassan, fokozatosan folyik le. Akár az előbbi, akár az utóbbi esetet vesszük, bizonyos szénmennyiség elégséével a felszabaduló hőmennyiség mindig ugyanakkora. Minthogy azonban a hőmennyiség az utóbbi esetben hosszabb időre osztódik szét, kevésbbé észrevehető. A lassú, csendes égés példája a légzés is. Minden, ami lélelzik, lassan ég, akár ember, akár állat is az. Erről könnyen meggyőződhetünk. Helyez-zünk üvegbúra alá egy égő gyertyát, élő egeret vagy madarat, s hamarosan meglátjuk, hogy az eredmény mindig ugyanaz lesz: a gyertyaláng kialszik, az állat elpusztul s a levegőben, amelyben korábban oxigén volt, de szénsav nem, most szénsavat és az oxigénmennyiség megfelelő csökkenését mutathatjuk ki. Minden állati szervezet szene tehát állandóan egyesül a levegő oxigénjével s az egyesülés, az égés következtében szénsavvá lesz. Oxigént lélelünk be és szénsavat lélelünk ki.

Minthogy az ember teste ilyenformán állandóan fogy, az így keletkező hiány fedezésére táplálék alakjában új anyagmennyiséget

kell felvennie. A szervezetben a táplálék egyik része ugyanazt a szerepet tölti be, mint a fűtőanyag a gépben, vagyis elég; természetesen nem közvetlenül ég el, hanem előbb átalakul testünk anyagává. Azt, amit a szervezet anyagban elveszít, erőben visszanyeri. Claude Bernard, a nagyhírű francia fiziológus szerint élettani axiómának (alapigazságnak) tekinthetjük a következő tételt: »az élő szervezetben az életműködés minden megnyilatkozása szükségképpen a szervezet anyaga egy részének felhasználásával jár«. A szervezetben, mint a gép tűzszekrényében, az anyag egy része elég. Égés közben hő fejlődik, s a hő egy része mechanikai munkává — például izommunkává — változik. Egy font búzakenyérben — Edward Frankland angol kémikus meghatározása szerint. — annyi lappangó energiatartalék van, amennyi körülbelül 75.000 pud-lábnak felel meg. Végére is azonban a szervezet éppen úgy nem képes ezt az egész energiatartalékát hasznos munkává átalakítani, amelyet fűtőanyaga, tehát a szervezet oxidálódó részei szolgáltatnak, mint a gép. Az élettani kísérletek azonban azt mutatják, hogy a szervezet ebben a tekintetben is felülmúlja akármelyik gőzgép hatásfokát.

\* \* \*

Kitűzött kérdésünk megoldásában már annyira jutottunk, hogy tudjuk: milyen erő van a táplálékunkban. Ez az erő a szén és a hidrogén lappangó energiája, amely a levegő oxigénjével mindig kész egyesülni. Ezzel kapcsolatban vizsgálódásaink során újabb kérdés merül fel. Ég a fa, ég az állat, ég az ember, ég minden és mégsem ég el. Felégetik az erdőket és a növények mégsem pusztulnak el. Nemzedékek tűnnek el és az ember él tovább. Ha minden csupán égne, a Föld-színén már régen nem lenne sem növény, sem állat, hanem csak szénsav meg víz.

Nyilvánvaló dolog, hogy a természetben égéssel ellentétes folyamatnak is kell lennie; vagyis a tökéletesen elégett anyagoknak át kell alakulniuk olyan anyagokká, amelyek az égésre már újból alkalmasak. A szénsavképződés mellett meg kell lenni a természetben az ezzel ellenkező folyamatnak is: a mindenütt végbemenő égésből keletkező szénsavnak fel kell bomlania.

Az első, aki ráeszmélt arra, hogy egy ilyen ellenkező folyamat létezése a természetben logikai szükségszerűség, Joseph Priestley, a híres angol természettudós volt. Természetesen ez a gondolat Priestleynél még nem léphetett fel olyan határozott és annyira nyilvánvaló alakban, mint előttünk. Annál bámulatraméltóbb tehát Priestleynek az a ragyogó levezetése és gondolattársítása, amelynek a szerves étellel kapcsolatban a világ egyik legnagyobb

felfedezését köszönhetjük. Priestley egész kísérletsorral bizonyította, hogy meghatározott térfogatú levegőben folyó huzamos légzés vagy égés következtében ez a levegő további légzésre vagy égésre alkalmatlanná válik. A gyertyaláng kialszik, az állat elpusztul az ilyen levegőben. Ilyenképpen — mondotta Priestley — az egész légkörnek hamarosan alkalmatlanná kellett volna válnia az égésre és az életre, a világ pedig hány évszázada áll már, s ilyesmit mégsem tapasztalunk. Nyilvánvaló tehát, hogy olyan folyamatnak is kell lennie, amely a *romlott levegőt* ismét *jó levegővé* változtatja. Vajjon ezt a szerepet nem a növény tölti-e be? 1772. év augusztus hó 18. napján Priestley a következő kísérletet végezte: a víz fölé helyezett üvegbura alá, amely alatt kialudt a gyertyaláng és elpusztult az eger, növényt (mentát) helyezett, s a növényt bizonyos ideig otthagytá. A növény a bura alatt nem pusztult el, sőt továbbfejlődött, s amikor néhány nap elteltével élő egeret, vagy égő gyertyát helyeztek a bura alá, kiderült, hogy a levegő valóban megváltozott, újra alkalmas lett az égés és a légzés fenntartására. Aligha fordult elő valamikor is, hogy az emberi tudás valamelyik területén ilyen egyszerű kísérlet ennyire nagyszabású eredménnyel járt volna. Kiemelkedtek a növény és az állat életének legjellemzőbb oldalai, s megvilágosodott a természet két birodalmának kölcsönös viszonya... A növény a megromlott levegőt a légzésre ismét alkalmassá teszi: ez következik Priestley kísérletéből. Ezután következett az oxigén felfedezése s a szénsav összetételének felderítése. Ezek ismeretében felderíthették a szerves lények két országa között fennálló összefüggések természetét is. Az állat elnyeli az oxigént és szénsavat lélekezik ki; a növény viszont szénsavat nyel el és oxigént lélekezik ki, míg a szén megtartja magának. A növény és az állat ezek szerint kémiai antitézist (ellentétet) alkotnak. Ezt követően a kutatók egész sora igazolta azt, hogy a szénsav felbontási folyamatának a levegő megjavításán felül még fontosabb szerepe is van: ez a folyamat a növényi táplálkozás folyamata. A növényben maradó szén szerves anyaggá válik, vagyis a növény testének építésére szolgál. A levegő szénsava tehát a növény legfontosabb táplálékát jelenti, noha ezt a szerepkört hosszú ideig a talaj feketeszínű televényanyagainak tulajdonították. Ezt a felfogást azonban kétségbevonhatatlan kísérletekkel megdöntötték. Priestleynek különben olyan keserű csalódás jutott osztályrészül, amilyen csak tudóst érhet. A későbbiek során megakarta ismételni azt a kísérletét, amely olyan zajos, de megérdemelt dicsőséget szerzett neki. Kísérletének megismétlésével azonban kudarcot vallott, s a korábbi eredményeket sehogyan sem tudta ismét elérni. A növények következetesen megtagadták a szénsav felbontását és nem váltasztottak ki oxigént sem. Bár a kudarc nem rendítette



meg a korábbi kísérletébe vetett bizalmát, mégis nyilvánvaló volt, hogy figyelmét elkerülte a kísérletnek valamely lényeges része, s ezért nem tudja azt eredményesen megismételni. Azt a körülményt, amely Priestley figyelmét elkerülte, nemsokára felfedezte Jan *Ingen-Housz* holland növényfiziológus. Ahhoz azonban, hogy Ingen-Housz felfedezését kellőképpen értékelhessük, előbb részletesebben foglalkoznunk kell magának a jelenségnek a természetével.

Forduljunk még egyszer, de ezúttal utoljára a golyóink felé. A kémiai folyamatot vagy az égést a két golyó összeütközésével hasonlítottuk össze. A közben felszabaduló hő- és fény mennyiség, a vegyrokonság, tehát a két test egymásfelé törekvése mértékéül szolgál (a golyók esetében ezt a rúgók feszültsége képviseli). Abból a célból, hogy a golyókat ismét elválasszuk egymástól, megszakítsuk közöttük a kapcsolatot, hogy a golyókat a korábbi szabad állapotba hozzuk, erőt kell alkalmaznunk, mégpedig akkora erőt, amekkora az ütközés közben felszabadult. Eszerint nyilvánvaló, hogy az égéssel ellentétes folyamatot nem erőfelszabadulás, erő kifejesztése kíséri, hanem ellenkezően, erőfogyasztás, erővesztés. Míg a vegyülés, az égés önmagától megy végbe, a felbontáshoz, az eredeti állapot helyreállításához külső erő közreműködése szükséges. Ha egy darab szenet akarunk elégetni, csak meg kell gyujtanunk azt, s a szén külső hatás nélkül is tovább ég. Néha — mint láttuk — még magától is meggyullad, mihelyt a levegő oxigénjével érintkezésbe jut. Ezzel szemben a szénsav vagy a víz felbontásához igen magas hőhatásra van szükség. Korábban az a feltevés uralkodott, hogy az ilyen szorosan kapcsolódó vegyületeket nem is lehet felbontani olyan harmadik test közreműködése nélkül, amely az oxigénnel szoros vegyrokonságban van, s ennél fogva elvonja az oxigént a hidrogéntől és a széntől. Aránylag nem is olyan régen azonban a kémikusok figyelme a harmadik test közreműködése nélkül végbemenő vegyi bomlás felé irányult; ez a jelenség az úgynevezett szétesés vagy *disszociáció*. Ha a szénsav vagy a víz disszociációját akarjuk előidézni, vezessük át ezeket izzó csövön. A vegyületek részecskéi a hő hatására mozgásba jönnek, a vegyületek mintegy fellazulnak, alkatrészeikre esnek szét. Ezeket az egymástól szétvált alkatrészeket, mihelyt megjelennek, el kell távolítani, mert ellenkező esetben újból egyesülhetnek egymással, s a szétbomlás tökéletlen marad. Az egyesülés közben fejlesztett hő és a vegyi bomlás közben elnyelt hő mennyisége között szigorúan meghatározott összefüggés áll fenn. Ahány egységnyi hő választódik ki egy font szén szénsavvá való elégetése közben, ugyanannyi egységnek kell elnyelődnie azalatt, amíg szénisavból egy font szenet kiválasztanak (redukálnak).

Ilyen módon közvetlen úton is eljutunk arra a megállapításra, hogy a növényben végbemenő szénsav-felbontást hőelnyelésnek vagy általában energia elnyelésének kell kísérnie, s hogy az elnyelés mértékét azzal a szénmennyiséggel határozhatjuk meg, amely a bomlás következtében a növényben lerakódik. Kérdés azonban, hogy honnan veszi a növény az ehhez szükséges energiát? Önmaga energiát nem hozhat létre, hiszen energia nem keletkezik. Nyilvánvaló tehát, hogy az energiát kívülről kell kapnia. A növényben a szénsav felbomlása csak úgy mehet végbe, ha valamely külső forrásból állandóan energia áramlik a növény felé. Ez az energiaforrás az a feltétel, amely Priestley figyelmét kísérletei közben elkerülte és amelynek felfedése Ingen-Housz érdeme. Ingen-Housz bebizonyította, hogy a növényben a szénsav csak a napfény hatására bomlik szét. Priestley utolsó kísérleteiben a növény nem kapott elegendő fényt, s ezért nem bontotta fel a szénsavat.

A napfény, a napsugár az az erő, amely fellazítja, elválasztja egymástól a szén- és az oxigénrészecskéket, amikor a növény a szénsavat felbontja. Aki még nem szokott hozzá, különösnek tarthatja ezt a kifejezést: a napsugár — erő. A mindennapi tapasztalatból csak annyit tudunk, hogy kellemes dolog a napfényben sütkérezni, s hogy a napsugár melege annyira fokozódhatik, hogy már nem is kellemes. Ahhoz azonban a következtetések és számítások hosszú láncolatára van szükség, hogy arról is meggyőződhessünk: a Nap nemcsak erő, hanem igen hatalmas erő, sőt szinte az egyetlen erő, amelyet az ember céljaira felhasznál. Valóban a tenger árapályán felül, amelyet Európa néhány kikötőjében hasznosítanak, s amely a Hold (és a Nap) vonzóerejének hatásából származik, minden más motor, vagy bármely erőforrás, közvetlenül vagy közvetve a napsugár erejétől függ. A folyóvizekben a víz esése, a légkörben a levegő mozgása, amellyel vízimalmokat, illetőleg szélmalomokat tartanak mozgásban, a Nap erejére vezethető vissza. Az a lappangó energia, amelyet a fűtőanyag tartalmaz — mint már láttuk és részletesebben majd még látjuk — szintén a Naptól származik. Még a látszólag olyan messzemenő jelenség, mint a gyakorlati céljainkra felhasznált villamosság is a Nap működésével függ össze. A galván-elem révén előállított Volta-ívben<sup>1)</sup> is valójában a Nap fénye világít, s ezt nem nehéz bizonyítani. A szénpálcát áttüzesítő villanyáram abból származik, hogy a galvánelemekben bizonyos mennyiségű cink oxidálódik, ég el. A cink azonban a természetben tiszta fém állapotában nem fordul elő, hanem csak oxigénes vegyületei vannak, tehát elégett állapotban található. Abból a célból tehát, hogy sav-

<sup>1)</sup> Az elektromos fényív jelenségét elsőként V. V. Petrov orosz kutató fedezte fel 1802-ben. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

mentesítsük, vagyis az égésre újból alkalmassá tegyük, ki kell vonnunk belőle az oxigént. Ezt szén segítségével érjük el, amely a cinkércből elvonja az oxigént, s közben maga szénsavvá oxidálódik. A szén azonban, akár faszén, akár kőszén, a növényben olyan szén-savból származott, amelyet a napsugár bontott fel. Ime, ez az a hosszú út, amely a napsugarat a villamos fényívvvel összeköti. A napsugár nyílt energiája, amelyet a növény a szénsav felbontásához használt fel, a lappangó helyzeti energia alakját öltötte; ilyen energia van a szénsavból kiválasztott (redukált) szénben. A szénnek ez a helyzeti energiája a cinkérc redukálása során a cinkbe ment át; a szén elégett, de olyan cinkfém állott elő, amely maga is éghető. A galvánelemben viszont a cink oxidálódik, elég s helyzeti energiája nyílt alakot ölt az elektromos áramban, amely viszont izzásba hozva a szénpálcát, fény alakjában jelentkezik. Az energiaátalakulások ilyen bonyolult láncolata köti össze a Földön lejátszódó jelenségeket a Nap működésével. A Nap sugárzó erejéről határozottabb képet alkothatunk, ha hozzávetőlegesen megbecslüljük azt az erőmennyiséget, amelyet a Nap szolgáltat. Ha meghatározzuk, hogy a Nap egy  $m^2$  földfelületre hány egység meleget sugároz, s ha ismerjük a hő mechanikai egyenértékét, a napsugár energiáját mechanikai munkaegységekben is kifejezhetjük. A *Mouchot* számításai szerint azzal a napsugármennyiséggel, amely Párisban derült napon nyolctíz óra alatt egy négyzetméter felületre jut, annyi munkát lehetne elvégezni, amely körülbelül egy lóerőnek felel meg. *John Erichson* kiszámította, hogy ha mindazt a napmeleget, amely Philadelphiában a házak tetéjére esik, felhasználhatnák, azzal ötezer, egyenként húsz lóerős gőzgépet hajthatnának. Kiszámította továbbá, milyen ijesztően nagy számot képvisel az a hőmennyiség, amely egy négyzetmérföldre jut és így kiáltott fel: »Archimedes emelőkarral akarta a világot kiemelni a sarkaiból. Én pedig azt állítom, hogy a Nap melegének összegyűjtésével akkora erőt kaphatnánk, amellyel a Földet pályáján megállíthatnánk.«

A. *Mouchot* és *Erichson* különben nemcsak a számításokkal foglalkoztak, hanem olyan kísérleteket is végeztek, amelyek szemléltető módon példázták, hogy mekkora erőtartalmat jelent a napsugár. A. *Mouchot* néhány egyszerű készüléket szerkesztett, amelyeken pusztán a napsugár melegével vizet forralhatunk, levest, főzeléket főzhetünk vagy kenyeret süthetünk. Végül néhány olyan gőzgépet és léghőmotort is szerkesztettek, amelyeket a napsugár hoz mozgásba. *Mouchot* valamennyi javaslata közül, amely a napenergia felhasználására irányul, bizonyára a legérdekesebbek a szántóföldek öntözésére szolgáló napszivattyúk. Ezek a szivattyúk nemcsak ingyenes erővel működnek, hanem igen célszerűen alkalmazkodnak

a mindenkori vízszükséglethez is, mert annál több vizet szolgáltatnak, minél erősebb a napfény, tehát minél nagyobb a szárazság.

Az elmondottak bizonyára eléggé meggyőzőek arra nézve, hogy a napfény hatalmas erőforrás, s hogy a napfény az az erő, amely a növényben a szénsavat felbontja. A növény maga nem képes az ehhez szükséges erőt szolgáltatni; a növény — hogy úgy mondjuk — csupán mechanizmusként, átvitelként szolgál a Nap erejéhez.

Akár fizikai, akár kémiai nézőpontból tekintjük tehát: a növény és az állat tökéletes ellentétek. A növény élete a napsugár energiájának állandó átalakítása kémiai feszültséggé; az állat élete pedig ennek a kémiai feszültségnek átalakítása hővé és mozgássá. Az egyikben felhúzzák a rúgót amely a másikkban lejár.

\* \* \*

Ne higgyjük azonban azt, hogy a napfény jelentőségével azonnal tisztába jöttek, mihelyt Ingen-Housz felfedezte a napfény szerepét a szénsav felbontásának folyamatában. Fél századnál hosszabb idő telt el, mire valóban tudományos, mechanikai képet tudtak alkotni erről a folyamatról. Ezt az eredményt a tudomány elsősorban Julius Robert Mayer és Hermann v. Helmholtz kutatásainak köszönheti. Korábban csupán valami jótékony, de érthetetlen fényhatásra gondoltak. Mayer mondta ki először határozottan azt a gondolatot, hogy a napfény nemcsak hat, hanem maga is elhasználódik, a napfényt a növény a szó szoros értelmében elnyeli, a napsugár eleven ereje a folyamat közben kémiai feszültséggé alakul át; ő mondta ki, hogy ezt a tartalékot a napfény-energiát használjuk fel a fűtő anyagokban vagy szervezetünk életfolyamataiban stb. Engedjük meg azonban, hogy maga Mayer beszéljen kissé cikornyás, de irodalmi, s képekben gazdag nyelven: »A természet — mondja — láthatóan feladatának tekinti, hogy a nyáron a Földre özönlő fényt felfogja, s ezt az erőt, amely minden erő között talán a legmozgékonyabb, mozdulatlan erővé alakítsa át és ebben az alakban megőrizze. Ennek elérésére a Föld színét olyan szervezetekkel népesítette be, amelyek életük során elnyelik a fényt és ennek az erőnek a révén állandóan növekvő kémiai feszültség-tartalékot halmoznak fel. Ezek a szervezetek a *növények*. A növényvilág az a tárház, amelyben a napsugarak későbbi felhasználására megmaradnak és elraktározódnak. A természet háztartásának ettől a gondoskodásától függ az emberiség fizikai élete, s ha csak rápillantunk a pompás növénytakaróra, önkéntelenül is jóleső érzés keletkezik bennünk.«

Ilyenképpen a szénsav felbontásában és a növény szerves tömegének létrejöttében megtalálhatjuk mindazokat a kellékeket, ame-

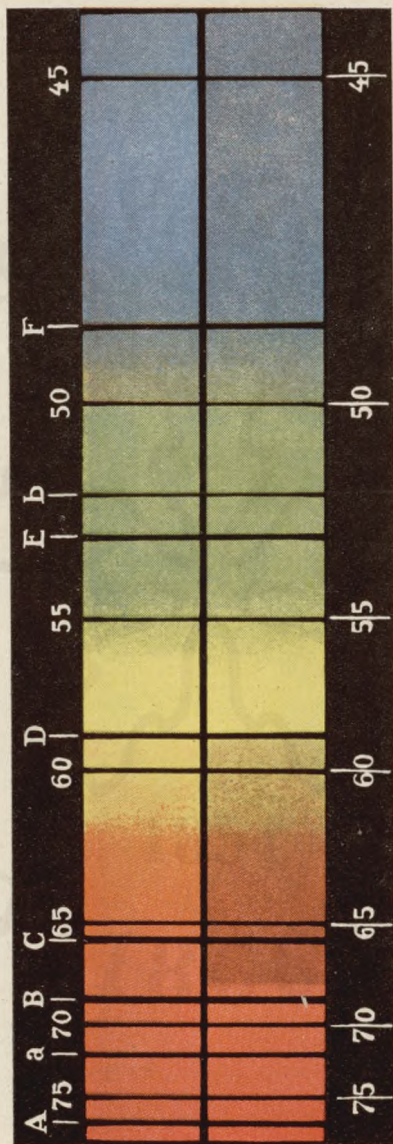
lyek valamely műszaki üzemhez szükségesek. Van hajtóerőnk: ez a napsugár; van gépünk, amelyet ezzel az erővel meghajtunk: ez a növény; van nyersanyagunk: a szénsav; végül kész termékünk: a növény szerves anyaga.

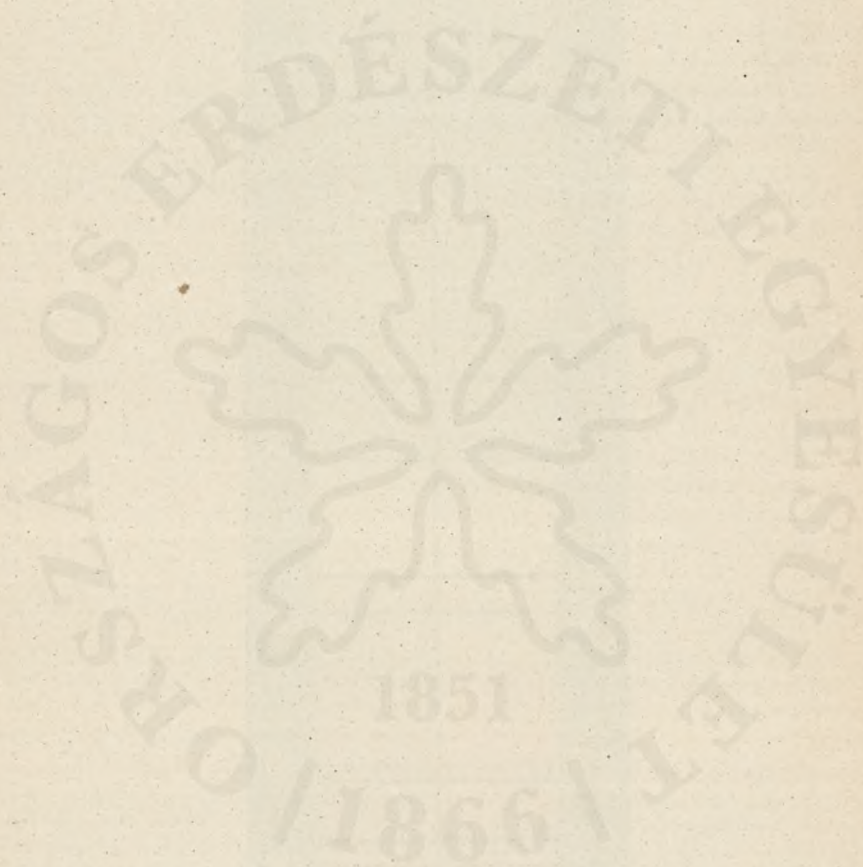
Vizsgáljuk meg közelebbről e folyamat mechanizmusát.

Ismerkedjünk meg elsősorban az erőforrással, a napsugárral. Tudjuk, hogy a napsugár vagy más fehér fényforrás sugara nem egyenmű. Ezek a sugarak számos különféle sugárból vannak összetéves az alkotó sugarak többek között színre is különbözők. Általában hét különböző színű sugarat különböztetünk meg. Ezek a színek a szivárvány színei: vörös, narancs, sárga, zöld, világoskék, sötétkék, ibolya. A fehér színt legkönnyebben üveghasábbal, prizmával bonthatjuk szét a hét alapszínre. Ha a napsütéses oldalon az ablak redőnyén keskeny rést nyitunk, a résen keresztül behatoló napsugarak a padlón világos fényfolt alakjában a nap képét adják. Ha azonban a rés elé élével lefelé prizmát állítunk, a kép a falra vetődik s a kerek fényfoltból sáv lesz, amelynek színei a szivárvány imént felsorolt hét színét mutatják a piros színnel a sáv egyik végén és ibolyával a másikon. A szivárvány színeiben jelentkező képsávot színeképnek — spektrumnak — nevezzük. (72. ábra.) Amikor a fehér fény sugar valamilyen test felületére esik, a test a sugarat részben vagy egészen elnyeli. Ha a test minden sugarat elnyel, felülete feketeszínű, ha pedig minden sugarat egyaránt visszaver, felülete fehérszínű. Ha azonban a sugarak egy részét elnyeli, a másik részét visszaveri, akkor a test olyan színű, mint amilyen színű sugarak róla visszaverődve a szemünkbe jutnak. Ugyanez a szabály érvényes az átlászó testekre is. Ha a test minden sugarat elnyel, nem átlászó, hanem fekete; ha minden sugarat átbocsát, teljesen áttetsző, színtelen, mint a víz vagy az üveg. Ha a test egyes sugarakat visszatart, a többi pedig átbocsátja, azoknak a sugaraknak színével színeződik, amelyeket átenged. Ha a színes test által visszavert, vagy a színes testen áthaladt fény sugarat prizmával felbontjuk, természetesen nem kapunk teljes, hét színből álló színeképet, hanem olyant, amelyből az elnyelt sugarak színei hiányoznak.

Ugyanilyen jelenséget figyelhetünk meg a növényeken is. Fehérfényű, napsütéses időben az erdő, vagy a rét zöldszínű. Ebből nyilvánvaló, hogy a levélnek a kapott fény egy részét el kellett nyelnie, vissza kellett tartania, mert fehérszínű fényt kapott és zöldszínt vert vissza.

Mielőtt ebből a tényből bármiféle következtetést levonnánk, vizsgáljuk meg közelebbről azt a kérdést, miért van a levélnek zöld színe. Ha a növény bármelyik zöldszínű részét mikroszkóp alatt vizsgáljuk, hamarosan arról győződünk meg, hogy ez a rész





önmagában véve szintelen. A vizsgált rész apró hólyagokból áll, amelyeket sejteknek nevezünk, a sejtek falai átlátszóak, mint az üveg, s a sejteket kitöltő folyadék is szintelen, mint a víz. A folyadékban azonban testecskék vagy szemcsék vannak, s ezeknek a színe élénk smaragdzöld. Ezeket a testecskéket klorofill-testecskéknek vagy levélzöld-testecskéknek nevezzük. A levél zöld színét ezeknek a klorofill-testecskéknek köszönheti éppen úgy, mint a vér vörös színét a vértesteknek. Ezek után vizsgáljuk meg, mi történik a napsugárral, amikor a zöld levél felületére érkezik? Milyen sugarak hatolnak át a levélen és milyenek maradnak meg abban? Elegendő, ha egy fénysugarat bocsátunk át a levélen, s az áthaladt fénysugarat prizmával felbontjuk; ilyen módon azonnal megállapíthatjuk, hogy a színekben milyen változások történtek. A színekéből hiányzó sugarak, tehát azok a sugarak, amelyeknek helyén a színekben fekete csík van, nyilvánvalóan a levélben maradtak, azokat elnyelte a levél anyaga. A kísérletet még pontosabban is végezhetjük. Minthogy a növény színe a klorofill-testecskék festékanyagától függ, vizsgáljuk meg a klorofill fényelnyelését. A klorofillt a levélből alkohollal vonhatjuk ki. Köztudomású, hogy az orbáncfű (*Hypericum perforatum* L.) vagy fehér üröm (*Artemisia absinthium* L.), s más növények leveleinek tinktúrája (alkoholos kivonata) pompás zöldszínű: ez a szín a klorofill színe. Az alig áttetsző levelek helyett alkalmazhatjuk tehát a kísérlethez a teljesen átlátszó klorofill-tinktúrát. Az ilyen oldattal teli üveget állítsuk a fénysugár útjába, s az oldaton áthatolt fénysugarat bontsuk szét prizmával. A világoszöld klorofill kivonaton áthaladt fénysugár színeképét a 72. ábrán mutatjuk be. A szélső vörös sugarak (72. ábra A. és B. között) áthatoltak, ezeket az oldat nem nyelte el. A legvilágosabb vörös sugarak, a narancsszínű és részben a sárga sugarak helyén azonban a színekben fekete sávot látunk (72. ábra, B. és D. között); a zöld sugarak (D-től b-ig s ettől kissé jobbra) nem nyelődtek el, s így a helyükön a színekben élénk zöld csík jelenik meg. A kék és ibolyaszínű sugarakat a folyadék elnyelte.<sup>1</sup> A hét szín helyett tehát a klorofill színekében csak sötétvörös színű és világoszöld színű csíkot látunk. A két csíkot fekete közök választják el egymástól. Ebből arra következtethetünk, hogy a növényből kilépő szín nem tisztán zöld, hanem a zöld és vörös keveréke. Ennek a megállá-

<sup>1</sup> A 72. ábra a nap színeképét és a klorofill fényelnyelésének színeképét ábrázolja. A legsötétebb rész a színek vörös mezőin van. A színek fényképezése a legutóbbi időkig sok nehézségbe ütközött. 1893 nyarán sikerült tökéletesen kielégítő fényképeket készítenünk s ezeket a természetkutatók és orvosok kongresszusán 1894 januárjában be is mutattuk. A színekben levő betűk a nap színeképének úgynevezett Fraunhofer-féle vonalait jelzik. — Az orosz kiadás jegyzete.



pitásnak helyességéről egészen egyszerű és érdekes kísérlettel győződhetünk meg. Az üzletben kapható közönséges kéküveg elnyeli a zöld sugarakat és át bocsátja a vörös sugarak egy részét. Érthető tehát, hogy ha az ilyen üvegen keresztül nézzük a zöld növényzetet, akkor az üveg elnyeli a szemünk felé haladó zöld sugarakat és csak a vörös sugarakat engedi át. A német optikusok ezt a jelenséget használták fel arra, hogy *eritrofitoszkóp* — a közönség előtt kissé nagyhangzású — név alatt eléggé mulattató készüléket hozzanak forgalomba. Valójában a készülék egyszerű kék szemüveg, de ha szemünkre tesszük, a világot »rózsaszínben« látjuk. A tiszta kék ég alatt mesebeli tájkép tárul elénk korállpiros rétekek és erdőkkel. Nem ártana, ha erre a körülményre egyik-másik festő figyelmét is felhívnák, akik tájképeiken sokszor lehetetlen, a természetben soha nem látott malachitzöld színnel akarnak gyönyörködtetni. Valószínű, hogy a művészek ezekben a balsikerű kísérleteikben lehetőleg tiszta zöld szín visszaadásra törekcsenek, pedig a növények színe kevert szín, vöröses zöld.<sup>1</sup>

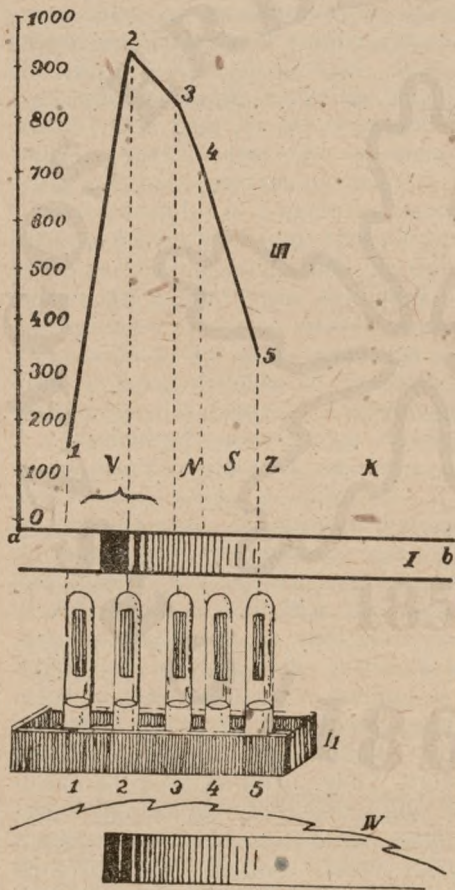
Forduljunk azonban célunk felé. Meg akartuk tudni, hogy a növény milyen fénysugarakat nyelt el; most már tudjuk, hogy a klorofill bizonyos vörös, narancsszínű és sárga sugarakat nyel el, s hogy ennek következtében a színekben ezeknek a sugaraknak a helyén fekete sáv van. Ezt a tényt mikroszkóp alatt az elkülönített klorofill-testecskén is ellenőrizhetjük. Ahelyett, hogy a színeképet a falra vetítetők, gyűjtőlencse segítségével a mikroszkóp alá vihetjük és ebben a gombostűfej nagyságú színeképből megvizsgálhatjuk a klorofill-testecskét. Ebben az esetben azt látjuk, hogy a szemcse átlátszó zöld színű a színeképből zöld színében, átlátszó vörösszínű a színeképből vörös színében és egyáltalában nem átlátszó, hanem fekete mint a szén azokban a vörös sugarakban (a 72. ábrán B. és C. betűk között), amelyeket az oldat elnyelt. Az élő klorofill-testecskék tehát szintén elnyelik ezeket a sugarakat.

Ezek szerint a Nap bizonyos sugarai, amikor a növényre vagy pontosabban a növény sejtjeiben lévő klorofill-testecskékre hullanak, elnyelődnek, elrejtőznek és többé nem fénysugarak. Az energia azonban nem veszhét el, csak átalakulhat, munkát végezhet, s közben a lappangó feszültség állapotába mehet át. Vajon milyen munkát végezhetnek ezek a fénysugarak a növény-

<sup>1</sup> A szükséges technikai ismeretek hiányában természetesen nagyon nehéz dolog ebben a kérdésben biztos tanáccsal szolgálni. Valamennyi zöld ásványi festék közül azonban a krómzöld az, amely színeképből szerint legközelebb áll a klorofillhez, mert ez a zöld a vörös és a zöld sugarak keverékéből áll. Annyi azonban bizonyos, hogy sárga és kék (a színeképből kék) festékek keveréséből nem kaphatunk olyan zöld színt, amely a levél zöldjére hasonlít. *Az orosz kiadás jegyzete.*

ben? Emlékezzünk csak vissza arra a megállapításunkra, hogy a szénsav felbontásának munkáját a növényben a napsugarak végzik el. Természetesen felmerül az a kérdés, vajjon ennek a munkának az elvégzése nem éppen azoknak a sugaraknak a segítségével történik-e, amelyeket elnyeltek a klorofill-testecskek? A feltevés valószínűsége csak erősödik annak folytán, ha számbaveszünk, hogy éppen a klorofill-testecske az a szerv, az a készülék, amelyben a szénsav bomlás lefolyik. Már Priestley észrevette, hogy szénsavbontás és oxigénkiválasztás csak a növény zöld részeiben megy végbe, tehát a levelekben vagy a zöld szárazokban. Sőt egyenesen rámutatott arra, hogy ezt a működést a zöld anyag fejtí ki. Ha az edényben vizet vagy valami főzetet világos helyen hagyunk, az edény falán hamarosan zöld üledék jelentkezik. Ma már tudjuk, hogy ez a zöld üledék mikroszkopikus növényekből moszatokból áll. Priestley idejében azonban ezt még nem tudták, s az üledéket »Priestley-féle anyagnak« neveztek. Priestley bizonyítani tudta, hogy ez az anyag oxigént választ ki. Már ez a kísérlete megmutatta, hogy a zöld anyag a levélen és a zöld száron kívül is szénsavat bont, s hogy éppen neki kell tulajdonítani ezt az életműködést. Később azonban újabb aggályok jelentkeztek: vannak növények, amelyeknek nincs zöld színük és mégis felbontják a szénsavat. Ilyenek például azok a vörös, fekete vagy tarkalevelű növények, amelyek az utóbbi időben egyre nagyobb teret hódítanak a virágos kertekben és az üvegházakban; de ilyenek azok a vörös és a vöröses-barna moszatok is, amelyek a tenger fenekét népesítik be. Ez kérdés azonban nagyon egyszerűen tisztázódott. A tarkalevelű növények színét a sejtnedv tarkaszínű oldatai határozzák meg, amelyek álcázzák, eltakarják a klorofill-testecskek zöld színét, de ezeket a szemcséket mikroszkóp alatt ilyen esetben is könnyen felfedezhetjük. Még könnyebben felfedezhetjük a testecskéket a következőképpen: mártsuk meg a virágcsalán (*Coleus scutellarioides* Benth.), vagy más tarkalevelű növény fekete vagy vörös levelét enyhe kénsavoldatban és az nyomban megzöldül. Ennek az az oka, hogy a kénsav színteleníti a vörös oldatot, de nem hat a klorofillra. Valamivel nehezebb volt kimutatni a klorofillt a tengeri moszatokban. Ezekben mikroszkóp alatt sem láthatunk zöld szemcséket, mert valamennyi szemcse vöröses-barnára, vagy barnára színeződött. Vegyi úton azonban beigazolhatjuk, hogy ezek a szemcsék is zöld klorofillt tartalmaznak, s ezeket csupán eltakarja a másik anyag. Különben, ha a tengerparton sétálgatunk, egyszerű megfigyelés útján erről is meggyőződhetünk. A partra vetett és bomlásban lévő moszatok sokszor megmutatták jellegzetes színeik valamennyi átmenetét egészen a zöld

színig. Ennek az a magyarázata, hogy az elpusztult növényekből a víz a tarkaszínű anyagokat kimossa, a klorofill azonban nem oldódik ki. Ezek szerint a szénsav felbontása csak azokban a részekben folyik, amelyek klorofillt tartalmaznak. Ez alól a szabály alól nincs kivétel. A klorofill-testecskében, mint már említettük, azt a készüléket, azt a mechanizmust kell látnunk, amelyet a napsugár ereje hajt meg. Igen tanulságos volt az említett feltevés heiyességének a kísérleti ellenőrzése, annak, hogy vajjon a szénsav felbontása nem éppen azoknak a sugaraknak a közreműködésével történik-e, amelyet a klorofill elnyel. Ebből a célból csupán arra volt szükség, hogy Priestley kísérletét a színkép különböző részeiben egyidejűen ismételjük meg. A kísérletet a következőképpen végezték: egy sorozat üvegcsövet (73. ábra, II. rajz, 1., 2., 3., 4., 5.) levegő és néhány százalék szénsav keverékével töltöttek meg s mindegyik üvegcsőbe ugyanarról a növényről egy-egy egyforma nagyságú zöld levelet helyeztek; az üvegcsövek sorozatát tökéletesen elsötétített szobában a napsugár szétbontott színképébe állították és néhány órával később gáz-elemzés útján meghatározták, hogy mely csövekben bomlott fel a szénsavgáz és melyekben nem, továbbá, hogy melyekben bomlott fel sok-s melyekben kevés.



73. ábra

A kísérlet teljes mértékben igazolta a feltevést. Kitéűnt, hogy a szénsavgáz csak azoknak a sugaraknak a hatására bomlott fel, amelyek a klorofill színképében a fekete sávnak (73. ábra, I. rajz,

V. betű ; 72. ábra B. és D. között) feleltek meg. Ebből következik, hogy azok a sugarak, amelyeket a klorofill nem nyelt el, nem bontják fel a szénsavat, azok pedig, amelyeket elnyelt, annál inkább felbontják a szénsavat, minél erősebben nyeli el őket a klorofill. Ezt a megállapítást a 73. ábra III. rajzában úgynevezett grafikon alakjában is bemutatjuk. Az  $a-b$  vízszintesre, húzott merőleges szaggatott vonalak (perpendikulárisok) magassága azt a szénsavmennyiséget fejezik ki, amelyet a színek megfelelő részei (I.) az egyes csövekben (II., 1., 2., 3., 4., 5.) felbontanak. A (III. 1., 2., 3., 4., 5.) törtvonal pedig szembetűnő módon azt mutatja be, hogy a színek melyik sávjában bomlik a legerélyesebben a szénsav.

Az előadottak szerint tehát a színekélemező vizsgálatból elsősorban kitűnt az, hogy a napsugárnak vannak bizonyos részei amelyek változás nélkül haladnak át a mérhetetlen világúron ha azonban útjukban klorofill-testecskékbe ütköznek, mint fénysugarak megszűnnek, elrejtőznek, s közben természetesen valami munkát végeznek. Az imént leírt kísérlet ezenfelül a színekben közvetlenül azt is megmutatja, hogy ugyanezek a sugarak bontják szét a szénsavat szénre és oxigénre és ebben a vegyi műveletben használódnak fel. Nyilván joggal következtethetünk arra, hogy a növényben felhasznált energia tökéletesen megfelel a növénybe érkezett energiának.

Megismertük tehát az erőforrást és azt a készüléket, amelyet az erőforrás ellát: a klorofill-testecskét. Azt is láttuk, hogy a készülék milyen munkát végez. Meg kell még vizsgálnunk, milyen terméket hoz létre a készülék; figyelemmel kell kísérnünk a szénsavból felszabaduló szén további sorsát; meg kell tudnunk, mi lesz belőle a növényben. Kíváncsiságunkat ezekkel a kérdésekkel kapcsolatban a mikroszkóp elégítheti ki.

Vegyünk valamely zöld szervet, például egy levelet és készítsünk belőle a mikroszkópos vizsgálatra alkalmas metszetet, vagy — ami még jobb — vegyünk olyan növényi szervet, amelyet előkészítés nélkül, közvetlenül megfigyelhetünk a mikroszkóp alatt, ilyen például a zöld moszatok között az úgynevezett békanyál. Miután meggyőződünk arról, hogy a klorofill-testecskékben nincs semmiféle idegen test<sup>1</sup>, a megvizsgálendő zöld szervet a nap, levegő, vagy szénsavat tartalmazó mesterséges légkör hatásának tesszük ki, vagyis olyan körülmények közé helyezzük, amelyek között szén-savat felbonthat. A napfény több-kevesebb ideig tartó hatása után a klorofill-testecskét mikroszkóp alatt újból megvizsgáljuk, s ekkor olyan színtelen szemcséket látunk benne, amelyek előzően

<sup>1</sup> Ezt rendszerint az által biztosítjuk, hogy növényt előzetesen hosszabb-rövidebb ideig sötét szobában tartjuk. — Az orosz kiadás jegyzete.

nem voltak ott. Ezek a szemcsék keményítőből vannak, amiről könnyen meggyőződhetünk. A keményítőnek ugyanis egyik jellegzetes tulajdonsága, hogy jóoldattal történő kezelésre sötét színűre festődik. Erről a jellegzetességéről ismerjük fel a keményítőt a klorofill-testecskéiben is. Ha a fény vagy a szénsav hiányzik, a keményítő fent említett megjelenését nem észlelhetjük. Ebből a tényből alaposan következtethetünk arra, hogy a keményítő megjelenését a szénsav felbontása eredményezi. Ezt a következtetést megerősíti az a gyorsaság is, amellyel a két jelenség egymást követi. Alig telik el néhány másodperc azután, hogy a napsugár a levél felületére érkezett, máris megfigyelhetjük a szénsav bőmlását, s ezt követően öt perc múlva már észlelhetjük azt is, hogy a klorofill-testecskékben megjelent a keményítő. A két folyamat összefüggése azonban még nyilvánvalóbb, ha a keményítő vegyi összetételét is figyelembe vesszük. A keményítő a növényi anyagok úgynevezett *szénhidrát*-csoportjának egyik jellegzetes képviselője. A szénhidrátok szénből, hidrogénből és oxigénből állnak. Elnevezésük onnan ered, hogy ezekben a vegyületekben olyan arányban van hidrogén és oxigén, mint a vízben, tehát mintegy szénből és vízből vannak. Abból a célból, hogy a szénsavból és a vízből szénhidrát keletkezék, nyilvánvalóan elegendő, ha az egész oxigént elvonjuk a szénsavból; tehát éppen azt tesszük, ami a növényben történik, amikor a szénsav felbomlik. A szénhidrátok tehát éppen azokból az anyagokból tevődnek össze, amelyeket a növényben szénsavból és vízből keletkező anyagoknál feltételezhetünk.

A mikroszkóp így tökéletesen megerősíti azt az eredményt, amelyet analízis útján kaptunk. Amikor a klorofill-testecskéiben felbomlik a szénsav, szénhidrát keletkezik. A két folyamat összefüggését legmeggyőzőbben az alábbi kísérlet bizonyítja. Az élő növény levelére, amelyet előzetesen mentesítettünk a keményítőtől, sötét szobában éles napszínképet vetítünk. Néhány óra múlva a leveleket leszakítjuk, alkohollal színtelenítjük és jóoldattal kezeljük. Kiténik, hogy a keményítő a színképnek csak azokban a részeiben keletkezett, amelyeket a klorofill elnyelt, s hogy annál több keményítő keletkezett, minél erősebb volt az elnyelés. Másképpen kifejezve: a levélen a klorofill színképének olyan nyoma keletkezik, amelyik jódezésre csaknem feketére festődő keményítőt mutat. (Hasonlítsuk össze a 73. ábra IV. rajzát a 72. ábrával és a 73. ábra I. rajzával.)

A növényi táplálék túlnyomó alkotó része a szénhidrát-csoport. A búzaszem súlyának háromnegyed, a burgonya száraz anyagának pedig négyötöd része keményítő. A keményítőn kívül a szénhidrátok csoportjához még sok más anyag tartozik; ilyen például a

cukor és a cellulóz; az utóbbi anyagból épül fel a növény merev váza, kezdve a vékony fűszálacskáktól egészen a hatalmas fatörzsekig. Ezeknek a testeknek a vegyi összetétele hasonló, s csupán kisebb vagy nagyobbfokú szilárdságuk és egyéb fizikai tulajdonságaik tekintetében térnek el egymástól. A cukor például vízben oldódik, keményítő azonban nem, ehelyett azonban erősen megduzzad s csirizzé válik, viszont a cellulóz kevésbé duzzad meg. Bizonyos értelemben azt mondhatjuk, hogy a keményítő sűrített cukor, a cellulóz pedig sűrített keményítő. A keményítóből könnyen származhatnak más szénhidrátok is. Cukrot például mesterségesen is előállíthatunk belőle, ha előbb burgonyaszirupot készítünk. Cellulózt ugyan még nem állítottak elő mesterségesen keményítóből, de a növény kétségtelenül abból állítja elő. Így például a gabonamagvak csírázása közben a keményítő cellulózzá alakul át és abból épül fel a csíranövény.

A szénhidrátok mellett a növényi anyagok második nagy csoportját az úgynevezett fehérjeanyagok alkotják, amelyek elnevezésüket a tojásfehérjéhez való hasonlatosságuknak köszönhetik. A búzalisztben, amelyet ismét a növényi táplálék példajaként veszünk, 17% fehérjeanyag van; ezt a fehérjeanyagot sikernek nevezük. A gabonaszemben tehát a keményítőn és a fehérjeanyagon felül csak néhány százalék egyéb anyag van. A fehérjeanyagok vegyi összetételéhez tartozik a szén, hidrogén és oxigénen kívül a nitrogén is.

A keményítő, mint láttuk, fény közreműködése nélkül nem keletkezhetik, ezzel szemben ahhoz, hogy a növényben fehérjeanyagok keletkezzenek, nem kell fény vagy bármiféle más külső erőforrás. A szénhidrátok jelenlétére azonban szükség van. Ha a növényt ellátjuk valamiféle szénhidráttal (például cukorral) és nitrogénforrással (például ammoniákkal), a növény ezekből akár tökéletes sötétségben is előállítja a fehérjeanyagot. Elkerülve azt a kémikusok által eddig még meg nem oldott kérdést, hogy hogyan viszonylanak a szénhidrátok a fehérjeanyagokhoz, pusztán a tapasztalat alapján is megállapíthatjuk, hogy a növény szénhidrátból és ammoniákból képes fehérjeanyagot előállítani. A fiziológus tehát azt mondhatja a vegyésznek: adj cukrot és ammoniákat, továbbá egy sejtet, s annyi fehérjeanyagot adok neked, amennyit csak kívánsz. Természetesen könnyen úgy lehet, hogy az ilyen termelés nem lenne túlságosan gazdaságos, de a mi nézőpontunktól csak az a tény lényeges, hogy mindez elméletileg lehetséges.

Anélkül, hogy az ember számára a fehérjeanyagoknál kevésbé lényeges növényi anyagok eredetének részleteivel foglalkoznánk, ezekre is kiterjesztjük a fehérjeanyagokról elmondottak érvényét,

s így arra a következtetésre jutunk, hogy a napfény közreműködésére csak a keményítő, vagy általában szénhidrátok szénsavból és vízből történő előállításához van szükség; minden más növényi anyag napfény hiányában is létrejöhet.

Igy azután most már kellőképpen felfoghatjuk azoknak a folyamatoknak a lényegét, amelyek a klorofill-testecskékben a fény hatására végbemennek.

Kémiai nézőpontból ez az a mozzanat, amikor két szervetlen anyag, a szénsav és a víz szerves anyaggá alakul át. Itt a forrása és eredete a sokféle anyagnak, amelyből az egész szerves világ felépül. Fizikai szempontból pedig a klorofill-testecske az a készülék, amely felfogja a napsugarakat, átalakítja és későbbi felhasználásra tartalékolja.

A növény a levegőből szerves anyagot alkot, a napsugárból erő-tartalékot képez. Ez az a napsugár ingyen erejével hajtott gép, amelyet A. Mouchot és Erichson a jövőre ígérnek. Itt a magyarázata annak, hogy a földműves munkája jövedelmező: aránylag kismennyiségű anyag — a trágya — felhasználásával nagytömegű szerves anyaghoz jut; kis erő alkalmazásával hatalmas erő-tartalékot szerez fűtőanyag és táplálék alakjában. A gazda feltüzeli az erdőt, lelegetteti a legelőt, eladja a gabonát, s mindezek ismét visszatérnek hozzá levegő alakjában; a levegőből pedig a napsugár közreműködésével ismét erdő, legelő vagy gabona lesz. A növény az értéktelen levegőt vagy fényt értékekké alakítja át. A növény a levegővel és a *fénnyel* gazdálkodik.

Az előadott magyarázatok magukban véve is megcáfolják azt az olykor hangoztatott vélekedést, hogy mekkora jólét vár majd az emberiségre, ha a vegyészek felfedezik a bonyolult szervesanyagok szintézisének titkait, ha megismerik a tápanyagok mesterséges előállításának módjait. Ha csupán abból ítélünk, amit eddig megvalósított a szintetikus kémia, nem kételkedhetünk abban, hogy a jövő, talán csak a távoli jövő valóra is váltja ezeket a reménykedéseket. Legalább is aközött, amit már elértek és amit még el kell érniök, nincsen olyan gyökeres különbség, hogy ezt a reménykedést valószínűtlennek tekinthetnénk. Ha azonban a táplálékot majd mesterségesen állítják elő, nem pusztul-e el a földművelés? Nem veszi-e el a föld az értékét? Nem változik-e meg az egész gazdasági rendszer? Nézzük: van-e alapja ennek a találgatásnak? Láttuk, hogy a szervesanyag képződése erőfogyasztással jár. Ha egy font gabonát elégetünk, körülbelül 890 egységnyi hő szabadul fel. Egy font gabona előállításához tehát — akár természetes, akár mesterséges úton — legalább is ekkora hőmennyiséget, vagy általában erőt kell felhasználni. Honnan vegyük ezt? Az egyetlen ingye-

nes erőforrás végül is csak a Nap. Késői utódainknak tehát mégis csak a növényt kell majd utánozniok a mesterséges tápanyag előállításában is és a föld színét mesterséges napsugár-elnyelőkkel kell majd benépesíteniök. Nem mondhatjuk, hogy az utánzás igen könnyű lesz. A növény ugyanis ebben a tekintetben nagyon tökéletes készülék. Ha csak rátekintünk a rét sűrűn növő fűszálaira, máris tisztában lehetünk azzal, hogy itt a talajnak csaknem minden röge kiveszi részét a munkából. A pontosabb számítások azonban még ékebben szóló adatokat is szolgáltatnak. Így például a here teljes levélfelülete huszonhatszor meghaladja azt a területet, amelyet a növény elfoglal. Ez annyit jelent, hogy egy gyeszjatina lóherével bevetett terület a napsugár elnyelésére huszonhat gyeszjatina zöld felületet szolgáltat. Más növények még nagyobb számokat adnak. A baltacim levélfelülete harmincnyszor, a lucernáé pedig nyolevanötször nagyobb, mint a növény által elfoglalt terület. A kevert füvek minden valószínűség szerint még nagyobb számokat adnának.

Itt azután önkénytelenül is beleütközünk egy másik, igen érdekes elméleti kérdésbe: vajjon korlátlan mértékben fokozhatjuk-e a növény révén a szerves anyagoknak azt a mennyiségét, amelyet egy bizonyos területről begyűjthetünk? Számíthatunk-e arra, hogy újabb talajjavításokkal korlátlanul fokozhatjuk a föld termőképességét, vagy van-e ebben a vonatkozásban határ? Ezen a kérdésen fordul meg a jövő emberiség sorsa. A rendelkezésünkre álló adatok alapján állíthatjuk, hogy van határ, sőt hozzávetőlegesen azt is megállapíthatjuk, hogy mennyire közelítettük meg ezt a határt. Már többször utaltunk arra, hogy a növényben a szerves anyag keletkezése közben szükségszerűen ugyanakkora hőmennyiség nyelődik el, mint amekkora felszabadul, amikor ezt az anyagot elégetjük. Ha például valamely növény égés közben ezer egységnyi hőt szabadít fel, arra kell következtetnünk, hogy képződése közben *legalább is* ekkora napmeleget fogyasztott el. Bár mennyire is trágyáznánk és művelnénk tehát a földet, ha a Nap nem szolgáltatná a növénynek ezt az ezer egységnyi hőt, növényünket sem hozhatnánk létre.

Ha tehát tudjuk azt, hogy bizonyos területről származó termés mennyi éghető anyagot tartalmaz (ezt elemzés útján meghatározhatjuk), s ha tudjuk azt is, hogy mekkora hőmennyiséget juttat a Nap erre a területre, rendelkezésünkre állanak a napenergia érkezésére és felhasználására vonatkozó adatok az adott földre, ezekből az adatokból következtethetünk arra, hogy az energia mekkora részét használtuk fel eddig és mekkora rész az, amely még felhasználásra vár. Ha a legtöbb szerves anyagot, a legbővebb termést



adó kultúrnövényekkel kapcsolatban ilyen számításokat végzünk, megállapíthatjuk, hogy például az erdő évi legnagyobb anyagszaporulata körülbelül 1/700-ad részét jelenti annak az egész hőmennyiségnek, amely a növényzet héthónapos vegetációs periódusa alatt az illető földterületre jut; e számításnál a gyökérszaporulatot figyelmen kívül hagytuk. Az egyik legbelterjesebb szántóföldi növény — a csicsóka — a Naptól kapott egész energiamennyiségnek 1/180-ad részét használja fel. A széna szerves anyaga (angol pernyefű; *Lolium perenne* L.), valamint a gyökérmaradványai igen kedvező termés esetében a kapott napenergia 1/135 részét tartalékolják. Végül a legkedvezőbb zab- és rizstermés — szem, szalma és gyökérmaradványok együttvéve is — a kapott egész energiamennyiségnek csupán 1/80 részét jelentik. Így tehát a növény útján hozzávetőlegesen 1/1000 résztől 1/100 részig terjedő hányadot használunk fel abból az egész napsugármennyiségből, amely az erőteljes vegetáció időszaka során az erdők vagy a szántóföldek zöld felületére esik.<sup>1</sup> Következtethetünk-e ezekből az adatokból alaposan arra, hogy a gazdasági növények és a földművelés tökéletesedésével a terméshozamot a mainak százszorosára, vagy éppen ezerszeresére emelhetjük, mielőtt a termőképesség határát elérnénk? Vajjon képes-e a növény arra, hogy a kapott egész energiamennyiséget tartalékká alakítsa? Természetesen nem képes. Tudjuk, hogy egyetlen gép, vagy szervezet sem kivétel az alól a szabály alól, hogy a kapott erőt egyik sem alakítja át maradéktalanul hasznos munkává. Ez a tény már magában is meggyőzhet afelől, hogy a növény termőképességének élettani és fizikai határai nem eshetnek egybe. Az ismertetett számadatokkal szemben, amelyek különböző mezőgazdasági növények eredményein alapulnak, felhozhatjuk azt is, hogy bár a mezei növényzet — miként láttuk — igen fejlett elnyelő felületet képvisel, mégsem számolhatunk azzal, hogy az egész ráhulló fénymennyiséget felfogja. Megbízhatóbb számadatokat kapunk ebben a tekintetben az alábbi kísérletből. Helyezzünk a napra olyan zöld leveleket, amelyeknek felületét előzetesen pontosan megmértük, s analizis útján határozzuk meg, hogy ezek a levelek mekkora szénsavmennyiséget bontanak fel a legkedvezőbb megvilágítás mellett, például egy óra alatt. Határozzuk meg azt is, hogy mekkora hőmennyiség esik az adott levélfelületre. Ezzel rendelkezésünkre áll minden adat ahhoz, hogy kiszámíthassuk a kölcsönös arányt a kapott energia és a szénsav felbontásá-

<sup>1</sup> Természetesen az idézett számadatok nem tekinthetők egészen pontosnak. Különösen a bizonyos területre eső hőmennyiségre vonatkozó számok, amelyeket Pouillet adatai alapján számítottunk ki, csupán megközelítőleg helyesek. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

hoz felhasználta energia között. Kitűnik, hogy a kapott energiából átlagosan 1/100 részt használ fel a növény a szén-sav felbontására, kedvező esetekben pedig 1/55 részt. Néhány újabb vizsgálat szerint ez a szám 1/20-ig javulhat. Ezt az utóbbi számot nyilvánvalóan olyannak kell tekinteni, amely már közel lehet a fiziológiai termőképesség határához, mert a növények valóban a legkedvezőbb körülmények között voltak. Láthatjuk tehát, hogy a legbelterjesebb kultúrnövényeink milyen közel jutottak ahhoz az értékhez, amelyet fiziológiai határnak nevezünk; ez a határérték jelenti a szervesanyagot azt a legnagyobb mennyiséget, amelyet egy adott földterületről növények útján kaphatunk.

Azonban e határérték mellett is a kapott energiának csupán 1/100 részét, vagy igen kedvező esetben 1/20 részét használják fel; ez azonban nem meglepő, ha figyelembe vesszük, hogy a növény ezen az ember szempontjából egyedül hasznos munkán felül egyéb munkákat is végez, amelyek azonban az emberre nézve nem hasznosak.<sup>1</sup> Így például a növény egész életén keresztül vizet párologtat el; olyan hatalmas víztömegeket, hogy az ember el sem hinné. Ekkora víztömegek elpárologtatására, úgy látszik, jelentékenyen nagyobb hőmennyiség fogy el, mint a szén-sav felbontására. A növény tehát a szervesanyag előállítását szolgáló hasznos munka mellett még több energiát fordít az emberre nézve nem hasznos munkára: a párologtatásra. Ez a munka, bár a legjelentékenyebb, de nem az egyetlen energiafogyasztással járó munka a növényben. A növény a vizet a talajból veszi, tehát azt bizonyos magasságra fel kell emelnie. Ez a munka például lábakkal is kifejezhető. Szántóföldi növényekben ez a munka nem nagy, de a fás növényekben tetemes nagyságot is ér el.<sup>2</sup> Képzeljük el, hogy milyen hatalmas munkát jelent akkora vízmennyiségnek a felemelése, amely olyan faóriásokból álló erdőben párolog el, mint például az újhollandi óriás eukaliptuszfák (*Eucalyptus amygdalina* Labill). Ezeknek a fáknek a csúcsai ugyanis, egy botanikus szavaí szerint árnyékot

<sup>1</sup> Még ennél is fontosabb annak a figyelembevétel, hogy a növény nem is nyelhet el minden napfényt, amely ráhull, mert akkor nem zöld, hanem fekete lenne. A legfrissebb kutatások szerint a levél átlagosan csak 25%-ot nyel el a ráhullott egész napenergiából, ez tehát a fizikai határ. Ebből az értékből a fiziológiai kísérletek során 5%, szántóföldön 1% használandó fel. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

<sup>2</sup> A nedvesség jelentékeny magasságra való emelését csupán a szolgáltatott anyag mennyisége szempontjából tekinthetjük haszontalannak; ugyanakkor azonban igen fontos minőségi szempontból, mert például csak így juthatunk építőfához, árbocrudakhoz stb. — *Az orosz kiadás jegyzete.*

vethetnének a Cheopsz-piramis<sup>1</sup> csúcsára is. Természetesen mindaz az energia, amely a víz elpárolgotatásához és felemeléséhez szükséges, nem egyedül a napsugár közvetlen hőhatásából származik, de jelentékeny része mégis innen ered. A napenergia haszontalan felhasználási forrásaihoz számíthatjuk még az alábbi is. Nem tudjuk felhasználni például az egész szervesanyagkészletet, amelyet a növény egész élete folyamán felhalmoz, mert maga a növény is fogyaszt abból, s elégeti anyagkészletének egy részét. Úgy számíthatjuk, hogy erre a célra az egész anyag 1/20 része fogy el; a növény tehát a szerves anyag felhalmozása terén mindig húsz lépést tesz előre és egyet hátrafelé. A napenergia összes felsorolt fogyasztási forrását úgy tekinthetjük, mint a növény által történő szervesanyag-termelés előállításának üzemét. Ebből kitűnik, hogy a növény bármennyire tökéletes napenergia-felhasználó készülék, mégis sok fogyatékosága is van, hiszen a Naptól kapott energiából még a legkedvezőbb körülmények között sem fordíthat többet az ember nézőpontjából hasznos munkára, mint 1/100 vagy 1/200 részt. Az ember feladata tehát az, hogy tökéletesítse a növényt ebben a vonatkozásban, vagy olyan mesterséges készüléket alkosson a növény pótlására, amely az energiát nagyobb határfokkal használná fel és még hozzá egész éven át dolgozhatna. A jövő kérdése, hogy az ember ezen a területen milyen eredményeket érhet el. Annyi azonban bizonyos, hogy ha majd egyszer mesterséges készülékei útján a Föld egész szabad felületéről százszorannyi szervesanyagot állíthat elő, mint amennyit manapság a legbőségesebb termés hoz, akkor valóban elmondhatja: elértük a határt, tovább már nem mehetünk. Akkor már hiába kérlelné a termőföldet és a maga művészetét, hogy adjanak még több fűtőanyagot, még több táplálékot, nem kaphatna többet, mert már a Nap sem adhatna többet. . . Ha majd az ember a napenergiát — mint manapság — nemcsak egy részében, hanem egészében fogja felhasználni, bolygónk felületét a smaragdzöld rétek és erdők helyett mesterséges fényelnyelők egyformán gyászos, fekete leple borítja be. Joseph John Thomson jóslata szerint a világegyetemet a *hideg halál* feltartóztathatatlanul közelítő réme fenyegeti, s világunk megdermed e rém jeges ölelésében; ez a jóslat — úgy hisszük — eddig kevés embert nyugtalanított . . .

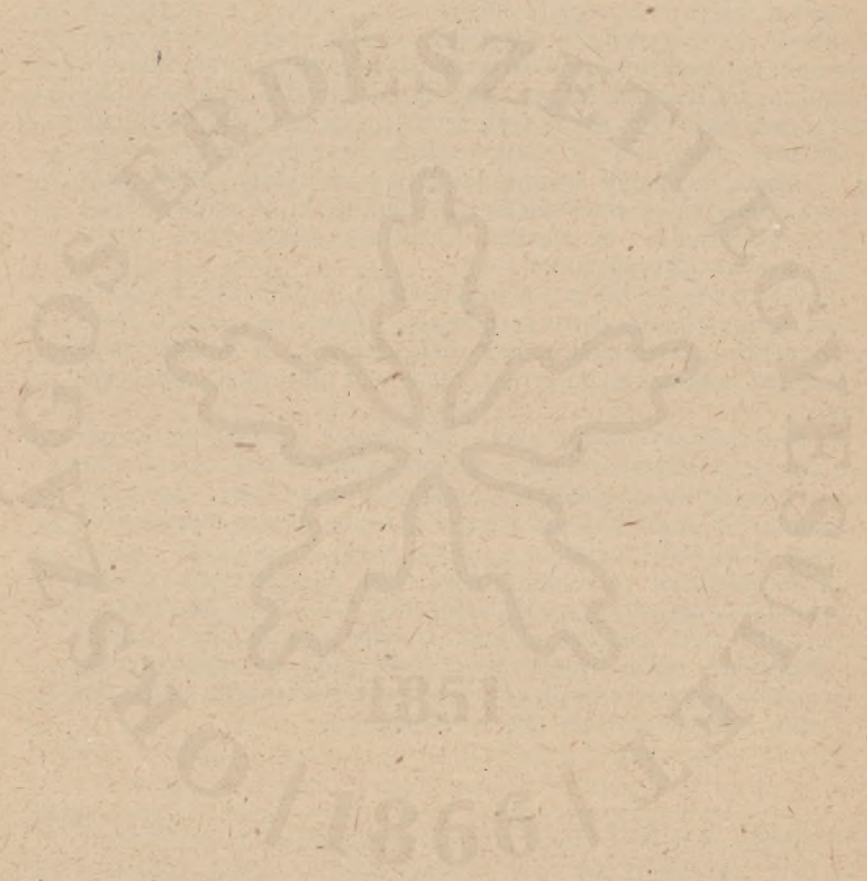
Forduljunk el a szerencsére nagyon távoli jövő sötét rémképtől, s térjünk vissza a cikkünk elején felvetett kérdéshez; erre a kérdésre most már kimerítő és határozott választ adhatunk. Legjobban egy példaképpel válaszolhatunk. Valamikor, valahol a földre

<sup>1</sup> Cheopsz vagy Chufu, Egyiptom királya, aki a ghizei leghatalmasabb piramist építtette. A piramis eredeti magassága 145 m volt. A szóban levő eukaliptuszfa egyes példányai elérik a 155 m-t is. — Ford.

hullott a napsugár, de nem a terméketlen talajra, hanem a búzacsíra zöld szárára, vagy pontosabban a klorofill-testecskéjére. Amikor ebbe beleütközött, kialudt, nem volt többé fény, de mégsem tűnt el. Csupán felhasználódott a belső munkában; kettévágta, megszüntette a szénsavban egyesült szén- és oxigén-részecskék között a belső kapcsolatot. Az így felszabadult szén a vízzel egyesült és keményítőt alkotott. A keményítő cukoroldattá alakult át, majd a növényben végzett hosszú vándorlása után a magban rakódott le, mint keményítő vagy siker. Egyik vagy másik alakjában annak a kenyérnek alkotó része lett, amellyel táplálkozunk. Bennünk pedig izommá, ideggé vált. A szénatomok azonban szervezetünkben most újra arra törekcsenek, hogy egyesülni tudjanak az oxigénnel, amelyet a vér testünk minden részébe széthord. Közben a napsugár, amely kémiai feszültség alakjában bújik meg bennünk, ismét mint érzékelhető erő jelentkezik. A napsugár átmelegít, mozgásba hoz bennünket. Lehetséges, hogy ebben a percben agyunkban játszadozik...

Az elmondott példakép a legrészletesebb, legkimerítőbb válasz, amelyet a felvetett kérdésre a tudomány adhat. A választ azonban rövidebben, két szóval is megszővegezhethjük. A táplálék szervezetünknek csak azért erőforrása, mert nem más, mint *napsugárkonzerv*.

E végeredmény mélyreható tudományos jelentősége önmagáért beszél. A végeredményt azonban az is értékeli, aki a tudományos igazságokra többé-kevésbé közönyösen tekint. Az álmodozó költő, aki sajnálkozva fordul el a tudós prózai munkájától, bizonyára elégtétellel hallja meg, hogy ő, maga is valójában levegőből és fénysugárból szőtt éteri lény, mint képzeletének vértelen alkotásai. A gögös, fajtája előkelőségének tudatában büszkélkedő ember, akiből nem hiányzik a tudós szerény szerepét illető lenézés sem, bizonyára némi tisztelettel adózik majd a tudománynak, ha azt hallja, hogy »éppen olyan joggal nevezheti magát a Nap fiának, mint a kínai császár« (H. v. *Helmholtz*).



## T A R T A L O M

N. V. <i>Turbín</i> és A. N. <i>Pantelejev</i> :	
Kliment Arkagyevics Tyimirjazev élete és munkássága .....	5
K. A. Tyimirjazev — a lángoló szovjet hazafi.....	27
A növény élete .....	36
I. előadás — A tudomány és a társadalom. A növény külső és belső szerkezete.....	39
II. előadás — A sejt.....	60
III. előadás — A mag .....	78
IV. előadás — A gyökér .....	99
V. előadás — A levél .....	122
VI. előadás — A szár .....	146
VII. előadás — A növekedés.....	171
VIII. előadás — Virág és termés .....	202
IX. előadás — A növény és az állat .....	230
X. előadás — A szerves formák képződése.....	258
A növény, mint erőforrás.....	282









