

VESZPRÉMI EGYETEM

ÁLTALÁNOS BIOLÓGIA
BIOLÓGIA - MÉRNÖKÖK SZÁMÁRA

Második, átdolgozott kiadás

Dr. Szabó István
egyetemi tanár

Lektorok:
Prof. Dr. Liszi János tanszékvezető
Prof. Dr. Tóth Benedek tanszékvezető és
Dr. Tóth Gergely egyetemi adjunktus

Keszthely, 2005

A mű részének vagy egészének reprodukálása, sokszorosítása a kiadó előzetes írásos engedélye nélkül tilos!

© Szabó István

© Veszprémi Egyetemi Kiadó, 2005

ISBN 963 9495 70 0

Digitális változat

Munkatársaim

–

*Meskó Gábor, Dr. Méray László,
Dr. Tóth Benedek és Dr. Sebestyén Attila*

–

emlékére

Előszó

Ezerkilencszáznyolcvanhét, a veszprémi környezetvédelmi szakmérnökképzésben való részvételem kezdete, 1990-ben a környezetmérnöki szak biológia tantárgyi tematikájának kidolgozása, majd 1992 és 1994 közötti oktatása óta párhuzamot vonhattam a műszaki mérnök- és pedagógus képzéshez kapcsolódó biológiai felkészültség, érdeklődés és követelményrendszer, valamint a munkaterületemhez, az agráriumhoz kapcsolódó, szerteágazóan szakosodó zoológia, botanika, herbológia, növényvédelmi zoológia, mikrobiológia, mikológia, növény-biotechnológia, stb. tárgyak formájában képviselt biológia között. A veszprémi és a keszthelyi szakok számának növekedése még jobban fokozta a biológia különböző részterületeinek ismerete irányti igényt. Világossá váltak az agrárral szemben a műszaki és az új szakok (környezettan, környezetmérnök, gazdasági agrármérnök, növényorvos alap (főiskolai, mérnöki, hároméves, BSc), egyetemi (okleveles mérnöki, ötéves, MSc) és posztgraduális (környezetvédelmi és természetvédelmi szakmérnök) képzés sajátosságai, de mindenek előtt az, hogy általános biológiai ismeretekre a különböző képzési szintek és szakok hallgatóinak szüksége van, mégpedig olyan formában, hogy az általános- és középiskolai fokon elsajátított kezdeti ismeretanyagra hivatkozni és alapozni kell.

Ma már az ismeretanyag kicserélődése, a tudományterületek közeledése, a felsőoktatás korszerűsítése és legalább kontinentális egységesülése következtében a fenti határok leomlanak. Meggyőződésem, hogy a biológiát feltétlen közel kell hozni mindenki számára az életfolyamatoknak a biofizika, biokémia, energetika és informatika oldaláról való megközelítésével, megengedhető mértékben leegyszerűsített, de a folyamatokat következetesen ismertető formában. A felszínes összehasonlítások helyett a törvényszerűségek közös vetületeire, korunk kérdéseire és a gyakorlati vonatkozásokra indokolt ráirányítani a figyelmet.

Az első kiadás óta a biológia frontvonalai még erőteljesebben kibontakoztak. Ez az első és a változatlan második kiadáshoz viszonyítva némi módosítást igényelt a szövegben. Az előretörés valamennyi szakterületen folyamatos a mai napig, amihez különösen az informatikai eszközök, a matematikai modellek, a műszerezettség fejlődése, mégjobban a környezetváltozás, a biológiai sokféleség veszélyeztetése járult hozzá. Könyvünk jellegénél fogva a biotechnológia, a genomika, a biotronika, a mesterséges értelem kutatása terén az elmúlt három év alatt elért eredményekre, a Föld környezetállapotára hivatkozunk, amelyek legfőképp indokolták az átdolgozást, például a klónozás, a genetikai információ feltárása, a génmanipuláció, a bioszféra veszélyeztetése, az evolúció változása, a társadalmi, etikai, jogi következményekkel együtt.

A tankönyv első négy fejezete a sejttani ismeretek körében foglalkozik az általános biológiai ismeretekkel, az élet lényegével, az élő anyag elemi szerveződésével. Az életjelenségeknek a szervek, a szervrendszerek és a szervezet szintjén való megismerésére az ötödiktől a 11. fejezet nyújt lehetőséget. Hangsúlyt kapnak a természetes és antropogén környezeti tényezők, illetve hatások által kiváltott reakciók biológiai alapjai. A szupraindividuális szerveződést jobbra a populációk szintjén érintem. Mindemellett törekszem

az ismeretek evolúciós összehasonlító, struktúra-funkció szemléletű tárgyalására, embervoltunk velejáróinak és következményeinek bemutatására.

A kötethez csatlakozó melléklet számos elektronikus hírforrásból származó tudományos ismeretterjesztő közleményt tartalmaz az internetes elérhetőséggel együtt, amelyek meggyőződésünk szerint egy-egy témakörhöz nem csupán részletesebb ismereteket biztosítanak, de elmélyültebb gondolkodásra is készítetik az olvasókat. A tananyag kapható tankönyvként nyomtatott formában fénylemez (CD) melléklettel és fénylemezen, valamint a veszprémi és a keszthelyi egyetemi hallgatók számára elérhető a <http://georgikon.hu/georbotan/tananyagok> cím alatt.

Bevezetés

*Mily ellentét: természet és művészet!
s előbb, mint gondolnád, egymásra letek.
Utálatom már elrepült, elernyed,
s egyformán vonz a kettő: egybe még szebb!*

*Minden igaz küzdés csak egyre készet!
csak úgy izzítja szabadon a lelked
a természet, ha magad láncra verted
művészetével a szorgalmas észnek.*

*Ez minden alkotás belső szabálya:
kötetlen szellem szárnya nem repes fel
a teljességig, mely az ég felé tűnt.*

*Ki nagyot akar, magát zabolázza,
korlátozásban tűnik ki a mester
s csak törvény adhat szabadságot nekünk.
(Goethe: Természet és művészet, Jánosi I. ford.)*

A biológia központi témája sem más mint a többi tudományé: az, hogy az ember kialakítsa elképzelését az univerzumról, megfogalmazza hozzá való viszonyát, és kimérje benne a helyét. Ez a folyamat azonban nem a tudománnyal kezdődött, hanem a tudomány egy folyamatban alakult ki a hiedelemrendszerrel, és elvált tőle – elsősorban a vallástól. Az ókori filozófiát a tudás egyetemességének igénye jellemezte és magas szinten integrálta a szellemi tevékenységet. Az elmélyülés a szakmai ismeretek részleteiben azonban széles körű specializálódáshoz vezetett az értelmi szféra területén.

Már az antik kultúrában megtörtént a vallási kultusz szolgálatának és az értelmiségi alkotó tevékenységnek a szétválása; ahogy KÖSTLER (1996) könyvében olvassuk: „*A két iker – a tudomány és a vallás – a Püthagoreus Testvériség misztikusában és bölcsében megközelíthetetlen és szétválaszthatatlan egységbe forr évszázadok során; majd szétválik és egyesül megint. A szálak hol összebogozódnak, hol párhuzamosan és egyenesen haladnak, míg végül belefutnak napjaink hűvös udvariassággal, de tökéletes elszigeteltséggel kettéosztott épületébe, ahol a modellek és a szimbólumok dogmákká merevedhetnek, s ahonnan a gazdag inspiráció hajdani közös forrása már nem is látható.*” ...

Az egyik oldalon mélységes szakadék keletkezett a humaniorák és a természetfilozófia között. A „tudomány” szó, amely felváltotta az előbbit, nem hordozza azokat a gazdag jelentésárnyalatokat, amelyek a 17. században jellemzőek voltak. Akkor még egészen más névvel illették, *új filozófiának* hívták azt a robbanást, amelyet ma tudományos forradalomnak nevezünk. A technológia, amit a felfedezések kiváltottak, „csupán” melléktermék, másodlagos hozadék, az eredeti cél nem a Természet leigázása, hanem megértése volt. – Erre tekint vissza a már több mint három évtizede közzétett Gea- (Gaia-) elmélet, amely a természetet nem legyőzendő és meghódítandó primitív erőnek, és a Földet nem a Nap körül értelmetlenül keringő, pilóta nélküli űrhajónak tartja.

A másik oldalon a vallások dezintegrációjának és egyidejűleg reintegrációjának (oikomené) vagyunk tanúi, mind újabb szekták és a keleti, nyugati hitek ötvözetei keletkeznek,

hívókra találnak, ami az emberek hinniakarását és egyben a meglévő konstrukciókkal szembeni elégedetlenségét bizonyítja. A *Homo sapiens* egyik lelki paradoxonja valószínűleg abban rejlik, hogy hinni szeretne, de fenntartja annak igényét, hogy mindent megértsen, tehát kételkedjen. A kételkedés, vagyis a megismételhetőség, az ellenőrizhető és előre megjósolható előfordulással együtt a természettudományosság kritériuma. A hívó számára a hit nagyszerűségét zúzná össze efféle szkepticizmus. – Az ember mindig két birodalomban tevékenykedik: az egyik a munka, a technológiák mindennapi gyakorlata, a másik a hiedelmek, a filozófia, a szigorú szabályok szerint megteremtett elmekonstrukciók (matematika, geometria) világa. Örök problémáira hol az egyikből, hol a másikkól választott eszközökkel keresi a választ.

Biztosra vehető azonban, hogy gondolatok birodalmát nem fedezhetik fel azok, akik a feladatokat csak mérőeszközökkel igyekeznek megoldani. Az egyes részleteket a képzelet formálja át, a tudományos eredmények mögött fény derül a szellem működésének titkaira is. Ha a tudományterületek figyelnek egymásra, közelítik egymáshoz eredményeiket, akkor a semmiből váratlanul új egyértelműségek és összefüggések lépnek elő olyan dolgok egyesülése által, amelyek a megszokott látószögekben fedésbe sosem kerülhettek volna. – *“Avagy mindent kitanultunk-e immár? S a véletlen is nem vezet-e sokszor igen jeles felfödözésekre?”* – kérdezi, ahogyan talán mások is már KOESTLER előtt, 1847-ben SZENCZY Imre, a XIX. század kiváló klasszika-filológusa és teológusa, aki Keszthelyen a Georgikon hatáskörzetében lett botanikussá. Az ő természetfilozófiája a XXI. század emberéhez szól: *“... a’ nagy természetben minden lény kapcsolatban áll egymással; hogy a’ legparányibb penészcseke a’ szüntelen rontó bontó ‘s teremő életerőnek munkálatja, ‘s a’ nagy egész’ láncolatában szinte olly szükséges szem, mint a’ tölgy, és czedrus; hogy gyakran az utfélen eltiport növényben végtelen erő rejtezik, ‘s reánk nézve csak tudatlanságunk miatt vesz el hasztalan... Az anyatermészet, fel lehet tenni, bizonyosan nem fukarkodott segédszerrel előállani ott, hol sérv keletkezik. Igaz, hogy természetelleni életmódjával az ember sok oly bajt is idézett elő, melyek messze távolból hozott hatalmasb gyógyszerrel követelnek.”*

A világ nagyon sokfélenek látszhat attól függően, hogy milyen és mekkora ablakon keresztül szemléljük. A természetben a térbeli és az időbeli léptékek, valamint azoknak a bekövetkező jelenségekkel való kölcsönhatásai szinte felmérhetetlen gazdagságot mutatnak. A világot csak saját emberi léptékkal tudjuk megfigyelni, ám a megfigyeléseket extrapolálva, más léptékekben kell ítéletet alkotni. A részletek alapos tanulmányozása nélkül elemzéseink felszínesek, de ha az erősen specializálódott tudományterületek nem veszik figyelembe a magasabb összefüggéseket, nem tudnak hozzájárulni napjaink problémáinak megértéséhez és megoldásához. A világnak egyaránt szüksége van a kis és a nagy léptékű megfigyelésekre ahhoz, hogy a kutatási eredmények a felszínesség elkerülése érdekében elegendő tartalommal bírjanak, illetve a világ a problémáit a tudományok közötti integráció adta összefüggésekkel kezelni tudja.

A természeti törvények és igazságok a létező valóság összefüggéseit kifejező emberi konstrukciók, modellek, amelyek működtetve képesek a természet szűkebben vagy tágabban korlátozott területén a jelenségek menetének magyarázatára, jövőbeli események bizonyos valószínűségű előjelzésére. A modelleknek elsősorban gyakorlati hasznuk van. A modell tehát az emberi elme alkotása, játéka, és sokban hasonlít a társadalmi egyezségekhez. Ahogy NÉMETH László fogalmazta: *“Tudományos igazságaink jó része metafora. Baj ez? Éppen nem. Csak tudjuk*

is aztán a metaforáról, hogy metafora.” A tudományos modell készítője számára kötelező az egyeztetés a valósággal, a megismételhetőség és a predikciós képesség vizsgálata.

Modellek felülvizsgálatra szorulnak. Időnként modellváltás szükséges. A korai görög mitológiában a Napot Apollón szállította tüzes szekeren. Ehhez viszonyítva a Föld-központú ptolemaioszi világgép (modell) korrektebb. Kopernikusz heliocentrikus világgépe képes a csillagképek mozgását megjósolni, lehetővé teszi a fókuszáláson alapuló földrajzi helymeghatározást. A mai műholdas eljárás (GPS) is ezen alapul. A newtoni modell – a gravitációt, a tömeget és a megmaradási elvet követve – alkalmas a műholdak felbocsátására. A kvantum relativitási modellek, amelyek kiterjesztik a predikciós lehetőségeket az egész univerzumra, vajon a végső, megváltoztathatatlan igazság hordozói? – Lásd Newton utódja, HAWKING tépelődéseit Cambridge-ban.

A biológiában a modellek rohamléptekkel követik és váltják egymást; sőt, ahogy a tudományágak egymás segítségére sietnek, egyre gyorsuló ütemben teszik azt. A nagy földrajzi felfedezések, útelírások kiváltak a klasszikus természetrajzból, és 1869-től békésen belesímultak HAECKEL új tudománya, az ökológia leíró és environmentalista irányzatába. Majd bekövetkezett a műszeres mérések korszaka, s az analitikus ökológiát hatalmas környezeti és biotikai adatbázisok reprezentálják. ODUM az 1970-es évekre még alig foglalta össze a klasszikus ismereteket, és szinte csak kószolgatta, és ízleltette tanulóival az ökoszisztéma éntrendjét, amikor a matematikai statisztika robbanása lehetővé tette az ökológiai ismeretek szintetizálását. S az előzőkhöz képest töredék idő elegendő volt arra, hogy a számítógépek segítségével az informatika, a valószínűségszámítás, a halmazelmélet, a számelmélet, a játékelmélet, a koordináta-geometria segítségével felkapaszkodjunk a kvantitatív ökológiának, a szimulációs modellek, a predikció, a fraktálok, a káosz-elmélet, a fuzzy-analízisek megszállottjaival zsúfolt vonatára. És mi a következő állomás, és ott milyen, és vajon a végső megoldás lesz olvasható?

A modern genetika MENDEL 1861-ben közzé tett, a minőségi tulajdonságok öröklődésére vonatkozó megfigyelésein alapul. (Előfutárai között a „genetika” kifejezést a keszthelyi Georgikont alapító György gróf testvéröccse, FESTETICS Imre használta elsőként.) MORGAN kromoszóma-elmélet modellje, amelyhez, FLEMMING (1882 – sejtosztódás) és WALDEYER (1890) felfedezése adta az ötletet, nem bizonyult időtállóknak, jóllehet részleteiben (kapcsolódási csoportok, crossing-over) megállja a helyét. A JOHANNSEN féle génelmélet a genetika információs elméletében forrott ki. A kettős spirál DNS-modell, WATTSON és CRICK szellemes konstrukciója fél évszázada tartja magát. A humán genom (gének és nem gének) jó két milliárd nukleotidja szekvenciájának 97 %-os megismertségére elegendő volt közelmúlt tíz év. Az eddig azonosított 38 ezer emberi gén feltehetően a végleges szám egy harmada. S mindez az emberi genomnak igen kicsiny hányadát, legfeljebb 5 %-át képezi. A DNS állomány többi részének biológiai szerepe még alig, vagy egyáltalán nem ismert! Vajon elegendő az e modell nyitotta ily kicsiny ablak a valóság megismeréséhez, vagy biológiai ismereteink ezen a területen is átfórnálódnak egyszer?

A példák sokaságát lehetne még természetesen sorolni. Fontosabb azonban annak megértése, hogy a környezet paramétereinek “hagyományos” érzékszerveinkkel nem, vagy csak közvetve érzékelhető és értékelhető változásainak ismeretére kényszerültünk. Például

sugárözönben élünk és fejlődünk az élet keletkezése óta, de a radioaktív sugárzás rendszeres méréséről már nem mondhatunk le. Az élettani, biofizikai és biokémiai ismeretek bővülésével szervezetünk olyan működéseinek megértésére lettünk utalva, amelyek műszerek, technikai felszerelések nélkül szintén ismeretlenek. Elegendő csak arra gondolnunk, hogy a vér elektrolit oldat tulajdonságainak folyamatos monitorozása életmentő fontosságú lehet.

A művi környezet megkönnyíti életünket, ugyanakkor a fékezhetetlen energiaétvágy és nyereségvágy miatt nyomasztóan rombolja természetes miliónket. Persze a technika sem kerülheti el a naturalizálódást. A beton- és aszfaltszönyeget lassan befedi a növényzet, megemészti az élővilág, a felhőkarcolókba betelepednek a ragadozómadarak, ahogy a békésebb és kevésbé békésebb fajok már urbanizálódtak, a militáris kerozin készleteket és polikarbonát anyagú fénylemezeket (CD-eket) felfalják a mikrobák, ha nem vigyáznak rá... De mégis sajnálom, gyermekeinket és unokáinkat, akik ma mezítláb legfeljebb üvegcserepekbe, rozsdás vasakba taposhatnak, mert megfosztottuk őket a pitypangfejekkel díszített májusi pocsolóaktól, a térdig érő langyos vízű kopolyaktól, az árkokban kosárszám felúszó halrajoktól, a tiszta rétektől, a szemét- és hulladékmentes ligetektől, a csöndes erdőktől.

JUHÁSZ-NAGY Pál szerint a civilizáció története három nagy fordulópont köré építhető fel. Az emberiség és a természet történetének őszállapotában az ember alig volt több mint egy faj a sok közül, és *harmónia* (ha van ilyen az ökológiai kényszerfeltételek és a tűrő- és alkalmazkodó képesség között) jellemezte a viszonyukat. Az isteni szikra elrablása, a tűz megszelídítése után megindult a hódítás évezredekben mérhető folyamata, a *harc a természet ellen*. Néhány évtizede, bízunk benne, hogy egyre tágulóbb körökben bekövetkezett a *rádöbbenés* történelmi fázisa:

*“Az ember ősi szerződését
a természettel megszegőn,
bűnétől iszonyodva néz szét
megrontott erdőn és mezőn.”*

(Jékely Zoltán)

*Moho insapiens*nek nevezhetnénk CSOKONAI emberfiguráját, akit azidőtájt jellemzett ő találóan, amikor KAZINCZYval is összemérte szellemi erejét, és a Georgikonban szándékozott álláshoz jutni, miközben DIÓSZEGI és FAZEKAS mellett közreműködött LINNÉ alkotmányának (*Species plantarum* 1753) magyarításában:

*“De ez a majmoknak legkevélyebb fajja
Szívével az egész világot felfalja...”*

E bevezető gondolatok jegyében szeretnék biztos alapokat, és a további – elsősorban biológiai – tanulmányokhoz kellő ismereteket nyújtani. Szeretném továbbá olvasóimnak az alapismeretek iránti igényességét és a tudományok közös vetületei iránti érdeklődését erősíteni. Remélem megtalálják azt a gondolatsort is, amelyik szándékom szerint nagyon fontos, ám nem jelenik meg önálló cím és fejezet formájában.

Keszthely, 2005. január

Dr. Szabó István

Tartalomjegyzék

1	Az élet lényege.....	14
1.1	<i>Az élet fogalma.....</i>	14
1.2	<i>Az élet keletkezése - Eredet- és működésméletek.....</i>	15
1.3	<i>Az élő rendszerek alapelvei.....</i>	18
1.3.1	<i>Az anyag.....</i>	19
1.3.1.1	<i>Kémiai elemek.....</i>	19
1.3.1.2	<i>Vegyületek.....</i>	19
1.3.1.3	<i>Felépítés.....</i>	19
1.3.1.4	<i>Dinamika.....</i>	22
1.3.1.5	<i>Tömeghatástörvény és egyensúlyi állapot.....</i>	23
1.3.2	<i>Az energia.....</i>	23
1.3.2.1	<i>Az energia-megmaradási törvény érvényesülése élőlényekben.....</i>	24
1.3.2.2	<i>Az entrópia és az élet.....</i>	25
1.3.2.3	<i>Az élőlények energiaforrásai.....</i>	27
1.3.2.4	<i>Az élőlények energiatermelése.....</i>	29
1.3.2.5	<i>Gép és élőlény.....</i>	30
1.3.2.6	<i>A biokémiai reakciók munkavégző-képessége.....</i>	31
1.3.2.7	<i>Energia-átalakulás az élőlényekben – energiadús köztes anyagcsere termékek.....</i>	33
1.3.3	<i>Az információ.....</i>	34
1.3.3.1	<i>Információ áramlás az élőlényekben.....</i>	35
1.3.3.2	<i>Vezérlés és szabályozás.....</i>	35
1.3.3.3	<i>A szabályozókör időbeli sajátosságai.....</i>	36
1.3.3.4	<i>A szabályozó- és vezérlő rendszerek hierarchiája.....</i>	37
1.3.4	<i>A tudat – helyzet- és jövőkép.....</i>	37
2	Vegyületek.....	40
2.1	<i>Kötések és molekuláris kölcsönhatások.....</i>	40
2.2	<i>Proteinek (fehérjék).....</i>	40
2.2.1	<i>A proteinek szerkezete és konformációja.....</i>	41
2.2.2	<i>A proteinek fizikai kémiai sajátosságai.....</i>	43
2.3	<i>Nukleinsavak.....</i>	43
2.3.1	<i>DNS.....</i>	44
2.3.2	<i>RNS.....</i>	45
2.4	<i>Szénhidrátok.....</i>	46
2.5	<i>Lipidek.....</i>	47
2.6	<i>Másodlagos (növényi) anyagok.....</i>	47
3	A sejt.....	51
3.1	<i>Protocita (prokariota sejt).....</i>	53
3.2	<i>Eucita (eukariota sejt).....</i>	53
3.2.1	<i>Citoplazma.....</i>	54
3.2.2	<i>Riboszómák.....</i>	54
3.2.3	<i>Membránok.....</i>	56
3.2.3.1	<i>Plazmamembrán (plazmalemma).....</i>	58
3.2.4	<i>Sejtmag (nukleusz).....</i>	58

3.2.4.1	Kromoszómák.....	60
3.2.4.2	A kromoszomális DNS és a gének.....	61
3.2.4.3	Kromoszómakészlet, genom.....	62
3.2.4.4	Nukleóluszok (sejtmagvacskák).....	64
3.2.4.5	Maghártya.....	65
3.2.4.6	Protocita nukleoid, kromoszóma és plazmid.....	65
3.2.4.7	Extrakromoszomális DNS.....	65
3.2.5	Mitokondriumok.....	66
3.2.5.1	A mitokondriumok genetikai rendszere.....	67
3.2.6	Plasztiszok.....	68
3.2.6.1	Kloroplasztiszok.....	68
3.2.6.2	A plasztiszok genetikai rendszere, fejlődése és származása.....	70
3.2.7	Belső membránrendszer.....	71
3.2.7.1	Endoplazmatikus retikulum (ER vagy EPR).....	71
3.2.7.2	Golgi-készülék.....	73
3.2.7.3	Mikrotestek.....	74
3.2.7.4	Lizoszómák.....	75
3.2.7.5	Központi vakuolum.....	75
3.2.7.6	Lipidcseppek.....	76
3.2.7.7	Pulzáló vakuolumok.....	76
3.2.8	Filamentumok és tubulusok.....	76
3.2.9	Centriólum, magorsófonalak.....	77
3.2.10	Ostorok és csillók.....	78
3.2.11	Sejtfal.....	78
4	A sejt anyagcsere- és energia-forgalma.....	80
4.1	<i>Biokatalízis</i>	82
4.2	<i>Anyagfelvétel és leadás</i>	83
4.2.1	Szabad transzport.....	83
4.2.1.1	Diffúzió és permeáció.....	83
4.2.1.2	Ozmózis.....	85
4.2.2	Membráncsatornák – csatorna-fehérjék.....	87
4.2.3	Aktív transzport.....	88
4.3	<i>Disszimiláció</i>	89
4.3.1	Szénhidrát-lebontás.....	90
4.3.2	Biológiai oxidáció.....	91
4.3.2.1	Légzési lánc, foszforilálás, légzés-szabályozás.....	92
4.4	<i>Fotoszintetikus asszimiláció</i>	93
4.4.1	Fényabszorpció és a pigmentek gerjesztése.....	93
4.4.2	Fotoelektrontranszport, fotolízis és fotofoszforilálás.....	94
4.4.3	Anyagátalakulás a fotoszintézis során (sötét szakasz).....	96
4.4.4	Fotorespiráció.....	98
4.4.5	C ₄ -es fotoszintézis típus, dikarbonsav-út.....	98
5	Sejt és szervezet – sejt és élővilág.....	99
5.1	<i>Genetikai információhordozók, információ-áramlás</i>	100
5.1.1	A genetikai anyag szerveződése.....	100
5.1.2	A génhatás.....	101
5.1.2.1	A transzkripció.....	102
5.1.2.2	A transláció.....	102
5.1.3	A génműködés szabályozása.....	102
5.1.4	Az enzimműködés szabályozása.....	103
5.1.4.1	Intracelluláris enzim-szabályozás.....	104
5.1.4.2	Intercelluláris enzimszabályozás.....	104

5.1.4.3	A protein- és zsíryanycsere körfolyamat	105
5.2	<i>A genetikai információ megkettőződése és továbbadása</i>	106
5.2.1	A DNS megkettőződése	107
A sejt- és a magosztódás		107
5.2.2.1	Prokariota sejtosztódás	107
5.2.2.2	Típusos sejtosztódás	108
5.2.2.2.1	Amitózis	108
5.2.2.2.2	Mitózis	108
5.2.2.2.3	Meiózis	109
5.2.2.3	Atípusos sejtosztódások	110
5.3	<i>A genomika és a géntechnológia</i>	110
6	Testszerveződés és testi működés	113
6.1	<i>Omnipotencia, differenciálódás, regenerálódó képesség</i>	113
6.1.1	A megtermékenyített petesejt, a zigóta differenciálódása.....	114
6.2	<i>Kolónia</i>	116
6.3	<i>Telep</i>	117
6.4	<i>Szövet</i>	117
6.4.1	A gerinces állatok szövetei	117
6.4.1.1	Hámszövet	117
6.4.1.2	Kötő- és támasztószövet	118
6.4.1.3	Izomszövet	118
6.4.1.4	Idegyszövet.....	119
6.4.2	Növényi szövetek.....	122
6.4.2.1	Osztódó szövetek.....	122
6.4.2.2	Alapszövet	122
6.4.2.3	Bőrszövet	123
6.4.2.4	Szállítószövet.....	123
6.5	<i>Szervek</i>	123
6.6	<i>Szervrendszerek</i>	124
7	A biológiai sokféleség rendszertani megközelítése	124
7.1	<i>Autotróf és tápcsatorna nélküli heterotróf szervezetek</i>	125
7.1.1	Prokarioták.....	125
7.1.2	Eukarioták.....	125
7.1.2.1	Egysejtűek és sejthalmazosok	125
7.1.2.2	Telepesek.....	125
7.1.2.3	Szövetesek	126
7.2	<i>Tápcsatornával rendelkező heterotróf szervezetek</i>	127
8	Önfenntartás	130
8.1	<i>Kapcsolat és elkülönülés</i>	130
8.1.1	Kültakaró	130
8.1.2	Az immunrendszer	131
8.2	<i>Szervező szervrendszer</i>	132
8.2.1	Ingerlékenység és mozgás.....	133
8.2.2	Érzékszervek.....	133
8.2.3	Külső és belső elválasztású mirigyek	134
8.2.3.1	A neurohormonális rendszer	135
8.2.4	Idegrendszer.....	138

8.2.4.1	Magasabb rendű idegtevékenység.....	141
8.3	<i>Mozgás</i>	142
8.3.1	Vázrendszer.....	145
8.3.2	Izomzat.....	145
8.4	<i>Anyagforgalmi szervrendszer</i>	146
8.4.1	A fotoszintetizáló növények anyagforgalma.....	146
8.4.2	A heterotróf élőlények anyagforgalma.....	146
8.4.2.1	Táplálkozási szervek.....	147
8.4.2.2	Légzési szervek és a külső légzés.....	148
8.4.2.3	Keringési szervek.....	149
8.4.2.4	A vér és szerepe az anyagcserében.....	151
8.4.2.5	Kiválasztási szervek.....	153
8.5	<i>A szervezet homeosztázisa</i>	154
8.5.1	A szorongás.....	156
8.6	<i>A növekedés</i>	158
8.6.1	A növekedés mennyiségi elemzése.....	159
8.6.1.1	Növekedési jellemzők.....	160
8.6.1.2	A növekedési függvények.....	160
8.6.1.3	Energia átalakító képesség.....	161
8.6.1.4	A növekedés allometrikus jellege.....	161
8.6.2	A növekedés hormonális és vegyszeres szabályozása.....	162
9	Szaporodás és elterjesztés	164
9.1	<i>Az egysejtűek szaporodása</i>	164
9.2	<i>A soksejtűek szaporodása</i>	164
9.2.1	A magasabbrendű növények szaporodása.....	165
9.2.2	A magasabbrendű állatok szaporodása.....	167
9.2.3	A klón és a klónozás.....	169
10	Öröklődés és változékonyság	171
10.1	<i>Minőségi bélyegek öröklése</i>	172
10.2	<i>Mennyiségi bélyegek öröklése</i>	173
10.3	<i>Extranukleáris öröklés</i>	173
10.4	<i>Változékonyság (variabilitás)</i>	174
10.4.1	Mutáció.....	174
11	A populációbiológia és az evolúció	175
11.1	<i>Populációdinamika</i>	175
11.2	<i>Populációgenetika</i>	175
11.3	<i>Evolúció – biotikus evolúció</i>	176
11.3.1	A szellemi evolúció.....	178
11.3.2	A bioszféra evolúciója és a Gea-hipotézis.....	180
12	Felhasznált és ajánlott irodalom, az ábrák forrásai (*)	183

1 Az élet lényege

1.1 Az élet fogalma

Anyanyelvünk értelmező szótára szerint az élet általában a létezésnek valamely formája. Közelebbről a létezésnek az a tevékeny formája, amelyet különösen az anyagcsere, a növekedés és a szaporodás jellemez: növényi, állati, emberi lét; tehát valamely élő szervezetnek a létezési formája. A köznyelvben a születéssel kezdődő és a halállal végződő tevékeny létezési módot és állapotot értik alatta. A helyzet azonban bonyolultabbá válik akkor, amikor az emberi magzatot a fogantatástól vagy valamely későbbi időponttól élőnek tekintők a vitájára gondolunk, vagy azt tapasztaljuk, hogy egy szervezet, egy sejt vagy akár valamely része is életben tartható.

F. ENGELS (1878) természettudományos szempontból uralkodóvá vált nézete szerint az élet a fehérjetestek létezési módja, amelynek lényege a folytonos anyagcsere a környezettel, és ennek az anyagcserének a megszűntével megszűnik az élet is. Az elmúlt fél évszázadban azonban kiderült, hogy a nukleinsavaknak speciálisabb szerepük van az élet tulajdonságainak hordozásában, mint a fehérjéknek.

Ezzel együtt ma többen úgy vélik, hogy nem tudnak konkrét választ adni arra a kérdésre, hogy mi az élet. Az élő anyagot megnyilvánulásai, mozgásformái (az életjelenségek: anyagcsere, növekedés, fejlődés, ingerlékenység, mozgás, szaporodás, öröklődés, változékonyság) alapján jellemzik, és ezek különböztetik meg az élettelenektől. A klasszikus biológia álláspontja szerint élő az, eltekintve a kivételektől, amely az életjelenségeket együttesen mutatja. HUZELLA Tivadar (1886-1950) magyar orvosbiológus szavai jutnak eszembe („*az élet fogalma szabatosan nem határozható meg, csak az élőlények életjelenségeinek összességéből fogható fel...*”), amikor azt tapasztalom, hogy korunk vezető biológusai (pl. MAYNARD-SMITH 1986, SZATHMÁRY – MAYNARD SMITH 1999) definíció helyett kritériumokat ismertetnek, és a biológia feladatait fogalmazzák meg. SZENT-GYÖRGYI Albert szerint az életet a természettudós, a filozófus és a költő másképp látja, és mindhárom nézőpontnak létjogosultsága van. Ő maga csak természettudósként nyilatkozhat, de benne él valamennyire a másik kettő is: „*Élet van, csak önmagában nincs, mert nem lehet az anyagtól elválasztani. Az élet annak egy sajátossága, szerkezetének következménye. Olyan mint a*

mosolygás. Mosolygás is van, de nem választhatom le az ajakról, és nem tarthatom egyik kezemben azt és a másikban az ajkat, mert a mosolygás nem más, mint az ajak játéka”.

1.2 Az élet keletkezése - Eredet- és működésméletek

Az élet keletkezésére és eredetére az eredetelméletek, az élőlények felépítésére és életjelenségeikre a működésméletek vonatkoznak. Az élet eredetének magyarázata a bizonytalanság homályába vész. A megfigyelésekkel alátámasztható ellenőrizhetőség hiányzik, hiszen az eredet folyamán nem voltak jelen ismert megfigyelők, és „*a megfigyelések révén nem ellenőrizhető állítások valójában nem állítások*”. Ennek alapján a relativitás-, az atom-, a kvantumelmélet, a niche-elmélet tudományos elméletnek minősül. Mivel a világegyetem, a természet működésével foglalkoznak, közös néven ezeket is működésméletnek nevezik.

Tehát az élet eredetének kérdése kívül esik a legitim tudomány tárgykörén? Túl az egyes jelenségek magyarázatán, a fizikai tudományok a megismételhető és ismétlődő események alapján, az ismert törvények szerint előrejelzések, predikciók lehetségesek, de egyedi, nem ismétlődő jelenségek terén a tudomány lehetőségei korlátozottnak bizonyulnak. Az ősi földi feltételekre ugyanígy megengedhető visszafelé következtetni a jelenlegi körülményekből. Ezekkel a spekulatív elméletekkel szemben támasztott tudományos követelmény az, hogy a rendelkezésre álló adatokkal összhangban álljanak és valószínűsíthetők legyenek. A spekulatív rekonstrukciók nem cáfolhatók – pusztán hihetőnek és hihetetlennek tekinthetők.

Amennyiben elfogadjuk, hogy életjelenségek alapjait biztosító különlegesen összetett fehérjéket, nukleinsavakat és egyéb biológiai molekulákat a természetben jelenleg csak élő szervezetek képesek létrehozni, s ha a végtelenül hosszú világegyetemben ez mindig így volt, akkor fel kell tételeznünk egy időszakot a múltban, amikor az élet – élettelen anyagból keletkezve – *de novo* – megjelent. WÖHLER 1828-ban előállította a karbamidot, ezzel bizonyította a szervetlen és a szerves anyagi világ közötti kapcsolatot. PASTEUR sterilizálási kísérleteivel 1864-ben lerombolta a heterogenezis mítoszát.

Az ARRHENIUS nevéhez fűződő pánspermia elmélet szerint (1903) az élet spórák formájában terjedt a bolygóközi térben a Nap sugárzásának hajtóerejével. Fred HOYLE és társa az 1970-es években csillagközi porszemeken infraszpektroszkópiával baktérium anyagokat

mutatott ki. A German Aerospace Center kísérletei szerint egy cm átmérőjű agyag és vörös homokkő golyók belsejében a *Bacillus subtilis* sejtei túléltek a kozmikus sugárzást.

A kozmikus és földtörténeti bizonyítékok alapján naprendszerünk bolygói, a meteoritok és a naptörmelékek egy ősi kozmikus ködből nagyjából egy időben keletkeztek, így Földünk a radiometriás kormeghatározás szerint 4,6 milliárd éves. Az élet első bizonyítékainak sokáig a Dél-Zimbabweben felfedezett 2,7 milliárd éves stromatolithokat (fotoszintetizáló algák kövületeit tartalmazó kőzeteket) tartották, majd az 1960-as évek végén már 3,2 milliárd éves életre utaló mikro- és molekuláris kövületekre bukkantak. Azóta az első eukarióta sejtek morfológiai maradványait 3,4 milliárd, a többféle sejtípust tartalmazó, élő szervezet sejtjeihez hasonló maradványokat 3,8 milliárd évesnek becsülik. A Föld és a földi élet keletkezése közötti feltételezett időtartam erősen lerövidült. PONNAMPERUMA és WOESE (1979) szerint az sem lehetetlen, hogy az élet a Földdel egyidős, sőt a bolygó születésének velejárója lehetett.

Az élet keletkezéséről 1953-ban jelent meg S. MILLER tanulmánya a prebiotikus (élet előtti) evolúció neodarwinista szemléletű (ld. 11.3. fejezet) magyarázatára: az élő sejtek molekuláris szerveződésében mutatkozó különleges összetettség egyszerű vegyületek véletlenszerű kölcsönhatásaiban jött létre. Az elmélet előzményeihez tartozik OPARIN (1924) kémiai evolúcióelmélet modern formájának kezdetét jelentő, HALDANE (1928) az élet keletkezéséhez szükséges környezeti feltételeket elemző, BERNAL (1947) biomonomerek és biopolimerek keletkezésének lehetséges folyamatait feltáró munkája. Az elmülethez UREY a Föld légkörének evolúciós modelljével járult hozzá (reduktívól oxidatív atmoszférává alakulás). Ezt együttesen a kémiai evolúció modern elméletének nevezzük. Szintén 1953-ban látott napvilágot WATSON és CRICK modellje a DNS kettős spirál szerkezetére (ld. 2.3.1. és 5.1. fejezet): az élet sokfélesége (diverzitása) és az egyes generációk között az információ átadása a DNS molekulákban elhelyezkedő "egyszerű" kódok formájában adódik át.

WATSON és CRICK eredménye az élet szerkezetére és működésére (működéselmélet), MILLERÉ az élet eredetére, illetve az evolúció biológiai fázisát megelőző kémiai evolúciós fejlődésre vonatkozik (eredetelmélet). – Vissza lehet-e vezetni az élet valamennyi ismert megjelenési formáját az egyszerű vegyületek véletlenszerű kölcsönhatásaira? Egyes kutatók bíznak, mások kételkednek abban, hogy a két irányzat (illetve elmélet) előbb vagy utóbb kiegészíti egymást. A kétkedések forrását az alábbiak szemléltetik, és egyben mutatják tudásunk jelenlegi határait, amelyeken túl a feltételezésekre, a hitére támaszkodhat az ember.

A világot időnként megdöbbenő eredményekkel (pl. az emberi népesség globális problémái) mellbevágó Massachusetts Institute of Technology munkatársa, M. EDEN (1966) valószínűség-számítási alapon arra a következtetésre jutott, hogy *„számúzniunk kell a véletlenszerűséget, hogy az legfeljebb jelentéktelen, de semmiképpen sem döntő szerephez jusson”* az élet eredetére vonatkozó elméletekben, mert nagy sebességű és nagy teljesítményű számítógépeken futtatott programokból szerzett tapasztalatok szerint a neodarwinista evolúciós modell alapján - véletlenszerű folyamatokkal - tízmilliárd év sem elegendő a biokémiai világ összetettségének létrejöttére. Természetesen történhetett hibás programozás is, és csak remélhető, hogy a feltételezett eseménysor közelít a valósághoz.

A prebiotikus kísérletekben húsz fehérjealkotó aminosavból tizenkilencet, nukleinsavak öt nukleotid-bázisának mindegyikét és számos alapvető szénhidrátot sikerült előállítani a feltételezett ősléggör és drasztikus hatások (villámlás, ultraibolya fény, lökéshullámok, hőhatás, stb.) alkalmazásával. Az így létrejött „ősleves” egyéb fontos komponensekben is gazdag lett, ám a spontán polimerizációhoz túl híg lehetett, és egyelőre semmi geológiai bizonyítéka (lelete) sincs.

A biopolimerek prebiotikus szintézise során a DNS keletkezése még a fehérjék előállításánál is problematikusabbnak bizonyul. A DNS helikális szerkezetének (ld. 2.3. fejezet) egyik elengedhetetlen feltétele, hogy a dezoxi-ribóz cukor csoportjai között 3'-5' kötések létesüljenek. A prebiotikus kísérletek zömében 2'-5' kötések vannak túlsúlyban. A DNS bázisainak sorrendje szintén döntő fontosságú. A kísérleti rendszert érő energiaáramlás hatására a nukleotidok összekapcsolódnak, de nem megfelelő szerkezetben. Ez a probléma a konfigurációs entrópia (ld. 1.2. fejezet) munkaigényével kapcsolatos, és egyelőre nem ismeretes az a megfelelő energia-átalakító mechanizmus (biológiai katalizátor), amely a konfigurációs entrópia munkaigényét biztosítaná a DNS és a fehérjék szintéziséhez.

Az entrópia és az információ között általános összefüggés van, ezért a klasszikus termodinamika összefüggéseivel becsülhető egy rendszerben a fehérjék és DNS szintetizálásához szükséges energiaáramlás nagysága. Rendezett rendszer, például egy kristály szerkezete kevés utasítással megadható, a kezdeti szerkezet vagy egység-szekvencia definíciója egy elrendeződési utasítás szerint a végtelenségig ismétlődhet. Véletlen szekvenciájú, DNS-szerű polinukleotid leírása a négy nukleotid végső arányának és a véletlen összeállítás módszerének megadásával röviden megadható a vegyész számára. Összetett szerkezet, például DNS leírásához már terjedelmes, kötetnyi utasítássorozat szükséges, mert a szekvenciát

betűről-betűre, négy milliárd utasítással kell megadni. Tehát a kristályok redundáns rendezettsége kevés analógiát ígér az élő szervezetekre jellemző specifikus összetettséggel.

A biológiailag működőképes fehérjék (L-aminosavakból állnak, α -peptidkötéseket tartalmaznak, specifikus aminosav sorrenddel rendelkeznek - ld. 2.2. fejezet) vonatkozó prebiotikus kísérletekben D- és L-aminosavakat közel azonos arányban, α -kötéseket nem, csak β - és γ -kötéseket sikerült produkálni, a képződött protenoidok véletlenszerűek voltak, és semmiféle katalitikus hatást sem mutattak. A konfigurációs entrópia járulékos kódolási munkaigényét, amely a véletlenszerű polipeptidek fehérjékké történő átalakításához szükséges, még nem sikerült biztosítani.

A biokémiai evolúció elméletében még hatalmasabb szakadék tátong a molekuláris szerveződés és a sejtes szerveződés fejlődési szintje között. Milyen képződmények alkotják az átmenetet a makromolekulák és az első élő sejtek között? Az élet eredetének legfeltáratlanabb területe a molekuláris építőkövekből létrejött makromolekulák összehangolt rendeződése, amellyel átlépik az élet küszöbét. Az „elősejtek” több, egymástól eltérő változatát feltételezik az ismertebb OPARIN-féle koacervátumokon kívül, de a modellek geokémiai valószínűsége kicsiny.

A Nobel-díjas PRIGOGINE és munkatársai (1972) az egyensúlyi termodinamika segítségével kiszámították az élet spontán keletkezésének valószínűségét, és tapasztalataikat így összegezték: *„Annak valószínűsége, hogy normál hőmérsékleti körülmények között egyes molekulák makroszkopikus számban összeállva nagymértékben szervezett és az élő szervezetek összehangolt tevékenységeit mutató rendszerekbe tömörüljenek, igen kicsi. Az tehát, hogy az élet jelenlegi formájában spontán alakult volna ki, rendkívül valószínűtlen, még a prebiotikus evolúcióhoz rendelkezésre álló évmilliárdok leforgása alatt is.”* MILLER, aki munkásságát a szilárd kísérleti alapokon nyugvó életeredet kutatásnak szentelte, 1974-ben így nyilatkozott: *„Bizonyosra vesszük, hogy a (kémiai evolúciós) alapfolyamat helytálló. Olyan biztosak vagyunk ebben, hogy elkerülhetetlennek látszik, hogy hasonló eseménysor a Naprendszer más bolygóin is bekövetkezett”.*

1.3 Az élő rendszerek alapelvei

Az élőlények alapvető, őket a bioszféra élettelen komponenseitől megkülönböztető sajátosságai:

- a környezetből energiát képesek felvenni, amit az életjelenségek között saját növekedésükre használnak,

- a környezetváltozásokra saját belső rendszerüknek az anyagcserén alapuló megváltoztatásával reagálnak, ami életben maradásukat biztosítja,
- képesek saját fajuk reprodukciójára, azaz magukhoz hasonló, termékeny utódokat hoznak létre (proliferáció).

1.3.1 Az anyag

1.3.1.1 Kémiai elemek

A 105 ismert kémiai elem közül viszonylag kevés szükséges az élethez és kevés fordul elő gyakran és nagy mennyiségben az élőlények szervezetében:

- makroelemek - viszonylag nagy mennyiségben: C, H, O, N, S, P, K, Fe, és ezeken kívül az állatokban Na és Cl;
- nyomelemek (mikroelemek) - kis mennyiségben: Cu, Mn, Zn, Mo, Co, és különösen az állatokban F, I, Se, a növényekben Cl, B;
- további, ún. változó elemek csak egyes élőlényekben vagy bizonyos esetekben fordulnak elő.

1.3.1.2 Vegyületek

Az élőlényeket alkotó vegyületek közül mennyiségi szempontból a víz áll az első helyen (az ember testében kb. 60 %, a medúzáéban 96 %). A víz szállító- és oldószer, a legtöbb anyagcserefolyamat közege, s a szerves anyagok, az ásványi anyagok nagy része vizes oldatban van.

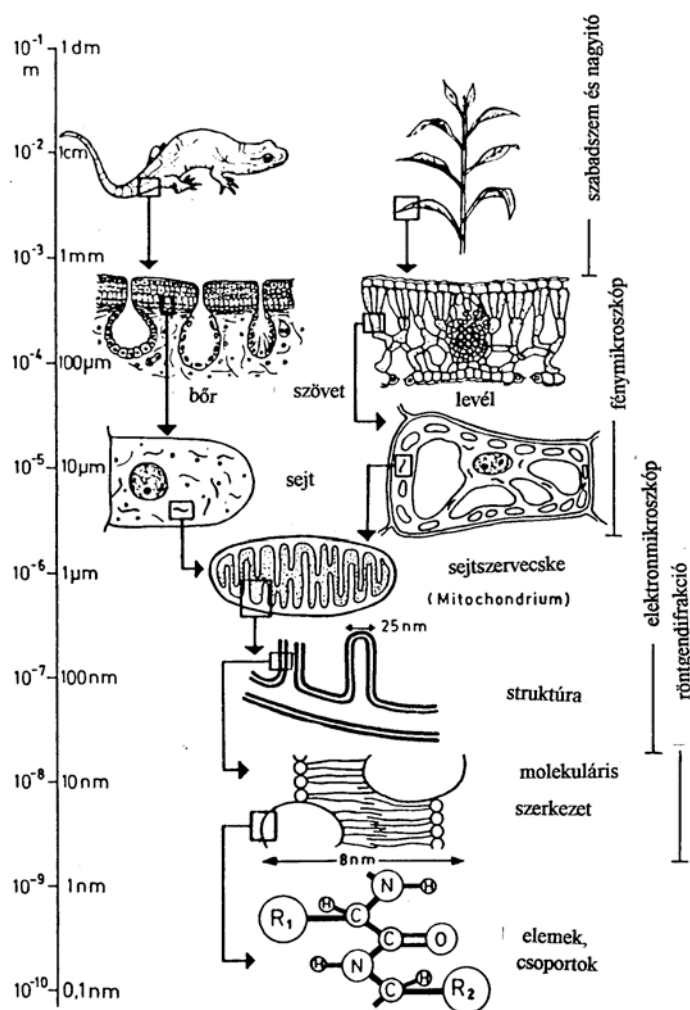
A C, H, O, N, S és P elemekből összetevődő szerves vegyületek száma az élőlényekben igen nagy, és túlnyomórészt a fehérje (protein), zsír (lipid), cukor (szénhidrát) és nukleinsav anyagcsoportokhoz tartoznak. Az állatvilágban a fehérjék, a növényvilágban a szénhidrátok jellemzőek.

1.3.1.3 Felépítés

Az élőlények molekuláris szinten is megfigyelhető, bonyolult felépítéssel rendelkeznek. Határtalan heterogenitás és komplex strukturáltság jellemző rájuk, szemben az emberkéz gyártotta motorral, amely meghatározott mennyiségű, önmagában homogén, álló vagy mozgó alkatrészből tevődik össze.

A sejt, amelyet a 19. században valamennyi élőlény alapvető egységként fedeztek fel, az egysejtűeknél és a soksejtűeknél egyaránt bonyolult felépítésű, nagy fokú szervezettséget mutat. A sejt élő anyagát, a protoplazmát plazmamembrán veszi körül és a sejt belső membránok révén funkciók terekre tagolódik - kezdve a fénymikroszkóp segítségével felfedezett sejtmagtól az elektromikroszkóppal tanulmányozható számos differenciálódásig (mitokondriumok, plasztiszok, lizoszómák stb.).

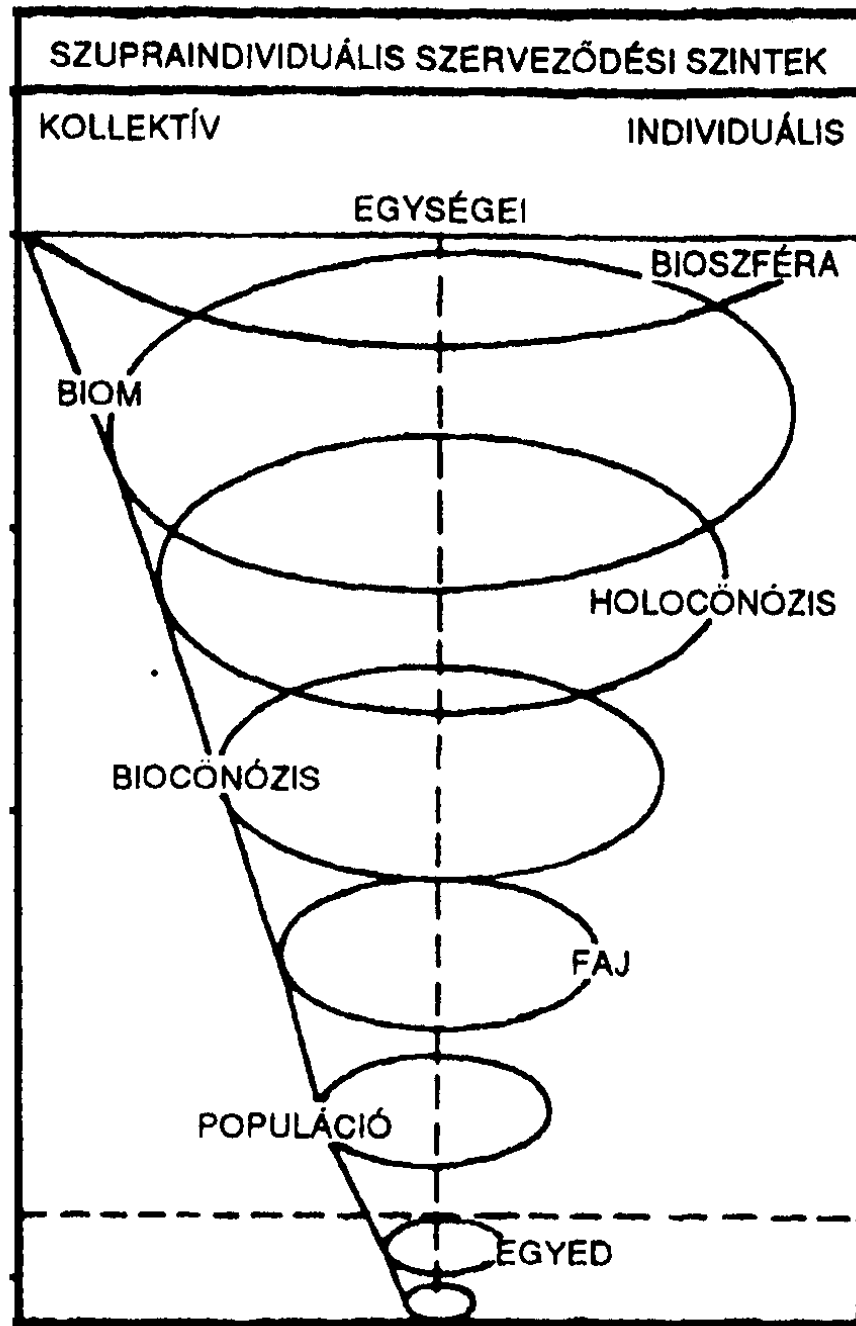
A soksejtű élőlények szöveteit hasonló alakú és működésű sejtek sokasága képezi. A szövetek szövetrendszerekké, majd szervekké egyesülnek. Az élő egyedek szervezetét szervek illetve szervrendszerek alkotják. (1. ábra)



1. ábra Az állati és növényi szervezet komponensei a méret- és láthatósági tartományokkal

Az egyedek populációkban élnek. A populációk az egyed feletti (szupraindividuális) szerveződés alapegységei. A fajok populációikban léteznek, és a fajok átalakulásának alapja a

populációk genetikai megváltozása. A fajok populációi biocönózisokat alkotnak, amelyek a biomok és a bioszféra határtalan heterogenitásához - amit biodiverzitásnak is neveznek - járulnak hozzá. (2. ábra)



2. ábra A bioszféra szerveződése (Dévai et al. nyomán)

Az élőlények felépítését (struktúra) és életfolyamatait (működés, funkció) rendszer-szemléletben (szisztéma) lehetséges megközelíteni. A rendszerek modellekkel szemléltethetők. Rendszer-modell az élet szerveződésének bármelyik fentebb tárgyalt szerveződési szintjére

készíthető - pl. határfelületi jelenségekre membrán modell, életközösségre (biocönózisra) cönoszisztéma, élőlény és környezet kapcsolatokra ökológiai rendszer modell (ökoszisztéma).

1.3.1.4 Dinamika

Az élet elsősorban folyamat és másodsorban struktúra, abban az értelemben, hogy a struktúrák nem állandóak, hanem folyamatosan lebomlásokon és újjáépüléseken mennek keresztül. Ezeknek a körfolyamatoknak (kicserélődés, turnover) a sebessége különböző.

A körfolyamat mértékegysége a **biológiai felezési idő** (BFI), az az időtartam, amely alatt egy bizonyos alapanyag mennyiségnek a fele új molekulává alakul át. Ha a folyamat sebessége $dN/dt = kN$, vagy másképpen $N_t = N_0 e^{-kt}$, akkor $N_t = N_0/2$ behelyettesítéssel

$$\text{BFI} = \ln 2/k.$$

N_0 az anyag kezdeti, és N_t a t időpontban mért mennyisége, a k helyett vezessük be κ -t, s az legyen a biológiai kiválasztási állandó, amely $1/\tau$ -val egyenlő (τ = az átlagos biológiai tartózkodási idő).

$$dN/dt = \kappa \cdot N \text{ vagy másképpen } N_t = N_0 e^{-\kappa t}$$

$$1/2 N_0 = N_0 e^{-\kappa (\text{BFI})}$$

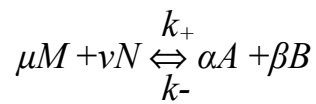
$$\text{BFI} = \ln 2/\kappa.$$

A kicserélődési idő fajonként, szövetenként és anyagról-anyagra változik. Például a BFI patkány vércukor esetében 19 perc, májglükogénre 20-24 óra, izomglükogénre 3-4 nap, emberi májfehérjére 8-10 nap, tartalékszírra 16-20 nap. Az ATP kicserélődési rátája igen magas. Az ember szervezetében minden egyes ATP molekula naponta 2400 alkalommal felépül és lebomlik.

Az élőlények a környezetükből szelektív felvétellel anyagokat felhalmozni is képesek. Például az ember szervezetében a C 200-szor gyakoribb, a Fe 300-szor kevésbé gyakori mint az anorganikus környezetében. Általában a kis atomtömegű elemek dúsulnak a szervezetekben, de a nagy atomtömegűek is szükségesek {pl. Mo 95,9 a nitrogénasszimiláció fontos enzimjeinek (nitrát-reduktáz, nitrogénáz) alkotórésze}. A **koncentrációviszony** a kérdéses elem élőlényben és annak környezetében mért koncentráció-értékeinek hányadosa. Az akkumuláció mértékét a hányados nagyságrendjét jelentő **koncentrációfaktor** jelzi.

1.3.1.5 Tömeghatástörvény és egyensúlyi állapot

A zavartalanul lejátszódó visszafordítható kémiai reakciók (pl. $1 \text{ H}_2 + 1 \text{ I}_2 \Leftrightarrow 2 \text{ HI}$) termodinamikai egyensúlyi állapothoz vezetnek, ahol az oda- és visszaalakulási reakciósebességek egyenlők. A sebességi állandók hányadosa az egyensúlyi állandó. A



reakcióra a **tömeghatástörvény**:

$$[M]^\mu [N]^\nu / [A]^\alpha [B]^\beta = k_+ / k_- = K .$$

Az egyensúlyi állandó (K) hőmérsékletfüggő. A katalizátorok nincsenek hatással az egyensúlyi állandóra és a termodinamikai egyensúly helyzetére (így az enzimek mint biológiai katalizátorok sem), csak az egyensúly bekövetkezésének idejét befolyásolják.

Abban az esetben, ha az egyik oldalon a kémiai reakcióba folyamatosan új anyagok lépnek be, mialatt a másik oldalon a keletkezettek eltávoznak, nyílt kémiai rendszerről van szó. Dinamikus egyensúly következhet be abban az esetben, ha a rendszerben szereplő anyagok átáramlási sebessége és koncentrációja állandó. Ez egy időtől független állapot, amelyet stacionárius állapotnak (steady state) neveznek. A biokémiai reakcióláncok alapján minden sejt, minden élőlény nyílt rendszert képez.

A reakciólánc eredő sebességét a **leglassúbb lépés** határozza meg (kulcsreakció, szűk keresztmetszet, generáló elem). Előtte az anyagcsere köztes termékeinek koncentrációja nagyobb, utána kisebb. Az eredő sebesség változása a kulcsreakció befolyásolásának szabályozásán nyugszik. A katalizátor (enzim) megváltoztatja a folyamatállandókat, és - ellentétben a zárt rendszerrel - a stacionárius koncentrációkat.

1.3.2 Az energia

Az energia a munkavégzőképesség. Az energiaváltozásban ható törvényeket a termodinamika fogalmazza meg.

A termodinamikai rendszer a világnak egy tetszőleges, a környezetétől valóságos vagy képzeletbeli falakkal elhatárolt része. A homogén rendszer minden részében azonos makroszkópikus egységekből áll. A heterogén rendszer különböző homogén fázisokból tevődik össze. Az élő anyag **háromfázisú diszperz rendszernek** tekinthető. A környezettel való anyag- és energiacsere alapján van

- izolált (elszigetelt) rendszer (nincs kapcsolat),
- adiabatikus rendszer (nincs energiacsere),
- zárt rendszer (anyagcsere nem lehetséges, de az energia-kicserélődés minden formája igen),
- nyílt rendszer (az anyag- és energiacsere minden formája lehetséges).

Valamennyi sejt és valamennyi élőlény nyílt rendszer, amelyre anyagforgalom és ahhoz kapcsolódva energia-áramlás jellemző.

A klasszikus termodinamikai tételek csak a zárt rendszerek egyensúlyi állapotaira vagy visszafordítható folyamataira érvényesek. Először termodinamikai szempontból irreverzibilis folyamatok kifejlesztése (PRIGOGINE) tette lehetővé a szervezetben - mint termodinamikai egyensúlyban nem lévő nyílt rendszerben - lejátszódó irreverzibilis folyamatok kvantitatív leírását.

1.3.2.1 Az energia-megmaradási törvény érvényesülése élőlényekben

A termodinamika 1. főtétele (MAYER, HELMHOLTZ és JOULE):

izolált rendszerben végbemenő valamennyi változás esetén a rendszer összenergiája állandó.

A rendszer energia készlete magában foglalja külső kapcsolatai révén külső energiát (helyzet, más rendszerhez viszonyított sebesség stb.), és belső paramétereinek alapján belső energiát. A zárt rendszer belső energiaváltozása (ΔU) állapotváltozás esetén a környezettel kicserélt hőmennyiséggel (Q) és munkával (W) függ össze:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \text{ vagy differenciális formában } dU = dQ + dW.$$

A dW lehet expanziós- ($= -p \cdot dV$; ahol p = nyomás dV kiterjedés változás), felületi- ($= \sigma \cdot do$; ahol do = felületcsökkenés, σ felületi feszültség), kontrakciós- ($= f \cdot dl$; ahol f = erő, dl megrövidülés), elektromos- ($= \varphi \cdot dq$; ahol φ = elektromos potenciál, q = elektromos töltés), kémiai munka ($= \mu_i \cdot dn_i$; ahol n_i az i anyag szállított mol mennyisége μ_i kémiai potenciállal szemben).

Összefoglalva, egy rendszer belső energia változása:

$$dU = dQ + dW = dQ - p \cdot dV + \sigma \cdot do + f \cdot dl + \varphi \cdot dq + \mu_I \cdot dn_I + \dots$$

A dQ egy intenzitás tényező (hőmérséklet T) és egy kapacitás tényező (entrópia S) szorzata lehet:

$$dU = dQ + dW = TdS - p \cdot dV + \mu_I \cdot dn_I + \dots \text{ (GIBBS-egyenlet).}$$

1.3.2.2 Az entrópia és az élet

Az 1. főtétel alapján a természeti folyamatok visszafordíthatóak lennének. A valóságban visszafordíthatatlanok.

A visszafordíthatatlanság mértéke az entrópia (S , CLAUSIUS 1859). Az erősen irreverzibilis folyamatokat entrópia növekedés jellemzi. Zárt rendszer entrópia növekedése T hőmérsékleten, reverzibilis folyamat esetén:

$$dS = dQ_{\text{rev}} / T \quad (\text{in J/K}),$$

ahol dQ_{rev} a reverzibilis folyamatban kicserélődött hőmennyiség.

Minden zárt rendszerben végbemenő irreverzibilis folyamat esetén érvényes, hogy

$$dS > dQ_{\text{rev}} / T.$$

Izolált rendszerben (nincs hőcsere) az entrópia nem csökkenhet, csak növekedhet (irreverzibilis folyamatoknál) vagy határesetben állandó maradhat (egyensúly esetén):

$$dS \geq dQ_{\text{rev}} / T. \quad - \text{ Ez a termodinamika 2. főtétele (entrópia törvény).}$$

A teljes entrópia változás:

$$dS = dS_{\text{rev}} + dS_{\text{irr}}, \quad \Delta S_{\text{irr}} \geq 0$$

A természetben maguktól végbemenő folyamatok egyensúlyi állapotra törekednek. Ez a nagyobb valószínűségnek és a részegységek nagyobb rendezetlenségének állapota. Minden rendezettségi állapot (koncentráció-, hőmérséklet-, nyomás - vagy egyéb különbségek) magasabb rendezetlenségi állapotra törekedszik (a különbségek kiegyenlítődése = entrópiánövekedés).

BOLTZMANN (1866) szerint a 2. főtétel így is értelmezhető:

"a természet a valószínűtlentől a valószínű állapot felé törekszik". Ez érvényes a természet egészére (az univerzumra) és minden egyes más izolált rendszerre mint valószínűségi állítás; annál nagyobb pontossággal, minél nagyobb a rendszert felépítő részek száma. A termodinamikai valószínűség (Ω) és az entrópia összefügg:

$$S = k \cdot \ln \Omega, \text{ ahol } k = 1,37 \cdot 10^{-23} \text{ J/K.}$$

A rendezetlenebb állapot a valószínűbb. *Az entrópia tehát a rendezetlenség mértékének is nevezhető.*

Az élőlények rendezetlenségből rendezettséget produkálnak. Fizikai és kémiai egyenlőtlenségeket alakítanak ki és tartanak fenn magukban, amelyeken az élő rendszerek munkavégző képessége nyugszik. Az egyedfejlődés (ontogenezis) és a törzsfjlődés (filogenezis) folyamán mind újabb struktúrák képződnek, vagyis magasabb rendezettségi állapotot érnek el. Ez a látszólagos entrópiacsökkenés azáltal oldódik fel, hogy a szervezetek nem izolált rendszerek, hanem állandó anyag- és energiacsere kapcsolatban vannak a környezetükkel.

A nyílt rendszerek entrópiaváltozása a szervezetben végbemenő folyamatok változásai ($d_i S$) és a környezettel való anyag- és hőcserélődés változása ($d_e S$) alapján megy végbe:

$$(dS) = (d_i S) + (d_e S)$$

A 2. főtétel alapján a $d_i S$ csak pozitív, vagy határesetben nulla lehet; ezzel szemben $d_e S$ pozitív és negatív értékeket egyaránt felvehet (entrópiafelvétel, illetve entrópialeadás).

Nyugalmi állapotban lévő rendszerek folyamat egyensúlya (steady state):

$$dS/dt = d_i S/dt + d_e S/dt = 0$$

Azt jelenti, ha $d_i S > 0$:

$$d_i S/dt = - d_e S/dt > 0$$

Az entrópiatermelés ($d_i S/dt$) az entrópia kijutása a rendszerből a környezetbe.

Minden élőlény, minden sejt nyitott termodinamikai rendszer, amely a szerves anyagok potenciális kémiai energiáját folyamatosan munkavégzési energiává alakítja, és végül a környezetébe hőenergiaként leadja. A biológia általános tétele szerint **"az élő rendszerek soha sincsenek egyensúlyban, és állandó munkát végeznek a saját energiájuk árán a külső környezetükben fennálló egyensúllyal szemben"** (BAUER 1935). Az élőlények struktúrái az "üzemi" hőmérsékleten labilisak és folyamatosan pusztulnak. A pusztulás kiegyenlítésére

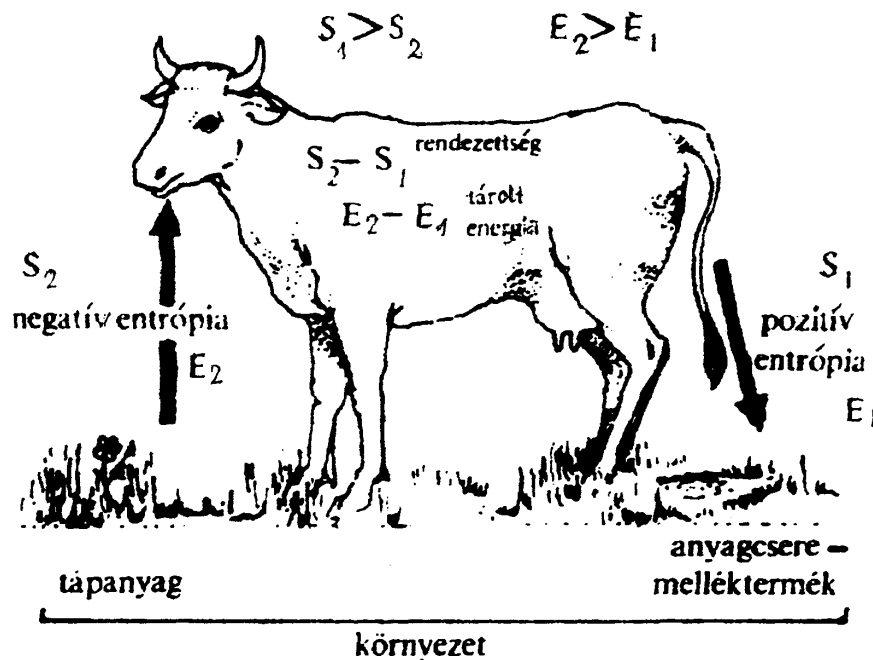
felépítő folyamatok formájában állandó belső munka szükséges. Ennek a folyamatnak a megszakadása a struktúráltság elvesztését jelenti, vagyis a halált. A hulla maximális entrópiával kerül termodinamikai egyensúlyi állapotba.

Energetikai szempontból összefoglalva az élőlények legfőbb jellemzője az, hogy a környezet energiájának "rovására" saját entrópiájukat (rendezetlenségüket) csökkenteni, így negentrópiájukat (szervezettségük szintjét) növelni képesek.

1.3.2.3 Az élőlények energiaforrásai

Az **autotróf szervezetek** (zöld növények, baktériumok egy része) szervetlen tápanyagokból és kiegészítő energiaforrásból szerves vegyületeket állítanak elő; mindenek előtt széndioxidból és vízből szénhidrátot. Ehhez napenergia (fény) szükséges. A szintelen baktériumok szervetlen anyagok oxidációja révén jutnak energiához (kemoszintézis). A heterotróf szervezetek (valamennyi állat - beleértve az embert, gombák, számos baktérium, kevés zöld színanyag nélküli növény) energiaforrásként szerves anyagokat igényelnek.

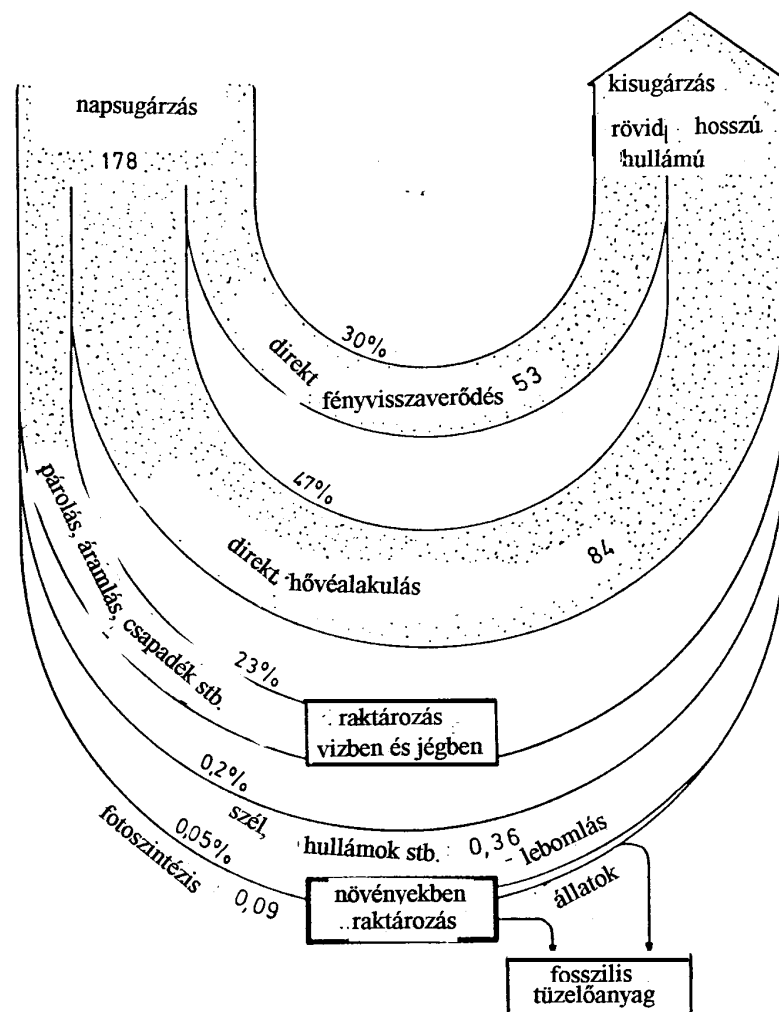
A **heterotróf szervezetek** felvett tápanyagai magasabb rendezettségűek (kisebb entrópia), mint a kilépő anyagcseretermékek. A szervezetek lebontják az anyagokat és "negatív entrópiából" (*negentrópia* - SCHRÖDINGER) táplálkoznak, és a rendezettséget a tápanyagból a rendszerbe átviszik. (3. ábra)



3. ábra Az állati szervezet entrópia- és energetikai állapotváltozásai

A táplálkozáson keresztül a fajok **élelmezési láncokat** képeznek, amelyeknek az elején az autotróf növények vannak. A földi élet elsődleges energiaforrása a Nap. A Földet $178 \cdot 10^{15}$ Js⁻¹ sugárzás éri, amelynek 30 %-a az atmoszféra felszínéről visszaverődik, és további 25 % elnyelődik, így a földfelszín csak 45 % éri el. Ez a globálsugárzás $80 \cdot 10^{15}$ Js⁻¹, amelyből kb. 45 % ($36 \cdot 10^{15}$ Js⁻¹) tartozik a fotoszintetikusán aktív sugárzás (PAR) 380-720 nm hullámtartományába. A növények átlagos napfény-hasznosítási foka, **efficienciája** 0,25 % (művelt mezőgazdasági területeké 2-3 %, a kukoricáé 5-10 %, a tengereké 0,12 %). Tehát a növényzet az asszimilátumokban a napsugárzás 0,05 %-át, a globálsugárzás 0,11 %-át tudja megkötni, ami átlagosan $9 \cdot 10^{13}$ Js⁻¹. A növényvilág szárazanyagban kifejezett tömegprodukcója $1,5 \cdot 10^{14}$ kg/év.

A növényvilág primér produkciója = bruttó produkció mínusz anyagveszteség a légzés által.

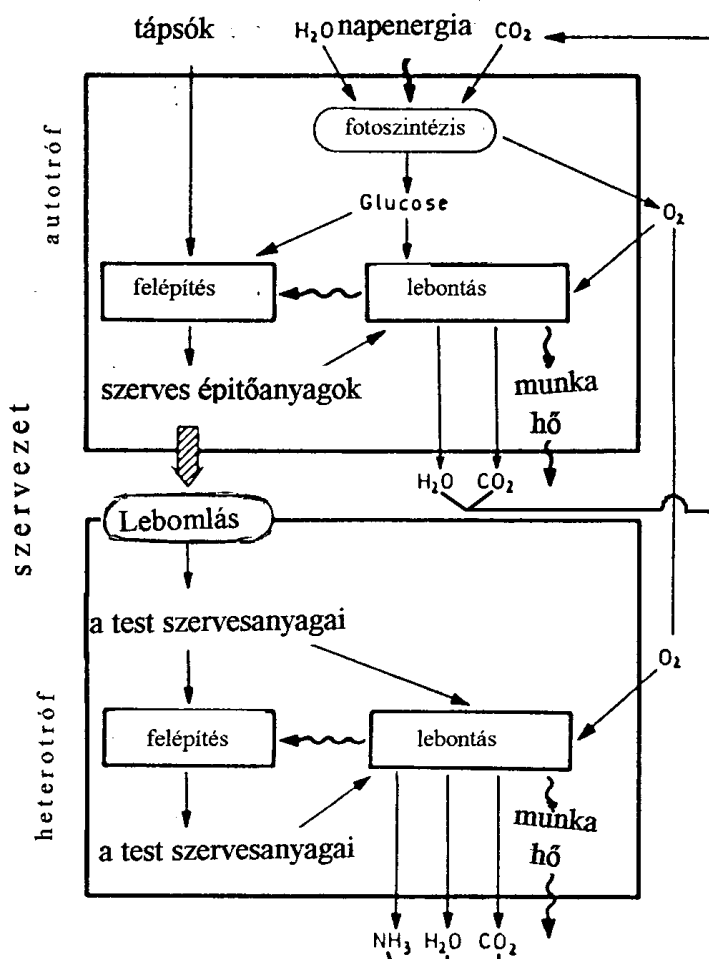


4. ábra A Föld napsugárzással összefüggő energiaforgalma

A növényevők a "lelegelt energiának" csak 15 %-át raktározzák el szöveteikben. A tápláléklánc minden további fokán ismételtelen elvész 80-90 % energia. Végül az összes beérkezett energia hosszú hullámú sugárzásként visszatér a világűrbe, amennyiben az üvegházhatás nem gátolja. (4. ábra)

1.3.2.4 Az élőlények energiatermelése

Az élőlények „üzemanyagai”, amelyek kémiai energiájuk révén a sokszínű életfolyamatok számára energiát biztosítanak, szervesanyagok: mindenekelőtt szénhidrátok, majd a zsírok és végül részben a fehérjék. Az autotróf szervezetek ezeket az üzemanyagokat maguk állítják elő, a heterotrófok az autotrófoktól veszik át.



5. ábra Autotróf és heterotróf élőlények anyag- és energiaforgalma

A kémiai kötésekben tárolt energia a szervesanyagok lebomlása (katabolizmus, disszimiláció) során szabadul fel. A folyamat végbemehet oxigén nélkül (anaerob), energiában viszonylag gazdag végtermékek (savak, etanol) képződésével (erjedés), de leggyakrabban oxigén felhasználásával (aerob) játszódik le, energiaszegény végtermék és víz keletkezik, mialatt több energia szabadul fel (légzés).

A **légzés**, bruttó egyenletét tekintve az égéssel azonos, pl.

a glükóz esetében: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$

vagy valamely zsír (triolein) esetében: $C_{57}H_{104}O_6 + 80 O_2 \rightarrow 57CO_2 + 52H_2O$

Az égés során a szén oxidációja a legfontosabb energiatermelő folyamat, de a légzésbe a széndioxid jelentős energiaváltozás nélkül is beléphet (pl. szerves savak lebontása (dekarboxilálás), vagy energia nyerhető a szubsztrát dehidrálása során keletkező hidrogén oxidációja során is. (5. ábra)

1.3.2.5 Gép és élőlény

Az élőlények felépítését és működését a mechanikai rendszerekével egybevetve értelmezni és magyarázni alapvető hiba. (Más területeken is lehetünk következetlenek: ld. 1.4. fejezet.) Mégis gyakran összehasonlítják őket, mert belső energiaváltozási folyamatai révén mindkettő külső munka végzésére képes. Az élőlények nagy hőingadozások nélkül, lényegében izoterm feltételekkel működnek, és a „tüzelőanyagaik” energiája közvetlenül változik hasznos munkavégzéssé, tehát olyan hő- majd mozgási energiává alakítás nélkül, mint a kalorikus hőerőgépeknél. Az **élőlények energiaforgalma** egyrészt belső munkavégzésre, vagyis struktúrájuk fenntartására, javítására, másrészt külső munkavégzésre szolgál. Mindkét folyamat önmagától, egyidejűleg és egymással szoros kapcsolatban zajlik. A gépek szabályozási rendszerében nem szerepel önfenntartási, önjavítási és önreprodukciós funkció. A nyugalomban álló gép nem végez munkát, nem kíván energiaellátást, gyakorlatilag változatlan állapotban megmarad. Az élőlénynek akkor is szüksége van energiára, ha külső munkát nem végez, mert labilis struktúrája csak folyamatos energia ráfordítással tartható fenn.

Az amerikai Brandeis Egyetem robotikai laboratóriumában POLLACK és LIPSON az evolúciós elmélet alapján beprogramozott számítógéppel, az alkatrészeket és a figyelembe veendő fizikai törvényeket megadva, robotokat építetett (Golem-projekt). A *természetes szelekció elvére* épülő komputerprogram (csak) a *mozgás* hatékonysága alapján generálta és szelektálta a sokmilliónyi változathoz álló, többszáz virtuális nemzedéket. A győztes,

“legéletképesebb” prototípus dokumentációja kikerült a gépből, és a kutatók összeszerelték egy automatizált laborüzemben gyártott alkatrészeket és a vezérlő *mesterséges intelligenciát* tartalmazó áramköröket. A továbbfejlesztés a prototípusokra szerelhető, az őket tervező számítógépnek a tökéletesebb konstrukciók érdekében információt visszaküldő érzékelők tervezése irányában történik.

A fentiek nem jelentik a mozgást, a növekedést és az önreprodukción biológiai értelemben. A mesterséges anyagcsere is messze van még az élőlényekre jellemzőktől, noha már készült “az általa elfogyasztott szőlőcukor lebontásából” működési energiát nyerő gép. Lehetséges, hogy ezek a konstrukciók jól szimulálnak egyes életfolyamatokat (szakaszokat), de attól, hogy élők tekinthetők legyenek, vagy az életről alkotott eddigi elképzeléseket át kellene fogalmazni, még nincs szó. Ezek a viszonylag egyszerű, egyes biológiai folyamatok szimulálására alkalmas, “szintetikus életformák” a számítógép agyában néhány nap alatt születtek meg, szemben az ismert fajok millióinak évmilliárdos evolúciójával. A szkeptikusok szerint olyan bonyolultabb gép megalkotásához, amelyik az ember versenytársa lehetne, akkora számítógépi tárhelykapacitás és műveleti sebesség kellene, amelynek megvalósításához földtörténeti léptékkal is eonok szükségesek.

1.3.2.6 A biokémiai reakciók munkavégző-képessége

Az élőlények energiamérlege nem a reakcióhő alapján, hanem a reakcióhoz kötött szabad entalpia változással (G – **Gibbs-féle szabadenergia**) fejezhető ki. Ez az entalpia (H) azon hányada, amely a rendszerben reverzibilisen van kötve és munkavégzésre hasznosítható:

$$G = H - TS$$

$$H = U + pV$$

$$G = U - TS + pV; \quad U = G + TS - pV$$

$$dG = dU - TdS - SdT + pdV + Vdp$$

Állandó hőmérsékleten és nyomáson ($dT = 0$, $dp = 0$):

$$dG = dU - TdS + pdV$$

A Gibbs-egyenlet ($dU = TdS - p \cdot dV + \mu_1 \cdot dn_1 + \dots$) alkalmazásával:

$$dG = \sum \mu_1 \cdot dn_1 + \dots \text{ (a biokémiai reakció munkavégző képessége).}$$

Exergon reakció esetén a folyamatban a rendszer szabadentalpiát ad le: $dG < 0$.

Endergon reakció esetén a rendszer szabadentalpiát vesz fel: $dG > 0$. Hasonlóképpen

értelmezhetők az exo- és endoterm reakciók ($dH = dU + pdV$; $dH = dG + TdS$; hő szabadul fel, ha $dH < 0$ és a reakció hőigényes, ha $dH > 0$).

Az exergon reakciók – a szükséges aktiválási energiát feltételezve- a szervezetten kívül és belül egyaránt szabadon végbemennek, ezzel elentétben az az endergon reakciók csak energia- (szabadentalpia-) közléssel. Kémiai egyensúly esetén $dG = 0$. A reakció szabadentalpia-leadása megfelel a maximális munkának, amely reverzibilis reakció esetén és izobár feltételekkel

$$-\Delta G = A_{\max}.$$

A reakció egyensúlyi állandója a tömeghatás törvény alapján és szabadentalpiája a következő összefüggésben van:

$$\Delta G = -RT \ln K + RT \ln \alpha, \quad \alpha = c_M c_N / c_A c_B.$$

A kifejezés tört részében a reakcióban résztvevő A , B , M és N anyagok kimeneti koncentrációi szerepelnek. Minél kisebb az α a K -hoz viszonyítva, annál nagyobb a reakcióban nyerhető ΔG munka. $\alpha = K$ esetén viszont $\Delta G = 0$.

Amennyiben a reakciópartnerek kimeneti koncentrációja 1 mol/l, $\alpha = 1$; $25^\circ\text{C} = 298 \text{ K} = 298 \text{ K}$; $0,1013 \text{ Mpa} = 1 \text{ atm}$, akkor a szabadentalpia standard értéke ΔG° kapcsolatban van a K egyensúlyi állandóval: $\Delta G = -RT \ln K$ (J/mol). Standard körülmények között, de eltérő kimeneti koncentrációk esetén a reakció munkavégző képességét két összetevő határozza meg: ΔG° és a maradék reakció munka:

$$\Delta G' = \Delta G^\circ + RT' \ln \alpha = \Delta G^\circ + 1,365 \log \alpha .$$

Belátható, hogy a reakciótermék koncentrációjának 10-szeres emelkedésével vagy csökkenésével (az α mindkét esetben 1/10-ére csökken) $\Delta G'$ (-1,365)-tel változik. ΔG° az 1 molos reakciótermék koncentrációval, pH 0 értéknek megfelelő hidrogénion koncentráció mellett lejátszódó reakciók során érvényesül. Biológiai feltételek között pH 7-re érvényes $\Delta G^\circ'$ normálérték alakul ki..

A szervezetben, az enzimek jelenlétében egy reakció addig fut szabadon, amíg a szabadentalpia csökkenni tud. Az endergon reakciónak olyan másik reakcióhoz kell

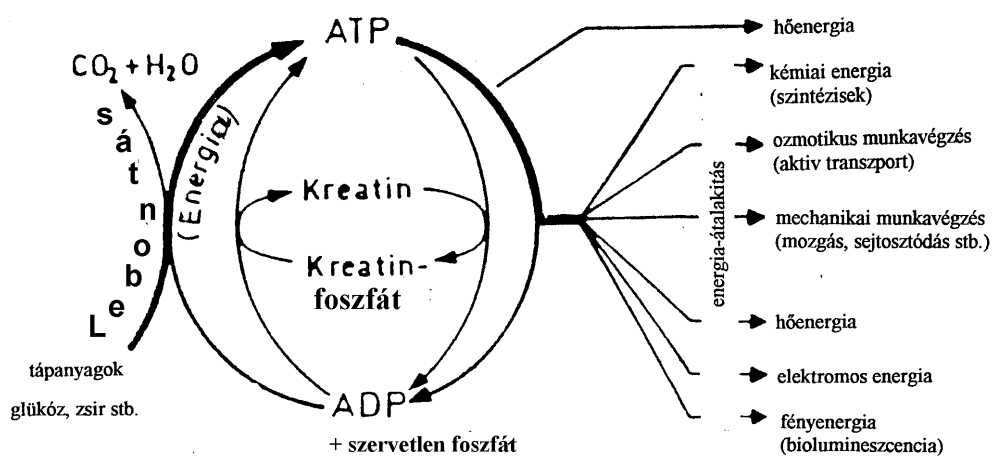
kapcsolódnia, amely eléggé erősen exergon jellegű ahhoz, hogy együtt a két reakcióra $\Delta G \geq 0$ legyen (energetikai kapcsolat).

1.3.2.7 Energia-átalakulás az élőlényekben – energiadús köztes anyagcsere termékek

A szervesanyagok lebontásakor felszabaduló energia nem szolgál közvetlenül munkavégzésre, hanem **nagyenergiájú kémiai kötésbe** tevődik át, az adenzin-trifoszfát (ATP) ciklus makroerg foszfátkötésébe (szokásos jelölése: ~P, pl. 6. ábra). Az ATP adeninből (purin bázis), ribózból (pentóz cukor) és három foszfátgyökből épül fel. Két foszfátgyök között létesül makroerg kötés, amelynek hidrolízise során, biológiai körülmények között legalább 25 kJ/mol energia szabadul fel – sokkal több, mint a közönséges foszfátszterek esetében jellemző 8-13 kJ/mol.



Az utolsó foszfátcsoport hidrolízise az AMP-ről már csak -13 kJ/mol energia felszabadulásával jár.



6. ábra Az élő szervezet energetikai rendszere

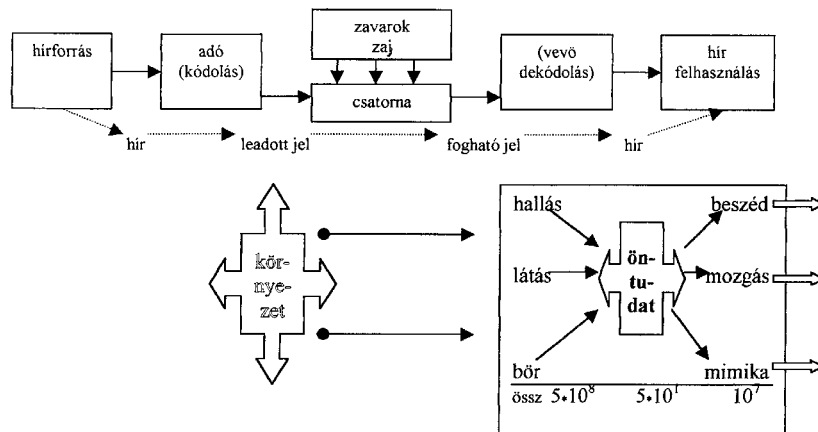
A biológiai energia-átalakulásnak két fő szakasza van: (1) ATP formájában foszfátkötések létesítése, (2) ezek értékesítése munkavégzésre. Az izomösszehúzódások, az aktív transzport mechanizmusok, intracelluláris szintézis folyamatok mind ATP-ből felszabaduló energián alapulnak (kreatin \leftrightarrow kreatin-foszfát). (6. ábra). Az energetikai kapcsolat (ld. 1.2.6. fejezet) az ATP rendszeren nyugszik. A szűkre szabott ATP készletek miatt a felépítésre elhasznált energia mennyiség gyors pótlása szükséges. Az ADP három féleképpen

foszforilálódik ATP-vé: (1) a légzési láncban a légzés során, (2) kevésbé jelentős szubsztrátfoszforilálással légzés és erjedés révén, (3) foto-foszforilálással, fényenergia felhasználásával a fotoszintézis során.

1.3.3 Az információ

Az élő szervezet egységét és teljességét a részegységek és részfolyamatok magasfokú, dinamikus szervezettsége jelenti. A mesterségesen szervezett rendszerek (automatikák) esetében a szervezetség mértéke állandó. Az élőlények – mint önszerveződő rendszerek – szervezettsége időben fokozódhat. Az élő- és a műszaki rendszerek irányítási és szabályozási mechanizmusai, a biológiai és a fizikai sajátosságoktól elvonatkoztatva, összehasonlíthatók. *A gépek és az élőlények szabályozásának és információ-átvitelének tudománya a kibernetika* (WIENER).

A rendszer részegységei közötti összhang a **kommunikáció** révén valósul meg, ami a hírátvitelt jelenti. A kommunikációs láncolat az információ forrásból, az adóból, a csatornából, a vevőből és a felhasználóból áll. (7. ábra) A hírek és az átvivő jelek anyagi vagy energetikai természetűek. Az élőlényekben jelekként szolgálhatnak kémiai anyagok (pl. hormonok) és elektromos jelek. Első esetben az „adó” a belsőelválasztású mirigysejtek, a „csatorna” a véráram. A második esetben az érzék- és idegsejtek illetve az idegrostok töltik be a szerepeket. A hormonális kommunikáció esetén a hormon a szervezet minden részét eléri, de csak egy bizonyos szerv „érti meg”, reagál rá (pl. a hipofízis elülső lebenyének tireotrop hormonjára csak a pajzsmirigy). A hatás szempontjából, mint analóg jel, a vér hormonkoncentrációja döntő. Az idegi (neuro-) kommunikációban az impulzusok időegységenkénti száma (nem a magassága vagy hossza) jelent információ-paramétert. Ugyanis az impulzusfrekvencia-moduláció során az érzéksejtre ható növekvő ingergyakoriság kimenő impulzusfrekvencia gyakoriság növekedést okoz.



7. ábra A kommunikációs láncolat biológiai értelmezése (élőlény és környezete között)

1.3.3.1 Információ áramlás az élőlényekben

Az élőlényeket környezetükből származó állandó információ zuhatag éri, amely belép a szervezetükbe és ott feldolgozásra kerül. Ugyanakkor az élőlény is állandóan információkat bocsát ki. A jel információ tartalma *bit*-ben fejezhető ki. Az embert – túlnyomórészt az optikai csatornán keresztül – érő egyirányú információáram nagysága 10^8 - 10^9 bit/s értékre becsülhető, amelyből csak mintegy 5 bit/s éri el a tudatot. Az információ csökkentés egy szükséges optimalizálás eredményének tekinthető, amelyben kiválogatódnak a fontos információk. Továbbmenve, csak 1 bit/s képes az emlékezetben tartósan rögzülni, amely 80 életév során összesen 10^9 bit. (Egy közepes méretű könyv kb. 10^6 bit információval bír.) Az emberi tevékenység (pl. izommunka, mirigyműködés stb) mintegy 10^7 bit/s kifelé irányuló információ áramlással jár. (7. ábra)

1.3.3.2 Vezérlés és szabályozás

A vezérlésen a biológiában és a technikában egyaránt a „hírnek az energia-áramlásra gyakorolt hatását” értik. A vezérlés valójában nem közvetlenül az energiaáramlásra, hanem az annak a folyamatát meghatározó körülményekre hat. A vezérlő energia más természetű lehet, mint ami a vezérelt folyamatra jellemző. Például fényenergia hat a fényérzékelő sejtre, és az a központ felé elektromos impulzusokat továbbít.

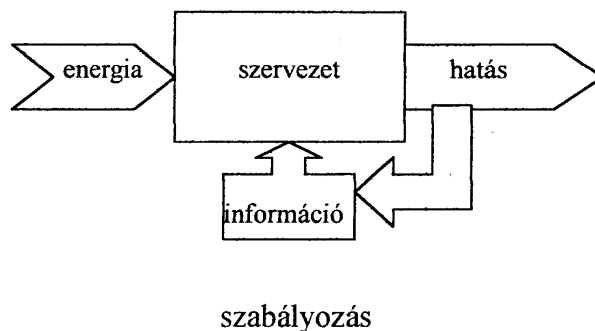
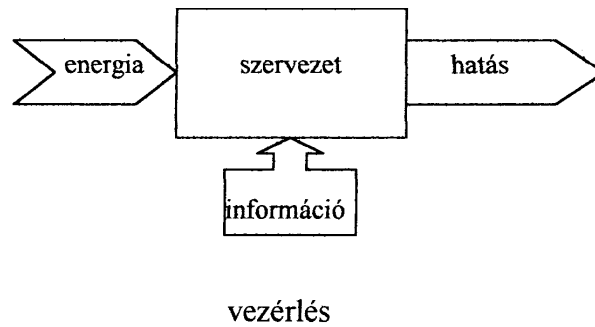
Amennyiben ismert a vezérlés folyamán az energiaáramban kiváltott hatás, és arról a hír a vezérlési folyamatra visszahat, akkor visszacsatolásról van szó. Negatív visszacsatolás esetén ellenőrzött méretű változás a folyamatot kioltja, ez hosszabb távon ismétlődve a működés állandó szinten tartását okozza. A külső, zavaró hatások ennek ellenében hatnak.

A szabályozás a vezérléssel szemben nem nyílt hatáskapcsolaton nyugszik, hanem zárt szabályozókörön. A szabályozókörre irányultság jellemző, tehát a jelek a bemenettől a kimenet felé haladnak, nem fordulnak vissza. (8. ábra) A szabályozókör elemei

- a szabályozott szakasz, ahol a szabályozandó érték előfordul,
- a szabályozó, amelynek tagjai a szabályozást végrehajtják, úgymint
 - a mérő-, érzékelő egység (felügyeli a szabályozott szakaszt, és továbbítja annak mért állapotértékét),
 - a szabályozó egység (összehasonlítja a van értéket a lehet értékkel, az eltérésről beállító parancsot, vezérlő értéket küld),

- a beállító egység (megváltoztatja az állapotértéket, amellyel csökkenti a lehetőségtől való távolságot).

A szabályozandó értékekre zavarólag ható tényezők „zavaró értékeit” a szabályozási folyamat visszahatólag nem befolyásolja. A szabályozott szakasz bemenete az állapot- és zavaró érték, kimenete a szabályozandó érték, a szabályozó bemenete a szabályozandó érték és a vezérlő érték, és kimenete az állapotérték.



8. ábra Vezérlés és szabályozás

A biológiai szabályozókörök igen összetettek és bonyolultak. Gyakran több beállító egység együttműködik, pl. az emberi szervezet hőszabályozásában a vázizomzat (izomtónus, remegés), a máj és más zsigeri szervek (anyagcsere), hámszövet és izzadásmirigyek, a légzőizmok. Tehát a szabályozórendszer hálózatos. Viszonylag egyszerű biológiai szabályozókör a szem pupilla működése.

1.3.3.3 A szabályozókör időbeli sajátosságai

A szabályozás folyamatára nézve meghatározóak a szabályozórendszer átviteli egységei. A bemeneti (input) és a kimeneti (output) jel nagysága idő függvénye: $x_i(t)$ illetve $x_o(t)$. A lineáris átvitel alaptípusai:

- részarányos (proporcionális), késleltetés nélküli (P_0) – a kimenő jel nagysága minden időpontban részarányos a bemeneti jelével;
- integrál szerinti, késleltetés nélküli (I_0) – a kimenő jel nagysága a bemeneti jel idő szerinti integráljával részarányos;
- differenciál szerinti, késleltetés nélküli (D_0) – a kimenő jel nagysága a bemeneti jel idő szerinti differenciál hányadosával, vagyis annak változási sebességével részarányos.

Ezek ideális esetek. A valóságban x_i és x_o kötött holt idő (lag-fázis) van, ami késleltetést okoz, mint ami általános a természetben előforduló legtöbb folyamat esetében.

1.3.3.4 A szabályozó- és vezérlő rendszerek hierarchiája

A szervezet egészében a sok szabályozó és vezérlő rendszernek összekapcsolva és összehangoltan kell működnie. A folyamatok egymásra épülése követi a strukturális hierarchiát (szubcelluláris – sejt – szövet – szerv – szervezet). Például az emberi és más magasabbrendű állati szervezetben a köztiagy alapján elhelyezkedő hipotalamusz olyan fő központot képvisel, amelynek valamennyi vegetatív (életfenntartó) életjelenség szempontjából kulcsszerepe van. Szoros anatómiai és funkcionális kapcsolata a hipofízissel a hormonális rendszerhez köti, azon kívül idegi kapcsolata van a nagyagykéreggel és az idegrendszer más részeivel (ld. 8.2. fejezet).

1.3.4 A tudat – helyzet- és jövőkép

A tudatnak nincs általánosan elfogadott, egységes definíciója. Általában az organizmus saját létezéséről, érzéseiről és a külső világ objektumairól, eseményeiről alkotott képének belső visszatükröződését tekintik tudatnak. A tudatdefiníciók általában antropomorfak; egyesek túl általánosak, mások túl szigorú határok közé szorítva csak az emberi tudat létezését fogadják el. Az **antropomorfizmus** ellen szól MORGAN kánonja: nem szabad egy tevékenységet magasabb mentális képességekkel magyarázni, ha egy, a mentális szerveződés alacsonyabb fokán álló képesség is elegendő a magyarázathoz. (V.ö.: 1.2.5. fejezet.)

Az emberszabású majmokéval szemben az ember (Homo-ág) evolúcióját új biológiai tulajdonságok jellemzik: rendszerszervező és kultúrakialakítási képesség. Az emberi egyedek ezért képesek együttműködni, kapcsolatot teremteni, csoportot kialakítani vagy választani, és azzal azonosulni (csoporttudat). Ehhez hozzájárul egy egyedi, új típusú kommunikációs rendszer, a beszélt nyelv megjelenése, amelynek neurobiológiai alapja az, hogy **a külvilágnak**

kettős agybéli reprezentációja van. Az egyiknek a körét a személyes reprezentációk, az élettapasztalatok és a gondolkodás eredményei képezik. A másik körét a csoportkommunikáció során keletkező kulturális reprezentációk képezik. A kettő elkülönül: a személyes reprezentációkat csak a létrehozó egyed (SZEMÉLY) képes alkotni, a kulturálisak – elvileg – mindenki számára érthetők. A két szféra közötti kapcsolatot a *jelentés* és a *megértés* alkotja.

Az állatvilág számára a valóságot az érzékszervek agykérgi központjait érő ingerületek jelei jelentik (**első jelzőrendszer**). Az ember képes a jeleket jelekkel helyettesíteni (vagyis a külvilág tárgyait, jelenségeit a neveikkel helyettesíteni, a neveket kimondani – beszélni; **második jelzőrendszer**). Ez az emberre jellemző **gondolkodás** (absztrakt fogalomalkotás, modellalkotás) alapja. (V.ö.: 8.2.4.1. fejezet.)

A környezet ember és állat számára egyaránt tartalmaz előnyöket és veszélyeket jelző ingereket. Ezért az evolúciós fejlettség alacsony fokán élő állatok is kényszerülnek döntésekre. A fejlettebb állatok döntéshozatalában mind nagyobb szerepet játszik a memória, a tanulás (= a memória felhasználása), a soktényezős mérlegelés és a szándék (a jövőre vonatkozó döntési képesség) kifejeződése. Az emberi tudat az emberhez kötött, az ember pedig a technológiához van kötve. A legegyszerűbb kérdés megválaszolása is implicite eszközt tételez fel. Az intelligencia nem képes technológiai inkubátor nélkül megnyilvánulni, a természettudomány az ismeretszerzés egyre magasabb szintjén mind több műszeres ismeretszerzésre van utalva. **A tudat együtt fejlődik a maga által teremtett technológiával:** egységnyi elvontságra meghatározott mennyiségű technológiai terhelés jut.

Biológiailag az emberi agy az evolúció hajtóerejének, a természetes szelekciónak a következménye, ugyanakkor folyamánya is az általa termelt másodlagos valóságnak - vagyis egyúttal mind e kettőnek kiszolgáltatója. A *technolúció* folyamán az emberiség szembesül azzal a kérdéssel, hogy létre tudja-e hozni az önmagához hasonló módon szabad, mesterséges intelligenciát? A mítoszok, a mesék, a sci-fi történetek e társkeresés megnyilvánulásai. A mesterséges intelligencia kutatói mesterséges agyak, és nem mesterséges élőlények előállítására törekednek.

Bill JOY (Sun Microsystems) meggyőződése, hogy a század új iparágai – a géntechnika, a nanotechnológia és a robottechnológia – egészen más lehetőségeket és veszélyeket rejtnek magukban, mint az eddigi technikák és gépek. Szerinte az ipari módon előállított robotok

ugyanis előbb-utóbb képesek lesznek önmaguk reprodukálására (vö. 1.2.5. fejezet), s KURZWEIL szerint 50 éven belül várható az emberi agy közvetlen “beszkennelése” olyan számítógépbe, amelynek egymilliószor nagyobb a teljesítménye a maiaknál. A jó és a rossz fogalma bizonyára átértékelődik. A legbonyolultabb számítógépek és a legegyszerűbb élőlények komplexitási szintje ma már kétségtelenül közelít egymáshoz, de semmi jel nem mutat arra, hogy a bonyolultság automatikusan élővé váljon. A jelenleg létező mesterséges agyak kb. 75 millió szintetikus neuronból állnak, s ez az emberi agynál kettő nagyságrenddel kisebb. Most 100 millió elektronikus sejtet terveznek összekapcsolni, és az így kifejlesztendő mesterséges “agyat” robot mozgásának vezérlésére akarják használni. Az egymilliárd “neuront” tartalmazó generáció 4-5 év múlva várható. A cél háztartási és katonai robotok, mesterséges háziállatok (?) előállítására.

Az ember természetelakító tevékenysége a mainál is nagyobb **felelősséggel** fog járni, hogy a génmanipuláció és a robottechnika, félelmetes eszközökként, nehogy rossz kezekbe kerüljenek. HUTCHINSON szerint a környezet (oikosz) olyan színpad, amelyen az evolúció színjátéka zajlik. A játék szereplői a fajok, írója és rendezője pedig a kiválogatás (szelekció). A környezet világméretű leépülésének oka az, hogy mind több ember kíván egyre magasabb életszínvonalon élni, és ez együtt jár a tájat felszabdoló és a környezetet szennyező technológiák és eljárások elterjedésével. Egy figyelmeztető, kissé pesszimista anekdótaízü jóslat szerint, “ha az evolúció színpadán hárman szerepelnek: az ember, a természet és a gép, akkor az ember mindenképp a természetre szavaz, de a természet – a dolgok mai állását tekintve – a gép mellé fog állni”. – Emögött a $H = N \cdot F \cdot T^{\delta}$ alakban felírható összefüggés gyanítható (EHRlich és HOLDERN), amelyben H a környezeti hatás, N a népesség létszáma, F az egy főre jutó hatás, T az alkalmazott technológia mennyiségi jellemzője. (Ide kívánczik MURPHY csipkelődése (szabadon): az emberiség intelligenciaszintje állandó, népességszáma pedig növekvő...)

Az információ kódolásában és generációk közötti átörökítésében szereplő hordozók közül a beszélt **nyelv** az utolsó olyan tekintetben, hogy genetikai alapja van. Az írás feltalálása alapvetően hozzájárult a modern társadalmak létrejöttéhez. *“Mostanság egy másik ilyen főbb átmenet közben vagyunk, éppen; egy olyan társadalom felé haladunk, ahol az információ elektronikus úton tárolódik és továbbítódik. Fontos lenne látni, hogy ez utóbbi átmenet hová vezet. És talán épp a számítógépes vírusok léte mutatja meg, honnan fúj a szél. Vigyázzunk,*

nehogy egyszercsak egy újfajta önreprodukáló lény váltson fel minket” (SZATHMÁRY – MAYNARD SMITH 1997).

2 Vegyületek

Az élőlények anyagi ismertetőjegyei a szerves vegyületek. Nagy változatosságúak, de közülük négy csoport bír, mint strukturális és funkcionális elemek, általános jelentőséggel: fehérjék (proteinek), nukleinsavak, szénhidrátok és zsírok (lipidek).

2.1 Kötések és molekuláris kölcsönhatások

Az élő rendszerek strukturái és funkciói szempontjából nagy jelentőségűek a kémiai kötések és a molekulák közötti kölcsönhatások.

Kovalens kötés. A szerves vegyületekben az atomok kovalens kötésekkel képeznek, elektronpályaik átfedése miatt formálisan közös elektronpár képződik. Az atomok egyike erősebben elektrofil, és az elektronegativitás nagyobb része ahhoz vonzódik, dipólus jellegű vegyület jön létre (pl. $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_3$). A kovalens kötés többnyire erős. Szerves molekulák közötti kovalens kötés például víz kilépésével létrejövő észterkötés, oxidatív a két SH-csoport közötti diszulfidkötés.

Elektrosztatikus kölcsönhatások. Kevésbé erős ionos kötések negatív (pl. $-\text{COO}^-$ vagy $-\text{PO}_3\text{H}^-$) és pozitív ($-\text{NH}_3^+$) csoportok között; ionos-dipólus kölcsönhatások ionizált csoportok és dipólusok között; valamint maguk a dipólusok között dipólus-dipólus kölcsönhatások.

Hidrogénhid.

Van der Waals kölcsönhatás. Gyenge vonzóerő nem poláris molekulák vagy molekularészek között.

Hidrofób kölcsönhatások.

Amfifil jelleg. Hidrofil és hidrofób részekből álló molekulák (pl. lipidek) hidrofób részei vizes oldatban összefüggő réteget képeznek, hidrofil részei a poláros oldószerrel kölcsönhatásba lépnek.

2.2 Proteinek (fehérjék)

Nagy molekulatömegű makromolekulák. Csoportjai: struktúrfehérjék (pl. kötőszövetek, csillók, szőrök), funkcionális fehérjék (pl. enzimek, transzport fehérjék, kontraktilis

fehérjék), tartalék fehérjék. Építőelemeik az aminosavak, amelyek amino- ($-NH_2$) és karboxil csoportból ($-COOH$) állnak. A fehérjék felépítésében 20 proteínogén, α -aminosav vesz részt. Az optikailag inaktív glicin kivételével legtöbbször L-konfigurációval rendelkeznek.

A peptidkötés két aminosav amino és karboxil csoportja között jön létre víz kilépésével ($-CO-NH-$). A peptidkötések révén az aminosavak di- (pl. izom karnozin), oligopeptideket (pl. peptidhormon vazopresszin és oxitocin) és polipeptid láncokat (peptidhormon inzulin és ACTH, proteinek) képeznek.

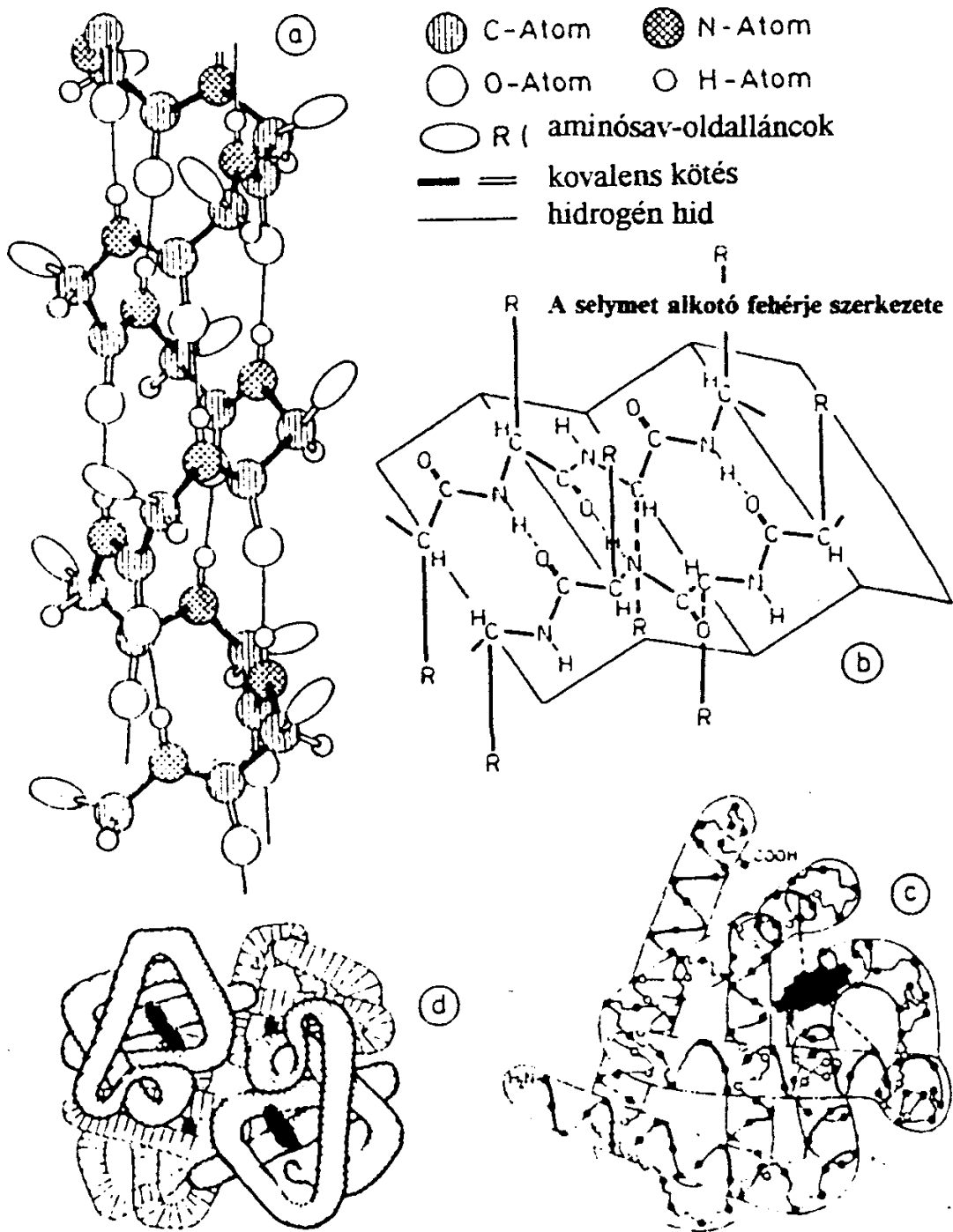
A proteineket 100-tól több ezer aminosav építi fel. Móltömegük > 10 kg/mol, molekuláik átmérője 5-100 nm. A proteidek összetett fehérjék. A molekula állományának másik fele prosztetikus csoport a metallo-proteinek esetében, foszfor-tartalmú a foszfo-, pigment-tartalmú a chromo- (pl. hemoglobin, klorofill), zsírszerű a lipo-, szénhidrát-rész a glyko-, nukleinsav ionos kötással a nukleo-proteideknél. Kis molekulatömegű fehérjék a **prionok**, amelyek állatokból készült oltóanyag (szérum), friss hús és állatliszt fogyasztásával átvihetők, és súlyos megbetegedéseket okoznak (kergemarhakór, Kreutzfeld-Jacob-kór).

A fehérjék fajspecifikusak, gyakran allergiát (ld. 8.1.2. fejezet) okoznak más szervezetbe kerülve, ugyanakkor alapvető tápanyagok az állatvilág számára. Táplálkozási szempontból megkülönböztetünk növényi és állati eredetű fehérjéket. Kifejezetten fehérje termelő növények is vannak, például a pillangósvirágúak (Fabaceae) családjába tartozó fajok, de lisztes és keményítőt tartalmazó termések fehérjetartalma is jelentős lehet (pl. kukorica, rizs, búza, burgonya). A szójafehérje kedvező esszenciális aminosavösszetétele miatt állati fehérjeforrás helyettesítésére alkalmas.

2.2.1 A proteinek szerkezete és konformációja

Az elsődleges szerkezet az aminosavak sorrendje, amely minden proteinre nézve specifikus, és a DNS-ben genetikai információként rögzítve van. A proteinek minden sajátossága és funkciója ettől függ.

A konformáció a polipeptid lánc termodinamikai szempontból legvalószínűbb, meghatározott, térbeli állapota: csavarodott, gyűrött és íves. A funkciós fehérje globuláris, a struktúr protein fibrilláris (kötőszöveti kollagén, miozin az izomban, fibrinogén a vérplazmában). (9. ábra: a) alfa-helix, b) hajtogatott, gyűrűt, c-d) hemoglobin harmad- és negyedleges szerkezet.)



9. ábra Fehérje szerkezeti modellek

A másodlagos szerkezetet két peptidkötés közötti hidrogén-hidak hozzák létre. Az α -struktúra spirál alakú (α -hélix), a β -struktúra gyűrt lemez alakú. A globuláris fehérjékben α -hélixek és egyenes szakaszok váltakoznak, néha β -struktúra is bekapcsolódik. A fibrilláris fehérjéket több, összesodort és hidrogén- (pl. kollagén) vagy diszulfid hidakkal (pl. α -keratin) kapcsolódó α -hélix alkotja. Más fibrilláris fehérjéknek β -struktúrája van (pl. β -keratin).

A harmadlagos szerkezetet a proteinek oldalláncai közötti kötések stabilizálják, és így a másodlagos szerkezetű polipeptid lánc gömbszerű térformát alakít ki. Hidrofil és hidrofób fajtái vannak az e tulajdonságokért felelős oldalláncok térbeli helyzete alapján.

A negyedleges szerkezetben a gömb alakú polipeptid monomerek (protomerek) ismételt gömb felületen szerveződnek egybe, oligomereket képeznek (pl. hemoglobin).

A konformáció a hőmérséklet, nyomás, pH érték, ionkoncentráció megváltozása vagy új molekula képződése miatt átalakulhat, ami az eredetitől eltérő biológiai aktivitáshoz vezethet. A denaturáció a másodlagos, harmadlagos és negyedleges szerkezet, valamint a biológiai aktivitás visszafordíthatatlan elvesztése.

2.2.2 A proteinek fizikai kémiai sajátosságai

Az aminosavak savas karboxil- és bázikus aminocsoportjaik miatt amfoter jellegűek, ikerionokat képeznek, az izoelektromos pontnál savasabb pH-nál +, lúgosabb pH-nál – töltésűek. Az izoelektromos ponton a pozitív és a negatív töltések kiegyenlítődnek: pepszin pH 1,0; tojás fehérje 4,6; kollagén 6,7. Az elektromos töltések és poláris gyökök miatt a fehérje molekulák elektrosztatikus hidrátburkot alakítanak ki maguk körül. Az izoelektromos ponton a töltésminimum miatt hidratációs minimum jelentkezik, aminek következménye a fehérjék rossz vízoldhatósága.

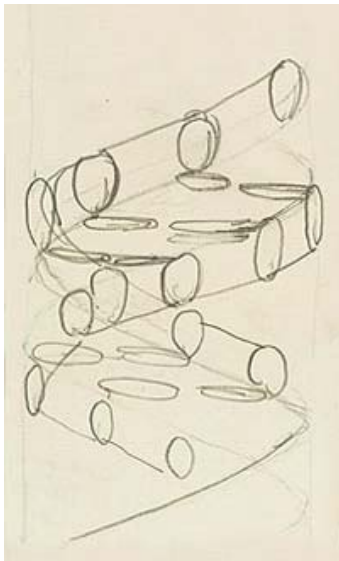
2.3 Nukleinsavak

Kiemelkedő jelentőségű funkcionális elemek. A dezoxiribonukleinsav (DNS) a genetikai információ hordozója a kromoszómákban, a mitokondriumokban, a kloroplasztiszokban, a plazmidokban és számos vírusban. A ribonukleinsav (RNS) a genetikai információ átvivője és megvalósítója a citoplazmában, a mitokondriumokban, a kloroplasztiszokban és számos vírusban.

A nukleinsavak nukleotidokból épülnek fel. A nukleotidot egy bázis, egy cukor és egy foszfát alkotja. Purin bázisok az adenin és a guanin, pirimidin bázisok a citozin, a timin (DNS-ben) és az uracil (RNS-ben). A cukormolekula öt szénatomos, pentóz: a DNS-ben dezoxiribóz, az RNS-ben ribóz. A bázis és a pentóz együttesen nukleozid, és a pentóznak foszfáttal észteresedése révén a nukleotid (nukleozid-monofoszfát) keletkezik belőle.

A pentóz 3'-C atomjának –OH csoportja egy másik nukleotid foszfát csoportjával 5-3 foszfodiészter kötést alkot, így módon polinukleotidok jönnek létre.

2.3.1 DNS



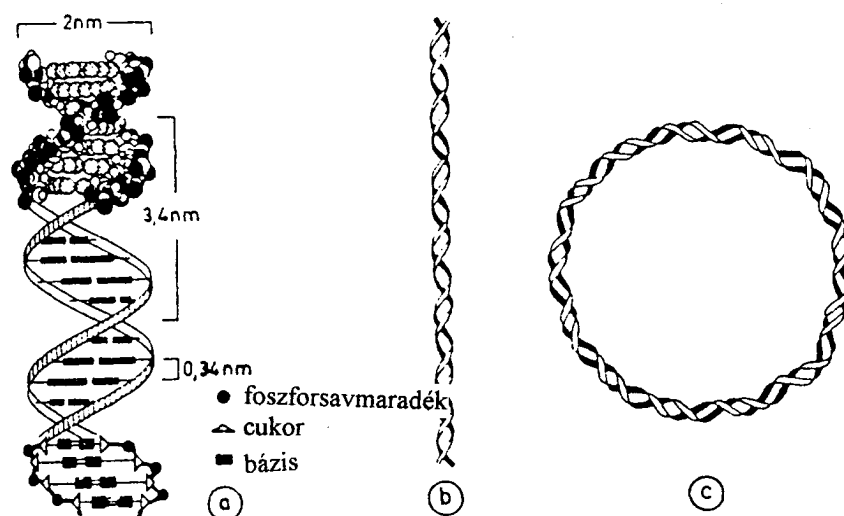
A felfedező, Crick első rajza a DNS-ről (1953 körül)

A molekulában két kb. 2000-tól $> 10^8$ elemű polinukleotid kettős spirállá egyesül, a párosával egymással szemben álló bázisok között képződő hidrogén hidak révén. A bázispárok sztereokémiai alapon képződnek: adenin – timin, guanin – citozin. A bázispárok miatt a kettős spirálra fajspecifikus (A+T)/(G+C) számarány jellemző. A vírusoknál kettős és egyes DNS spirál egyaránt létezik.

Az elsődleges szerkezet, a bázissorrend (nukleotidsorrend) a genetikai információ anyagi alapja. Minden információt a négy bázis speciális sorrendje kódol.

A másodlagos szerkezet a kettős spirál konfiguráció. (10. ábra) Két polinukleotid szál egy képzeletbeli tengely körül jobb oldali irányban felcsavarodik. A kettős spirált hidrogén hidak és hidrofób kölcsönhatások stabilizálják. A kromoszómális és sejtmag kettős spirál lineáris, a mitokondriumokban, kloroplasztiszokban és prokariótákban előforduló zárt gyűrű alakú. Vírusokban mindkettő előfordul.

Forralás, pH-érték és ionkoncentráció változás esetén denaturálódik a DNS.



10. ábra DNS konformációk ábrázolásai - a) a kettős spirál, b) lineáris-, c) gyűrűs- (extrakromoszómális) kettős spirál

A **riboszomális** RNS (rRNS) a ribonukleinsav készletnek akár 85 %-át is képezheti, a riboszómák fehérjeszintetizáló részeiben található. Az 5S-RNS az eukariótáknál (a sejtmaggal rendelkező élőlényeknél) a riboszómák nagy alegységeihez kapcsolódik.

A **meszendzser** RNS (mRNS) a ribonukleinsav készlet 5 %-a. Képződése során lemásolt bázissorrend formájában viszi át az információt a DNS-től a riboszómákhoz a proteinszintézisre. Egyszálú, és báziskomplementer, páros hurkokat tartalmaz. Az információt hordozó molekularész mellett szabályozó szakaszai vannak: az ún. *leader* és *trailer*, valamint az enzimatis lebonthatás ellen védő *cap* és *Poly(A)*.

A prae-mRNS sejtmagban való átalakulása során rövidebb, köztes változatai keletkeznek, amelyeket heterogén-nukleáris-RNS-, hnRNS-nek neveznek. A hnRNS és a mRNS mindig proteinkötésben van. Ezeket a nukleoproteid részeket a sejtmagban informoforáknak, a citoplazmában informosomáknak hívják.

A kis-nukleáris-RNS (snRNS, small nuclear RNA) és a kis-citoplazmás-RNS (scRNS, small cytoplasmic RNA) az eukariótákra jellemző, a fehérje-bioszintézis során speciális szabályozó funkciójuk van.

A vírus-RNS, ahol a DNS hiányzik, ott átvette annak szerepét és helikális szerkezetű. Egyes vírusoknak kettős szálú RNS-e van, a viroidok és a vírusoidok egyszálúval rendelkeznek.

2.4 Szénhidrátok

Anyagcseretermékek, tartalék- és vázanyagok. A monoszacharidok alapképlete $C_nH_{2n}O_n$. Leggyakrabban hexózok és pentózok, de az anyagcserében triózok, tetrózok és heptózok is szerepelnek. Leggyakrabban D optikai izomerek, pl. a D-glükóz (szőlőcukor), D-fruktóz (gyümölcs-cukor), amelyek tartalékanyagok, valamint a D-dezoxiribóz, amely nukleinsav részegység. Az anyagcserében foszforilált formában fordulnak elő. A cukor-nukleotidok monoszacharid-donorként szerepelnek a glükozidok bioszintézise során.

A diszacharidok tartalék tápanyagok, két monoszacharidából víz kilépésével glükozid-kötéssel keletkeznek: maltóz, laktóz, szacharóz. Az oligoszacharidokat 2-10 monoszacharida alkotja, ide sorolhatók a diszacharidok is.

A poliszacharidok glükozid-kötéssel képződnek. A monoszacharida egységek száma 10^5 . A növényi tartalék tápanyag a keményítő (amilóz és amilopektin), állatokra és gombákra

jellemző a glikogén. Vázalkotó poliszacharidok a növényeknél a cellulóz, a hemicellulóz és a pektin, a gombáknál és számos állatfajnál (pl. rovarok) a kitin.

Élettani szempontból a szénhidrátok közé tartoznak a szervezetek üzemanyagai és tápanyag tartalékai. Legfontosabb tartalékanyag a keményítő (liszt), amely szemestermény formájában vagy feldolgozva jól tárolható. Egyes növényfajok történelmi kultúrák létalapjait biztosították (burgonya – Dél-Amerika, kukorica – Közép-Amerika, tuszkaroa – Észak-Amerika, búza, árpa – Kis-Ázsia, rizs – India, Ázsia), majd használatuk gyakorlatilag az egész világon elterjedt. Ipari alapanyagként a keményítő- és szeszgyártásban, alternatív üzemanyag (etilalkohol) előállítására alkalmasak Cellulóz emésztésére speciális bendő vagy bél baktériumflórával rendelkező állatfajok képesek (páratlan- és párosujjú patások).

2.5 Lipidek

Apoláros oldószerekben oldódó, különböző molekulaszervezetű anyagok. Csak az oldhatóságuk közös, az eltérő kémiai struktúrák különböző biológiai funkciókat töltenek be. A trigliceridek (zsírok) tartalék tápanyagok, amelyekben telített (palmitin-, sztearin-) vagy telítetlen (olaj-, linol-, linolén-) zsírsavak vannak. Minél magasabb a telítetlen zsírsavak aránya, annál folyékonyabb a zsír (olaj). A foszfo- és glüko-lipidek amfifil jellegűek, a membránok alapvető strukturális elemei. Általában leggyakoribb a lecitin, a foszfátidil-etanolamin, a plasztiszokban a glüko-glicerolipidek, a mielinben (idegrendszer) a cerebrozoid dúsul.

A zsírok és olajok a magasabbrendű állati szervezetek harmadik fő tápanyagforrását jelentik a fehérjék és a szénhidrátok mellett. Legjelentősebb olajosmagvú ipari növények a napraforgó és az őszi káposztarepce. Újabban ismét keresett a tökmagolaj, nálunk a választékos konyha tartozéka az olajbogyó és olaja (*Olea europaea*). Száradó olajat ad a lenmag (lenolajkence), kiváló műszerolajat pedig a magkender. Az étkezési repceolajjal szemben követelmény a karcinogén erukasav-tartalom csökkentése. Repceolajból biodízel motor hajtóanyag viszonylag egyszerűen származtatható, és igen környezetbarát: nem terheli a légkört szén-dioxid többlettel, a kén-dioxid-, egyéb szénhidrogén-, aromásvegyület- és koromkibocsátás csökken a fosszilis ásványolajtermékekkel szemben.

2.6 Másodlagos (növényi) anyagok

A növények anyagcseréjük során csak a növényvilágra jellemző vegyületeket hoznak létre: alkaloidákat, glikozidokat, cserzőanyagokat, illó olajokat, szerves savakat, ásványi anyagok kristályait, stb. Rendszerint visszavezethetők valamely korábbi alapanyagcsere-

termékre, amelyből irreverzibilisen kiválnak és felhalmozódnak, de például a nikotin alkaloida visszaépülhet fehérjékbe. A másodlagos anyagok a növényvilág különböző kategóriáiban eltérő reakciósorokban képződnek.

Az **alkaloidák** nitrogént rendszerint heterociklikus kötésben tartalmazó alkalikus vegyületek, képződésük az aminosavak átépülésének kísérő jelensége. Közvetlen összefüggésben vannak az alapanyagcsere-folyamatok közül a N-asszimilációval (aminosav- és fehérjeképződés), valamint a fehérje lebontással, közvetve kapcsolódnak a CO₂-asszimilációhoz. Erős fiziológiai hatásuknak köszönhetően az orvosi, farmakológiai érdeklődés előterében vannak. Ezernél több alkaloida ismeretes, amelyek kémiai rokonságuk alapján alkaloida-családokba csoportosíthatók:

fenilalanin-család: a) egyszerű bázisok (hordenin, szaszolin), b) benzilizokinolinok (papaverin, morfin, narkotin, berberin. stb.), c) speciális csoport (pl. mezembrin, likopin);

triptofán-család: a) egyszerű triptamin származékok, b) komplikált indol-bázisok (johimbin, sztrichnin, stb.);

ornitin-család: nikotin, tropin, stb.;

lizin-család: a) piperidin-származékok (pl. Conium-, Sedum-alkaloidák – bürök ill. varjúháj fajok); b) Fabaceae (pillangósvirágúak) alkaloidák (lupinin, citizin, szparteín, stb.);

anthranil-család: kinolon-, akridon-, furanokinolin-csoport.

Az alkaloidák neve alapján általában tudni lehet, hogy melyik növényben fordulnak elő, vagy hol fedezték fel őket. Méreg- és gyógyhatásuk nagyrészt a koncentrációtól függ, és attól, hogy milyen élőlényre vonatkoztatják. Sok olyan növény ismeretes, amely nem termel alkaloidát, de az alkaloida tartalmú növények között nem ismeretesek olyan mutánsok, amelyek teljesen alkaloida-mentesek lennének, csak alkaloidában szegények (lásd a nemesített nikotinmentes dohányt vagy a lupulinmentes csillagfürtöt).

A **glikozidok** többnyire szőlőcukornak egyéb szerves vegyületekkel (alkoholokkal, fenolokkal) alkotott, gyakran mérgező vegyületei. Ide tartozik az ízesítő vanillin, a szívgyógyszerek közül a gyűszűvirágok digitalinja és a trópusi növényfajok sztrofantinja, a pillangósvirágúak valamint a csonthéjas és almaféle gyümölcsfajok mérgező lupininja illetve amygdalinja (ciánglikozida).

A **terpének** a másodlagos növényi anyagok igen gazdag és sokrétű csoportját alkotják. Az állati szervezetben előforduló típusuk a koleszterin. A növényvilágban alig találni fajt, amelyben ne lennének különböző terpén származékok: karotinoidok, szterinek, a klorofill kialakításában szereplő fitol, az E- és K-vitamin, a kaucsuk és az illóolajok. Változékonyságuk elsősorban a telítetlenségre és a kettős kötésekre vezethető vissza. Az egyszerűbbek könnyen polimerizálnak gyantákká vagy hozzájuk hasonló termékekké. Többnyire váladékok (exkrétumok), szintestek zárányaiként (pl. sárgarépa és paprika karotinoidjai), idioblasztikus (a szövetre jellemző alaktól eltérő) sejtekben (citrom terméscső váladéktartói), mirigyszőrökben (levendulaolaj), tejcsövekben, tejedényekben (kaucsuk) raktározódnak.

Az **illóolajok** a növényvilágban általánosan elterjedt, kellemes illatú vagy kellemetlen szagú vegyületek. Vannak kifejezetten "illóolajos" családok: rózsafélék (*Rosaceae*), rutafélék (*Rutaceae*), ajakosok (*Lamiaceae*), csövesvirágú fészkesek (*Asteraceae*), liliomfélék (*Liliaceae*). Az illóolajok a mono- és szeszkviterpének közül kerülnek ki, vannak alifás és ciklikus vegyületeik. Egy-egy növény illóolaja több vegyületből áll, amelyek kromatográfiával elkülöníthetők. Az illóolaj összetevőinek változatossága és sokfélesége a növényfajokban a polikemizmus, vagyis kemovariánsok kialakulásához vezet (pl. kakukkfűvek esetében). Trópusi növények illóolaja gyantával keveredik, és folyékony balsam jön létre. Az illóolaj sajátos kiválasztó- és váladéktartó szövetekben halmozódik fel (sejtközötti járatok, mirigysejtek). A növények illóolajtartalma – akárcsak az alkaloidák esetében – az egyedfejlődés alatt és a környezeti tényezőktől függően jelentősen változhat. Gyógyászati szempontból igen fontos az azulén tartalmú magyarországi kamilla.

A **kaucsuk** a tejnedvtartalmú növények tejnedvének nagyon változó hányadát teszi ki. Emellett egyéb anyagok is előfordulnak (illóolaj, gyanta, flavonok és származékaik), ezért a tejnedv összetétele igen változatos. A tejnedv fehér (kutyatejfélék, kaucsukfa, gyermekláncfű, pipacs) vagy flavonoktól vörös, sárga (vérehulló fecskefű).

A **flavonok** a virágok sárga, a fák gesztjének vöröses vagy barna színét okozzák. A flavonok a flavanok dehidrogénezési, a flavonolok pedig erősen oxidált származékai. A flavonszármazékok elterjedése szinte általános, különösen ott, ahol az antociánok háttérbe szorulnak. Jelenleg a flavonoknak több ezer növényfajból izolálva több száz variánsát ismerik, de a legtöbb flavonfélék tartalmazó dél-amerikai flórát még nem tárták fel e tekintetben. Jelentőségük a biológiai membránok stabilizálása, a sárga színű virágokban a rovarcsalogatás.

Az **antociánok** a legváltozatosabb növényi festékek, mert legtöbbjük glikozida, és így a cukrok minősége, kapcsolt gyökeik helye és száma szinte végtelen változatot eredményez. Az aglükon (nem cukor rész) az antocianidin, amely redukált flavanol származék. Az antociánok színének alakulását mindenekelőtt az aglükon indikátor természete szabályozza: a sejtnedv savas pH-ja esetén piros, lúgos pH-ja esetén kék, sárga vagy zöld színűek. Színképük az ultraibolya tartományra is kiterjed.

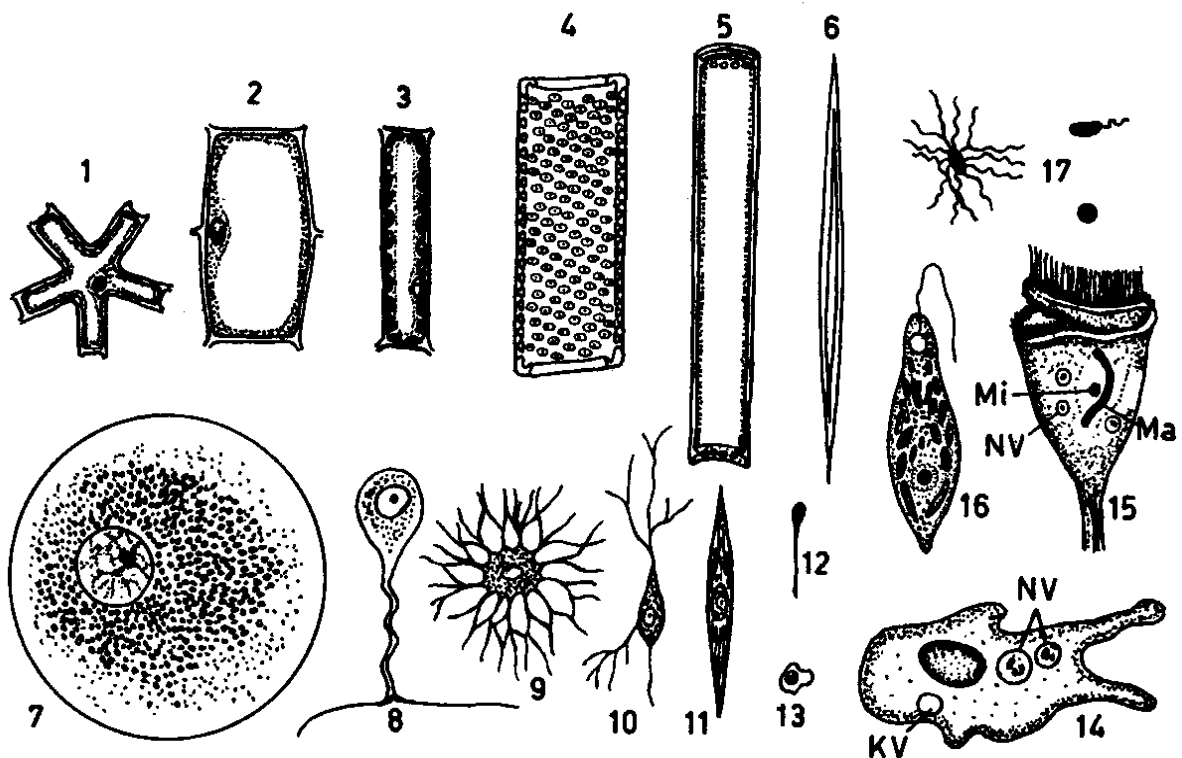
A **csersavak** illetve **cserzőanyagok** változatos vegyületek, és kémiaiilag két csoportra oszthatók. Az első csoportba a galluszsav észterszerű, hidrolízissel elbontható származékai, a cukor nélküli depszidek és a cukormaradékkal rendelkező tanninok tartoznak. A második csoport tagjai igen sokféle, kondenzált cserzőanyagok – pl. a katechinek. A cserzőanyagok közös tulajdonságai, hogy a növényvilág egyes fajaiban igen gyakoriak (zuzmósavak, tölgyfagubacs, cserfa, tea), a fehérjéket és alkaloidákat kicsapják, bőrcserzésre alkalmasak. Vírusbeteg növényekben a morfológiai tünetek mellett fenol jellegű, csersavakhoz hasonló vegyületek lépnek fel.

A **szteroidok** és a **szaponinok** sokféleségük ellenére viszonylag egységes vegyületek, mert triterpén-származékok. Gyógyászati jelentőségük nagy, mert gyártási folyamatban átalakíthatók szexuálhormonokká (ld. fogamzásgátló szerek). A **keserűanyagok** nagy része szintén terpén-származék: citosztatikus jelentőségük miatt a tumorterápiában kerültek előtérbe. A **vitaminok** közül a K- és E-vitamin diterpén, az A-vitamin tetraterpén-vegyület. A többi vitamin sav természetű vagy más jellegű vegyület. Szerepük állati és emberi vonatkozásban fontos. A növényi gazda-parazita viszony és a szimbiózis magyarázatát is keresik ez irányban.

3 A sejt

Minden élőlény sejtekből épül fel. Ismeretesek egysejtű és soksejtű élőlények. **A sejt az élőlények legkisebb alaki és működési egysége.** A sejt valamennyi életjelenséggel rendelkezik: genetikai információ, anyagcsere és energiaforgalom, reagálás külső ingerekre, mozgásképeség, növekedés és fejlődés, szaporodás, tulajdonságok örökítése. Az életfunkciók sejt organelumokhoz kötődnek (pl. sejtmag, mitokondrium, endoplazmatikus hálózat). A soksejtűek különböző sejt típusai különböző feladatok ellátására specializálódtak, de ennek a sokoldalúságnak az ellenére egységes alapelvek szerint léteznek.

A sejtek alak szerinti alaptípusa a gömb forma. Adott esetben ez biztosítja a környezet felé a legkisebb felületet, az információ közvetítés és a védelem optimalizálását. A sejtek alakja és mérete az élővilágban nagyon változó. (12. ábra)

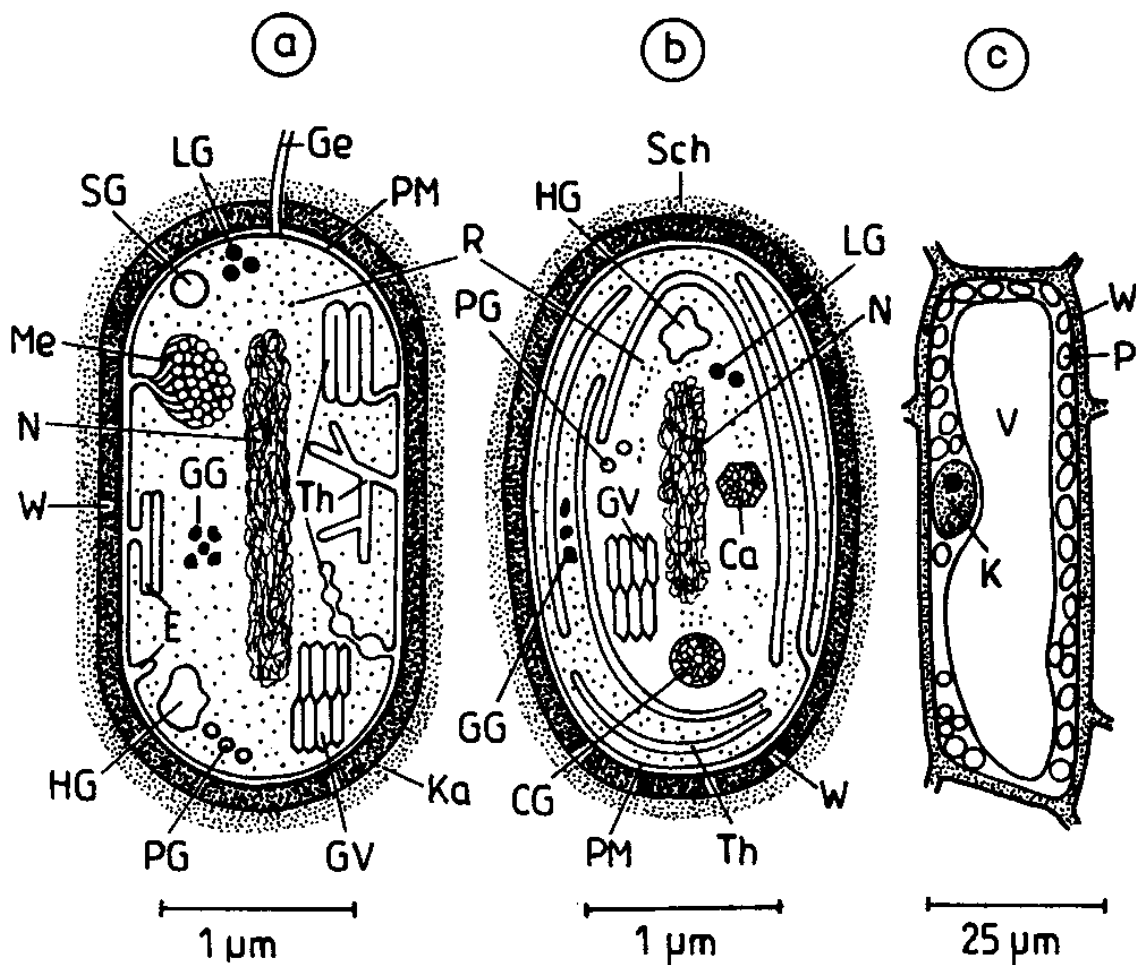


1 csillagparenchima, 2 parenchimatikus sejt, 3 oszlopos parenchima, 4 tracheida, 5 rostasejt, 6 szklerenchima rost, 7 petesejt, 8-9-10 idegsejt, 11 simaizomsajt, 12 spermium, 13 fehérvérsejt, 14 amóba, 15 harangállatka, 16 eugléna, 17 baktérium, KV lüktető üröcske, NV emésztő üröcske, Ma, Mi makro- és mikro-sejtmag

12. ábra Sejtformák

A sejt élő anyagainak a sejtmembrán által határolt összessége a **protoplaszma**. A sejtfal enzimatis úton való eltávolítása a biotechnológiai gyakorlatban a protoplasztálás; a falától megfosztott sejtet is protoplasztnak nevezik. A protoplazma heterogén, kocsonyás anyag, többféle sejtorganelummal. A sejtnek két fejlődési fokozata van. A protocita egyszerűbb, nincs sejtmagja (prokarióta - baktériumok; egysejtűek). Az eucita sejtmaggal rendelkezik (eukarióta - növények, gombák, állatok; egy- és soksejtűek – *eu* = valódi, *karion* = mag; görög).

A genetikai információt hordozó **genom** (pl. DNS) kb. 17-100000 fg [1 fg (femtogram) = 10^{-15} g] tömegű.



a) baktérium, b) cianobaktérium, c) növény

Ca karioszóma, CG cianofivócin szemcse, E membrán betüremkedés, Ge ostor GG glikogén szemcse, GV gázvakuolum, HG poli-3-hidrovajsav szemcse, K sejtmag, Ka tok, LG lipidszemcse, Me mezoszóma, N nukleotid, P plaztisz, PG polifoszfát szemcse, PM plazmamembrán (sejthártya), R riboszóma, Sch nyálkareteg, SG poliszulfidszemcse, Th thilakoid (csak fotofoszforiláló baktériumoknál), V sejtüreg (vakuolum), W sejtfal

13. ábra A protocita sejtek típusai az eucita (növényi) sejttel összehasonlítva

A sejt alkotórészei

<i>Eucita</i>	<i>Protocita</i>	<i>Megjegyzések</i>
Protoplaszma	Protoplaszma	
Plazmamembrán	Plazmamembrán	1) nem homológ, proto- és eucitáknál egyaránt előforduló, hasonló nevű struktúrák;
	membrán betüremkedések	
	Thilakoidok	2) csak növényeknél;
	Mezoszómák	
Sejtmag	Nukleoid	3) csak növényeknél és gombáknál;
Mitokondriumok ⁶		4) elsősorban állatoknál;
Plasztiszok ^{2,6} (kloro-, leuko- Kromoplasztiszok)		5) szórványosan eucitáknál is
Citoplazma ⁶	Citoplazma	6) riboszómákkal
- filamentumok	- riboszómák	
- mikrotubulusok	- plazmidok ⁵	
- centriolumok ⁴		
- magorsófonal		
- ostorok ¹ , csillók		
- szemcsék ¹ , kristályok	- szemcsék ¹ , gázvakuolumok	
belső membránrendszer		
- endoplazmatikus retikulum	csillók ¹ , (ostorok)	
- Golgi-rendszer		
- vezikulumok (mikrotestek, endoszómák, lizoszómák)		
- vakuolumok		
Sejtfal^{1,3}	sejtfal¹	

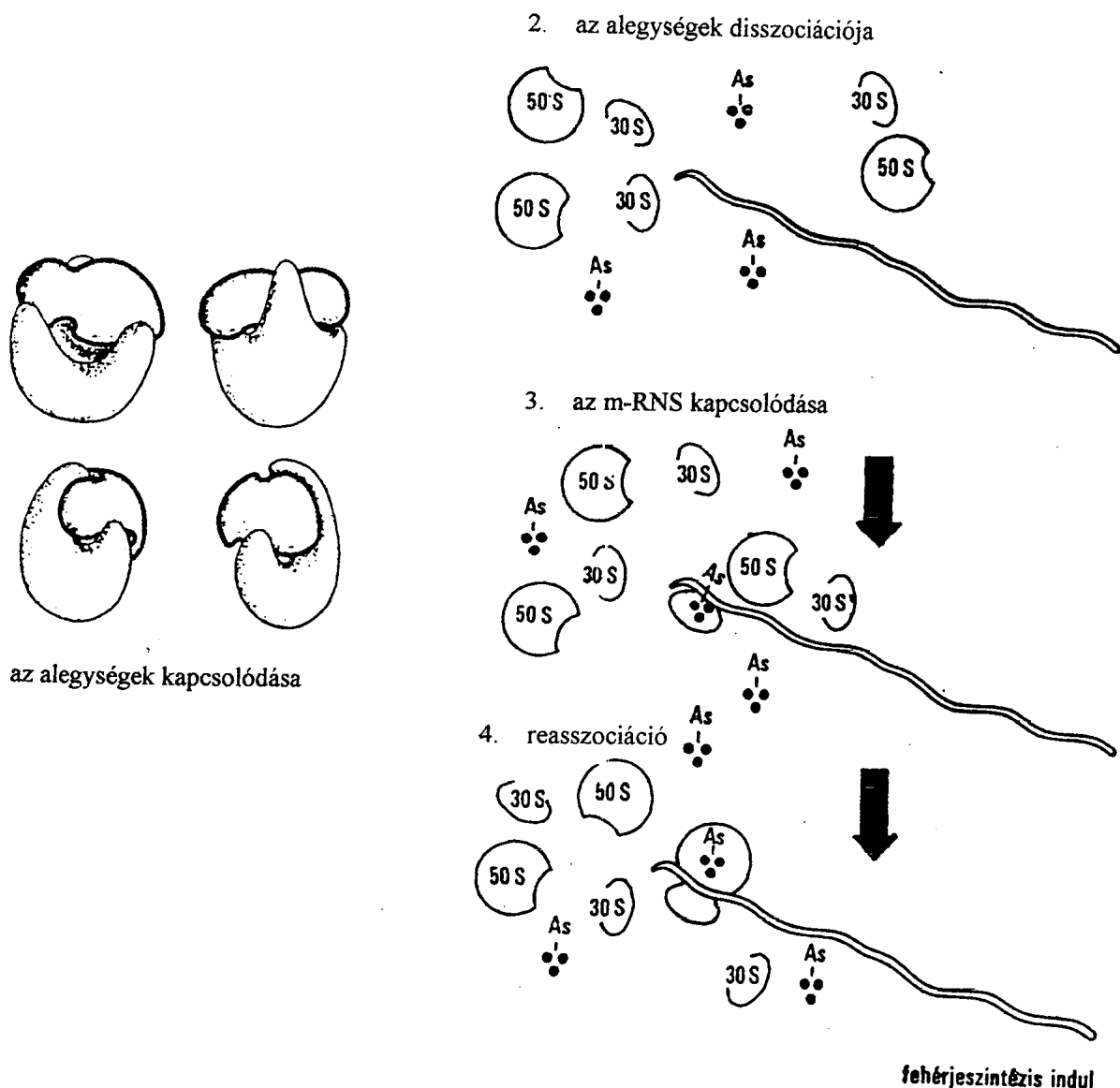
3.2.1 Citoplazma

A citoplazma állománya tömény proteinkolloid vizes oldatban, amely szervesanyagokban is gazdag. Viskozitása (belső sűrűsége) igen nagy és változékony. Tulajdonképpen tixotróp gél, amely szol-gél átalakulásra képes. A viszkozitás mellett a rugalmasság is jellemző rá. Mindkettő a finom fonalas proteinstruktúrák viselkedésére vezethető vissza. A citoszol az ultracentrifugálással nem kiülepíthető, homogén frakciót jelent.

3.2.2 Riboszómák

A riboszómák szolgálják a fehérje bioszintézist és eképpen a genetikai információ realizálását. Gömbölyű, apró (20-30 nm), nukleoproteid részecskék, amelyek száma sejtenként

10^4 - 10^6 . Két, egyenlőtlen méretű részegysége közötti excentrikus csatornával kapcsolódik az mRNS-hez. (15. ábra) Több száz riboszóma gyöngysorszerűen rendeződik az mRNS-hez, ez a poli(ribo)szóma. Az endoplazmatikus retikulum (EPR) felületére tapadva annak szemcsés változatát hozzák létre. Az eukarióta citoplazmában 80S-, a protocitákban kisebb, 70S-riboszómák vannak (S = Sievert; kiüledési érték centrifugálás során). Az eukarióta plasztisz-riboszómák 70S-típusúak, biokémiai alapon homológok a prokariótákéval. Ez megszorításokkal érvényes az állati mitokondriumok riboszómáira is.



15. ábra A riboszómák és működésük sematikus ábrázolása

A riboszómák összetétele

Ribo- szóma	70S			80S		
alegység	30S	50S		40S	60S	
RNS	16S	23S	5S	18S	28S	5,8S 5S
protein molekula szám	21	32		kb.30	kb.45	

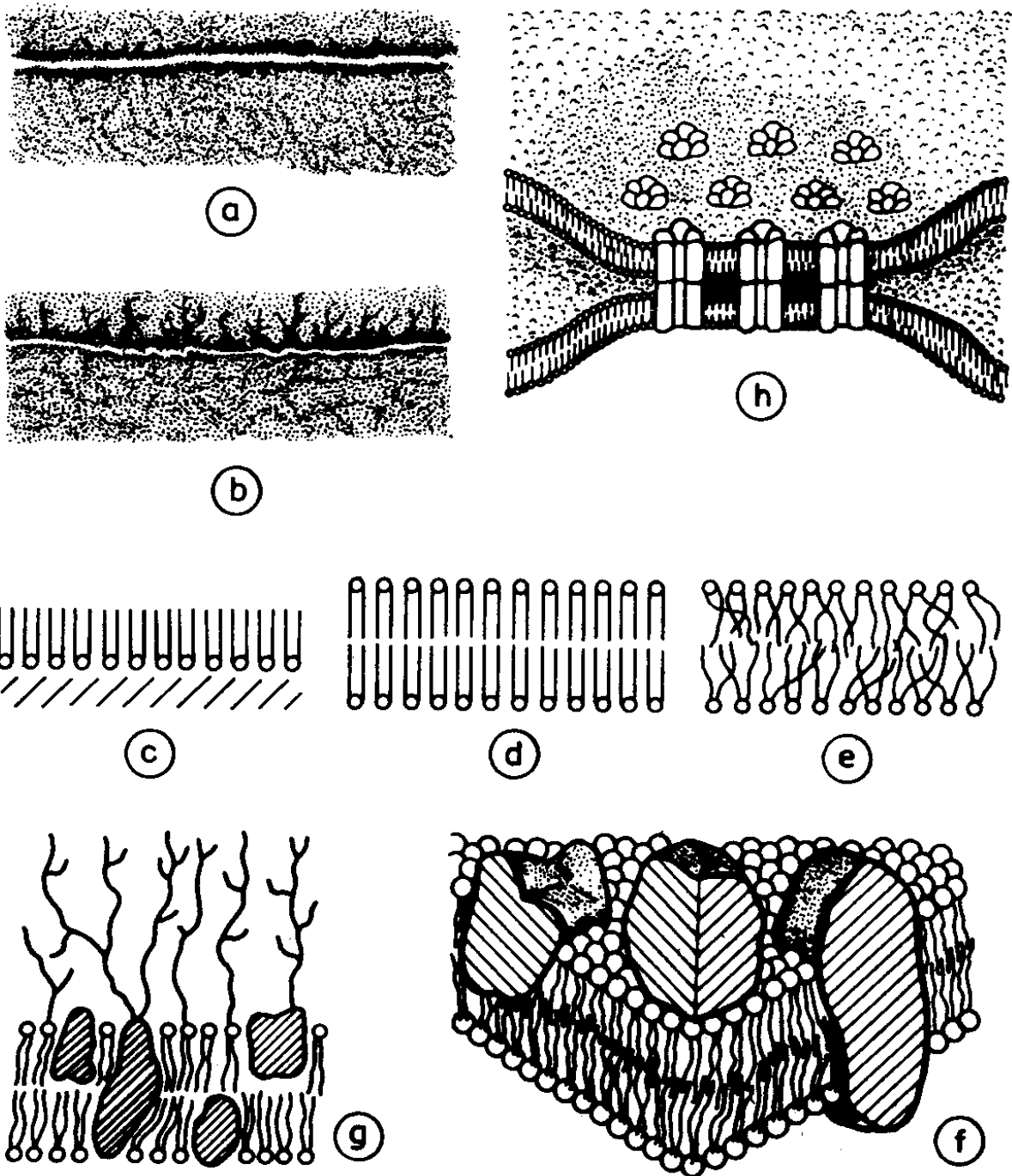
3.2.3 Membránok

Az élővilágban a sejtmembránok biztosítják a rendezettséget, az élet állandó harcát az entrópiával szemben: a sejtek és a sejten belüli organelumok energia abszorpcióját és annak pontosan meghatározható mennyiségének fogva tartását.

A citoplazma külső plazmamembránnal és belső membránrendszerrel, a sejtmag, a mitokondrium és a plasztisz kettős membránnal rendelkezik, a plasztiszokban tilakoidrendszer van.

A membránok 6-12 nm vastagok, zárt reakciótereket különítenek el. Ugyanakkor egyes anyagok szelektíve átdiffundálnak rajtuk, mások aktív, energiaigényes szállítással jutnak át. A membránok a mitokondriumok és a plasztiszok belsejében lévők kivételével egymásba vagy vezikulumokká alakulhatnak és viszont.

A membránok két dimenziós, globuláris fehérje folyadékkristály-oldatok. Alapszerkezetüket két párhuzamos lipidrétteg alakítja ki úgy, hogy hidrofób és hidrofil részegységeik helyzetét a vizes közeghez viszonyított irányuk határozza meg. Vizes közegben a lipidek bimolekuláris réteget képeznek, amelynek hidrofil részegységei rendeződnek kifelé. A membránok szerkezetére ugyanez érvényes. A perifériás membránproteinek hidrofil, az integráltak hidrofób jellegűek. A membrán dinamikát a SINGER-féle fluid-mozaik-modell közelíti meg legjobban. A membránok szemipermeábilisak (félleg átteresztők). A kicsi, hidrofil molekulák és ionok átdiffundálnak rajtuk. A nagyobb vagy speciális részecskéket csatorna-proteinek juttatják át. (16. ábra)



a-b) eritrocita (fehérvérsejt) plazmamembrán a rögzítéstől függő megjelenési formában, c) monomolekuláris lipidréteg vízfelületen, d-e) bimolekuláris lipidréteg, f) Singer-féle membránmodell, g) állati sejt plazmalemmája glükokalix védőrétekekkel, h) gap junctions: 2 nm távolságra lévő membránok között proetin hexamerek által kialakított sejt kapcsolat

16. ábra Határfelületek és a biológiai membrán

3.2.3.1 Plazmamembrán (plazmalemma)

A benne raktározott speciális „csatorna”- és szállító-proteinek biztosítják bizonyos anyagok átlépését, a membránenzimek az anyagcserét. A glükoproteinek és a legkülönbözőbb speciális proteinek biztosítják jelekként az információcserét úgy, hogy a másik sejt számára azonosító jelként szolgálnak, vagy jel-molekulákat (hormonokat, neurotranszmittereket) felfogó receptorokként működnek, s válaszreakciókat indítanak el.

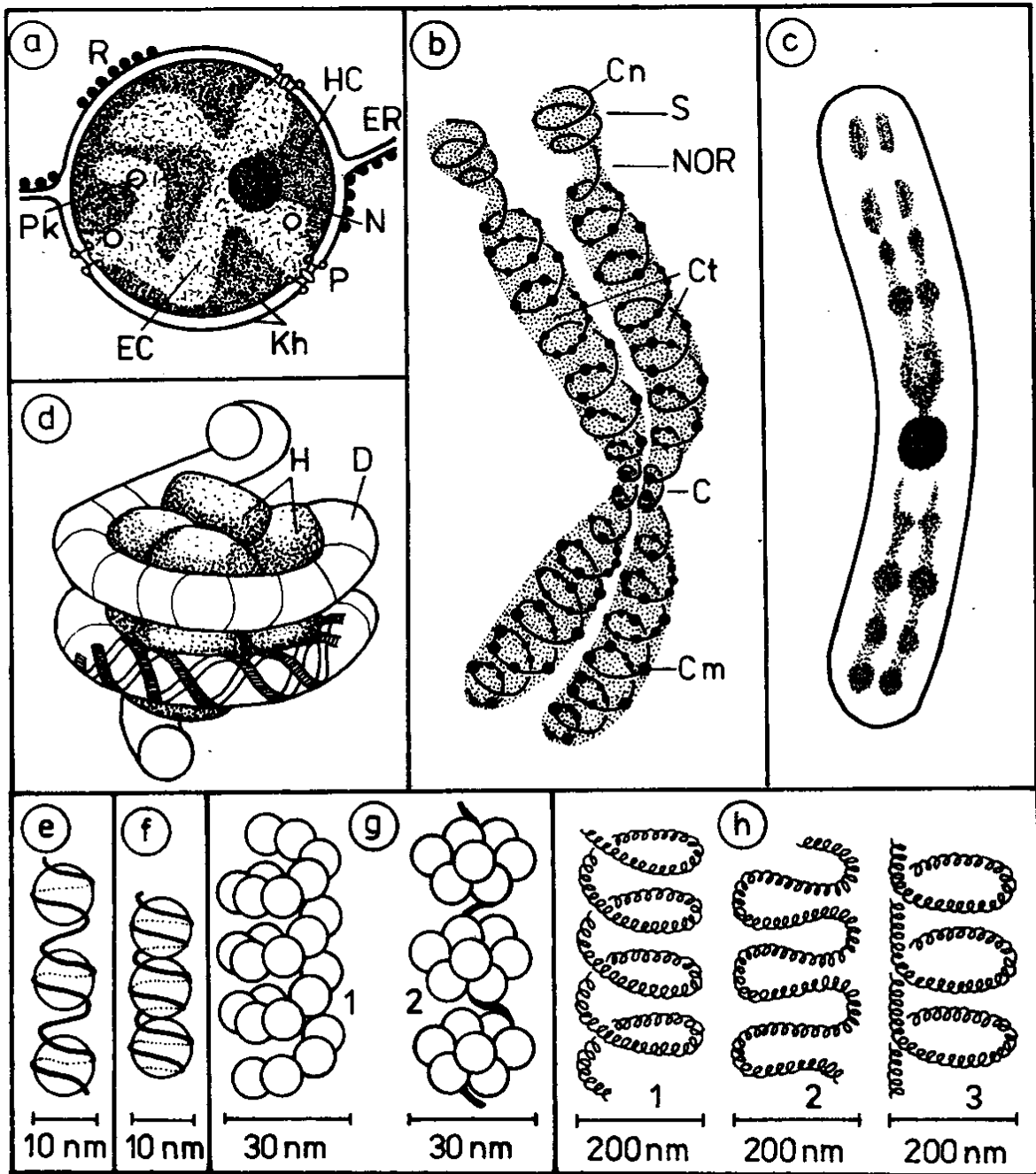
A plazmamembránt az állati sejtek esetében glükokalix nevű poliszacharida réteg, a növényi sejteknél cellulóz sejtfal fedi. A plazmamembrán anyagcserét exo- és endocitózis, ki- és betüremkedések, a növényeknél a szomszédos sejteket összekötő plazmodezma fonalak gyorsítják.

3.2.4 Sejtmag (nukleusz)

Sejtmag csak sejtmagból keletkezhet. Az anya- és az utódsejtmag azonosságát a DNS megkettőződése biztosítja. A sejtmag a sejt információs központja; valamennyi folyamat genetikai információ formájában van a DNS-ben tárolva. A sejtmag fő funkciói: (1) információátvitel, (2) információ kibocsátás a citoplazmába transzkripció (információhordozó molekulák képzése) révén, (3) az információ továbbítása sejtről-sejtre replikáció (mag- és sejtosztódás) révén.

A sejtmag általában központi helyzetű és gömb formájú, de más helyzetben és alakban is ismeretes. Száma sejtenként rendszerint egy. Idős sejtek elveszíthetik magvaikat (eritrocita fálósejtek, zárvatermő szállítónyaláb edénysejtek). Kettős sejtmag jellemzi a gombasejteket bizonyos fejlődési szakaszban, vagy a kétféle magvú véglényeket (dikariotikus sejtek), különlegesen nagy méretű sejtek sokmagvúak (polienergidas nyálkagombák, gerincesek vázizomsejtjei).

A sejtmag általában magplazmából, kromoszómákból és magvacskákból áll. A magplazma az alapanyaga, amely a citoplazmához hasonlóan sok enzimet és köztes anyagcsereterméket tartalmaz; energiát ATP formájában a citoplazmából importál. (17. ábra)



a) sejtmag nyugalmi állapotban: EC eukromatin, HC heterokromatin, N sejtmagvacska, Pk poliszacharida, Kh maghártya, P maghártya pórus, ER endoplazmatikus retikulum, R riboszóma
 b) SAT-kromoszóma magosztódás idején: C centromer, Cm kromomer, Cn kromonema, Cr kromatid, S satelit, NOR nukleolusz organirátor régió
 c) emberi kromoszóma festett heterokromatinnal, d) a nukleoszóma: D DNS, H hiszton, e) nukleoszóma triplet, f) g) h) a fibrillumok szerveződése kromonema fonallá

17. ábra A sejtmag és a kromoszóma

3.2.4.1 **Kromoszómák**

A kromoszómák kromatinból épülnek fel, amelynek 37 %-a DNS, 37 %-a hiszton, 25 %-a nem hiszton kromoszóma protein (NHP), elenyésző hányada RNS. (A kromoszóma, kromonéma, kromomer, kromatid elnevezés bázisos színezékekkel való festhetőségükre utal.) Megnyúlt nukleoproteid struktúrák, a sejtosztódás előtt megkettőződnek, identikusan sokszorozódnak, az utódsejtekbe egyenlő mennyiségben kerülnek. Ezért fordul elő minden egyes kromoszóma egy egyed valamennyi testi sejtjében azonos formában és azonos információ tartalommal. Két formában figyelhetők meg. A magosztódás során látható transzport kromoszómák jelentősen megrövidültek, pálcika vagy virsli formájúak. A magosztódás nyugalmi állapotában a működő kromoszómák nehezen felismerhetők (ld. 5.2.2. fejezet).

A kromoszómák a magosztódás alatt 0,2-20 μm hosszúak, két, egymáshoz illeszkedő, identikus kromatidából állnak, amelyek azután szétválnak, miközben utód-kromoszómákká alakulnak. A következő magosztódási szakaszig valamennyi utód-kromoszóma identikus megkettőződés révén (DNS replikáció) ismét két, egymáshoz illeszkedő kromatidát hoz létre.

A kromatida legnagyobb részét egyetlen igen hosszú, erősen kondenzált, fehérje tartalmú DNS kettős spirál alkotja, és halványan felismerhető kromonéma fonál formájában, amelyen számos csomó (kromomér) jelzi a DNS felhalmozódásokat. A kromomérek száma, helyzete és mérete mindkét kromonémán azonos, és minden kromoszómán állandó.

A kromoszóma primér befűződésénél a kromatidák a centromérhez kötődnek, és az a magosztódás során mozgásközpontként működik, és hozzá tapadnak a magorsó fonalak. Egyes kromoszómákon másodlagos befűződés is van: NOR (nukleusz-organizációs régió). A nukleoproteid szerkezet kevésbé kondenzált, a kromonéma nem felismerhető. A NOR-t követő rövid kromoszóma szakaszt szatelitnek nevezik. Az ilyen kromoszóma a SAT- (Sine Acido Timonukleosidi = timonukleinsav nélküli) kromoszóma.

Két magosztódás közötti interfázisban a fonalas és erősen hidratált kromatin a sejtmag egész volumenét megtölti. A kromoszóma szerkezetének fellazulása vezeti be a transzkripciót, az információ kiadását mRNS képződéssel. Az összehúzódot kromatin transzkripció szempontjából inaktív, a megnyúlt kromatin – a szabályozási folyamatoktól függően – aktív vagy inaktív. Egyes, ún. heterokromatikus kromoszóma darabok vagy egész kromoszómák összehúzódot állapotban és inaktívan maradnak, szemben az eukromatinnal. A fakultatív

heterokromatin informatív, tehát géneket tartalmaz, és mivel időszakosan heterokromatikus, a transzkripció szempontjából időszakosan aktívvá is válhat. A konstitúciós heterokromatin nem tartalmaz géneket, mert az igen sűrű bázisisméltódás annak nem megfelelő.

Magyar-kanadai kutatócsoport mesterséges kromoszómát állított elő. Elképzelhető, hogy a mesterségesen kifejlesztett kromoszóma, vagyis **génszállító eszköz**, a genetikai állomány megismerése után a vérzékenység, vagy a daganatos betegségek leküzdésében fontos szerepet kap.

3.2.4.2 A kromoszomális DNS és a gének

Egy folyamatos DNS kettős spirál több mint 10^8 bp (bázispár) hosszúságú. A kettős spirálon gének vannak szétosztva, és a DNS-nek a 3-10 %-át teszik ki. A DNS molekula replikációs egységekre – replikonokra – tagolódik, amelyek replikációja a szomszédos szakaszoktól elkülönülten, önállóan és egyszerre történik.

A gén a DNS funkcionális egysége, amely egy fehérje (polipeptid) illetve egy RNS (r-, t-RNS) információt tartalmaz. A gén átlagosan 5000 bp hosszú, bázissorrendje jellemző rá és az általa kódolt termékre. A gének között nagyon különböző hosszúságú, nem informatív, nem átíró, de szabályozó hatású DNS-szakaszok (spacer) vannak.

A korábbi becslésekkel szemben, amelyek 80-140 ezer emberi gént tételeztek fel, kiderült, hogy ennél jóval kevesebb lehet a számuk: mindössze 26-40 ezer. A gének száma és a szervezet komplexitása között nincs közvetlen összefüggés. Félrevezető a számos forrásban olvasható "elkészült az emberi géntérkép" kifejezés. A gének információt hordozó részei a teljes genetikai állomány 1-1,5%-át képezik. Az információ-hordozó szakaszokat (exonokat) nem kódoló szakaszok (intronok) szakítják meg. Csak a gén RNS-molekulára történő átírása során kapcsolódik egységgé az exonokra tagolt információ. Craig Venter, a Celera vezető tudósa szerint a gének kis száma azt jelenti, hogy nem minden tulajdonságért a gének felelősek, hanem ezek egy része már a fehérjemolekulák, illetve a sejtfolyamatok szintjén határozódik meg.

A gének azonosítását úgy kell elképzelni, mintha egy kb. 3 milliárd betűből álló tagolatlan szövegben értelmes mondat (gén) megkeresését. Az egyes mondatok szavai azonban nem közvetlenül egymás mellett állnak, és a szöveg mindössze négyféle betűt (A, T, C, G - szerves bázisok kezdőbetűje) tartalmaz. Ezek megfelelő kombinációja alapján kell egy mondatra (vagyis génre) következtetnünk.

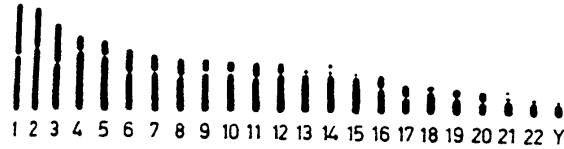
Az intron a gén közepén elhelyezkedő átíródo szakasz, de nem tartalmaz információt a gén által kódolt fehérjéhez, és nem kerül bele a mRNS-be. Az egyedi sorrend (unikális szekvencia) olyan nukleotidsorrend, amely az egész kromoszóma garnitúra DNS készletében csak egyszer fordul elő. Egyaránt lehet gén vagy át nem íródo szakasz. Az ismétlődő sorrend (repetitív szekvencia) többszöri, direkt vagy inverz formában fordul elő. Lehetnek kevésbé, közepesen és igen gyakran ismétlődő szekvenciák; létrejöhetnek az evolúció során gének megkettőződésével, szerepük még ismeretlen, vagy szabályozó szerepük van. A közepesen ismétlődő szekvenciák közé tartoznak a mobil (transpozable) elemek, amelyek változtatni tudják a helyüket a DNS-en, így befolyásolják a génaktivitást, mutációt válhatnak ki.

3.2.4.3 Kromoszómakészlet, genom

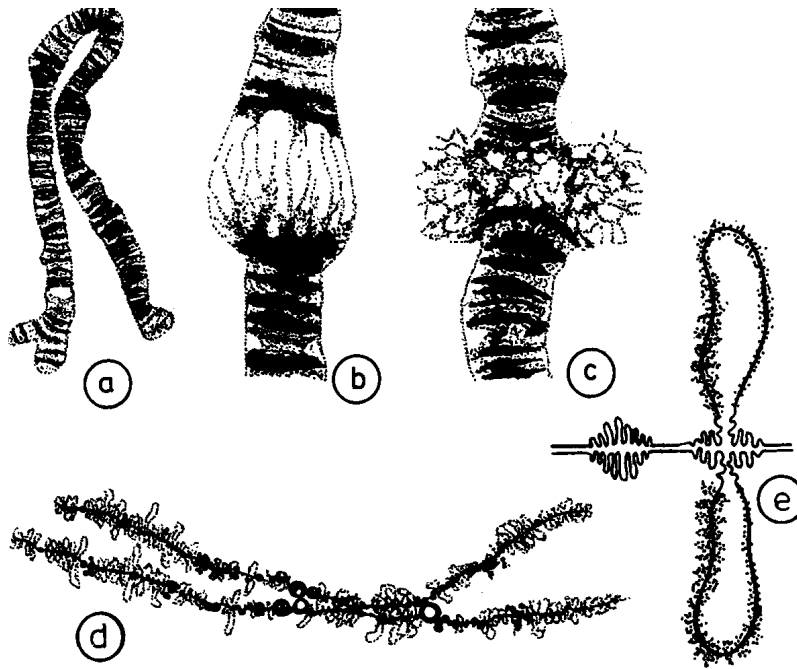
A kromoszómák fajra (alfajra) jellemző, meghatározott száma (n) a kromoszómakészlet (garnitúra). Ebben oszlik meg a sejtmagvak genetikai információállománya, a genom. Egy garnitúrához tartozó kromoszómák információ, méret, alak, az elsődleges befűződés és a heterokromatin helyzete tekintetében különböznek egymástól. A haploid sejtek egy, a diploid sejtek két kromoszómakészletet ($2n$) tartalmaznak. Az utóbbiakban minden információ duplán van meg, genomjaik száma kettő. Az ivarsejtek egy kromoszóma-készletet, illetve genomot tartalmaznak, haploidok (n). A magasabbrendű növények és állatok testi sejtjei diploidok ($2n$), mert az anyai és az apai kromoszóma-készletekből tevődnek össze. Bizonyos szöveteket poliploid sejtek alkotnak. A haploid sejtek meiosis során képződnek diploidokból, míg a diploidok megtermékenyítés során haploidokból. (18. ábra)

A poliploid sejtek természetes úton spontán vagy indukáltan képződnek, vagy mesterségesen előállíthatók. Az ivarsejtképződéskor jelentkező rendellenességek az egész szervezetben poliploiditást okoznak. A génamplifikáció olyan extrém túlszorzódás, amikor csak egy gén sokszorozódik meg és poliploid lesz.

A diploid sejtek kromoszómái párokat képeznek: homológ kromoszómák. A diploid organizmusok nagy részének két nemi kromoszómája van. A homológ kromoszómák egyformák, de az ivari kromoszómák (heteroszómák) nem. Nőivarúaknál XX, hímivarúaknál XY kromoszómapár fordul elő (lepkéknél, madaraknál fordítva). Az Y kromoszóma erősen konstitutív heterokromatikus és teljesen hiányozhat. A gerinces nőivarúak egyik X-kromoszómája az embrionális fejlődés során teljesen heterokromatikusává válik, és a maghártyán szexkromatinként látható lesz. Az **ivar korai diagnosztizálására** alkalmazható.



18. ábra Diploid kromoszómakészlet (férfi)



a) politén kromoszóma, b) puff, c) Balbiani-gyűrű, d) párosodott lámpakefe kromoszómák, e) két kromatidás lámpakefe kromoszóma kontrahálódott és szétvált kromomerjei

18. ábra Politén és lámpakefe kromoszómák

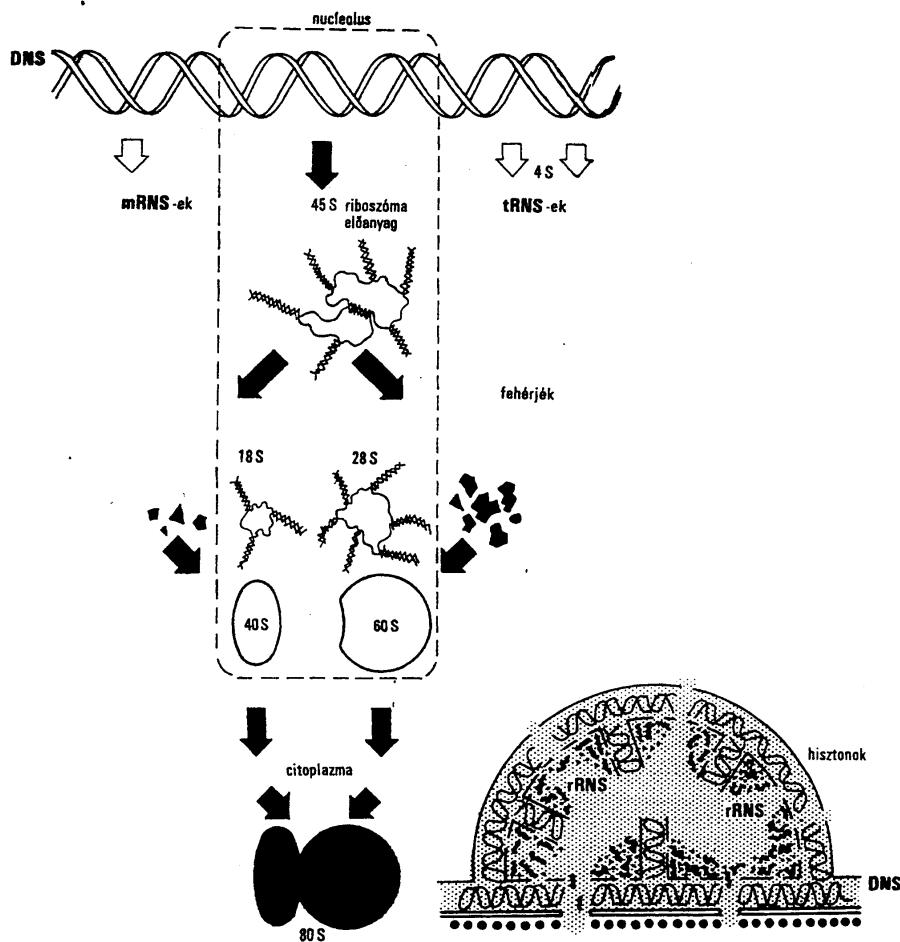
A politén (óriás) kromoszómák DNS-tartalma megsokszorozódott, hosszuk a 0,5 mm-t is eléri. Alakjuk a magosztódás és a nyugalmi állapot során egyaránt változatlan marad. Belső replikációval jönnek létre, de a kromonémák nem válnak szét úgy mint az endomitózis esetében. A számos, teljesen szét nem vált kromonéma kötegek közül egyesek időszakosan megduzzadnak (puff), ahol kibomlanak. Az RNS-polimeráz jelenléte igen aktív RNS szintézisre utal. Egyes puffok a génamplifikáció következtében különösen nagyok (BALBIANI-gyűrűk). Kétszárnyúak nyálmirigysejtjeiben, csillósok nagy sejtmagjában növények magkezdeményeiben találhatóak.

A lámpakefe-kromoszómák 6 mm hosszúak is lehetnek. Számos gerinces, fejlábú, rovar és növény petesejt képződése során a meiosis profázisában láthatók. Nem politén

kromoszómák, csak azokhoz hasonlóak. A kromomerek nagy, transzkripciót mutató hurkokat képeznek. A magosztódás során később nincs transzkripció, de intenzív RNS és proteinszintézis zajlik, a későbbi embriófejlődéshez szükséges készletekhez.

3.2.4.4 Nukleóluszok (sejtmagvacskák)

2-5 µm átmérőjű, tömör magtestek, amelyek a SAT-kromoszómák NOR szakaszának DNS-e által kódolt rRNS-t és kész riboszomális fehérje alegységeket szintetizálnak. Fibrilláris központi és szemcsés környéki részből épülnek fel. A diploid sejtmagvak 1-2 (7) nukleóluszt tartalmaznak. (20. ábra) A NOR kromatinja repetatív. Sok élőlényben a 45S-RNS gének génamplifikációval megsokszorozódnak. A számos rövid, köralakú, hiszton nélküli, extrakromoszomális kettős spirál szakasz a nukleóluszt ezrével elhagyva mikronukleóluszokat hoz létre [növényi endospermium (elsődleges embrionális tápszövet), kétéltű tojás].



19. ábra A nukleolusz szerkezeti és működési vázlatja

3.2.4.5 Maghártya

A perinukleáris teret határoló kettős hártya. Az endoplazmatikus retikulum (EPR) állományának része. Magosztódás alkalmával ciszterna-fragmentumokra és vezikulumokra esik szét, amelyekből az osztódást követően az EPR újra felépül. Egyéb membránoktól eltérően a maghártya felülete porózus. Az elektromikroszkópikus méretű nyílások a felület 5 %-át teszik ki. A pórusokban a mag vázszkezelete diafragmát képez, vagy nukleáris és kromoszómális ribo-nukleoproteid eredetű központi granulum zárja el, amely feltehetően riboszóma alegységként vagy proteinkötésű (pre-) mRNS-ként fog kilépni.

3.2.4.6 Protocita nukleoid, kromoszóma és plazmid

A prokarióták genetikai információinak nagy része egyetlen DNS molekulában, a géneket lineáris sorrendben tartalmazó kromoszómában (genom) van. Csaknem kizárólagosan informatív szekvenciák jellemzik. A protocita kromoszóma tulajdonképpen egy membrán nélküli, a plazmamembránnal kapcsolatban lévő, kör alakú nukleoid. A DNS replikáció folyamatos, ezért egy sejt 1-7 nukleoidot és átlagosan 2-nél több kromoszóma másolatot tartalmaz. A DNS kettős spirál gyűrűvé záródott, fonatszerűen megcsavarodott a központi maganyag (centroplazma) körül. A nukleoid kb. 10 %-nyi, mintegy 100 féle hiszton jellegű proteint (histon-like proteine, HLP) tartalmaz.

A prokarióta plazmid extrakromoszómális, nagyon apró, gyűrű alakú DNS kettős spirál. Nagy számban fordul elő, a kromoszómától függetlenül szaporodik, és átvitele sejtről-sejtre egyszerű. Egy vagy több, alkalomadtán hiányzó génnel rendelkeznek. A plazmidok lehetővé teszik a fajon belül gyors génátvitelt (**transzpozonok**), és az alkalmazkodó képességet szolgálják. Be tudnak integrálódni a kromoszómába, majd ki is tudnak válni onnan.

3.2.4.7 Extrakromoszómális DNS

A citoplazma organellumokban – a mitokondriumokban és a protoplasztiszokban – önálló információtartalmat hordozó DNS molekulák vannak. A citoplazmás öröklődés azt jelenti, hogy a hímivarsejtek nem vagy csak alig vesznek részt az utódok citoplazmatikus génállományának kialakításában, illetve azt, hogy ivaros megtermékenyítéskor az organellum-DNS-ek kicserélődése, rekombinációja korlátozott, vagy nem megy végbe. A szomatikus protoplasztok (sejtfalaiktól megfosztott testi sejtek) fúziójával létrehozott szomatikus hibrid sejt citoplazmájában mindkét szülő citoplazmatikus organellumai jelen vannak. A különböző genetikai programot hordozó organellumok együttes jelenléte bonyolult, a sejtmagok és az

organellum-populációk kölcsönhatásain alapuló öröklődésmenteket okoz. A protoplaszt fúzióval cibridek állíthatók elő, amelyek sejtmagja csak az egyik szülőből, sejtorganelumai pedig mindkét szülőből származnak. Az organellumok keveredése következtében a cibriditás – genetikai értelemben is – fennmarad.

Paraszexuális hibridizációval megnyíltak a távoli hibridizáció lehetőségei. A fúzió létrejöttében nem jelent korlátozó tényezőt a protoplasztok eredete, nem csak rokon nemzetségek, hanem rendszertanilag távoli élőlények (elsősorban növények) tulajdonságainak kombinálására nyílik lehetőség, ha a szomatikus inkompatibilitás (összeférhetetlenség), mint gátló tényező, nem működik.

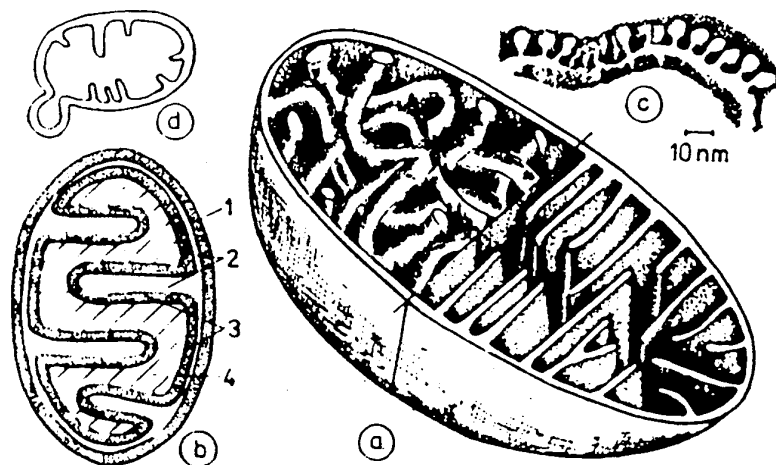
3.2.5 Mitokondriumok

Az eukarióta sejtek energia-ellátását biztosítják ATP formájában, amely szerveanyagok oxidációja során szabadul fel (légzés): zsírsavak β -oxidációja, aminosavak oxidációja, citrát-ciklus, légzési lénc, oxidatív fotofoszforilálás. Mellékfunkciók: aminosavak (glutaminsav, citrullin, szerin) és oxálacetát bioszintézise, aktív ion-, elsősorban Ca^{++} -akkumuláció.

Sejtenként 150-2000 mitokondrium van, de számuk egysejtűeknél és nagytestű véglényeknél meghaladja a 100 000-et, ugyanakkor hiányoznak a parazita véglényekből, erjesztő- és olyan erősen specializált sejtekből, mint a gerincesek eritrocitái.

Többnyire gömb vagy pálcika, ritkán fonál alakúak, 0,5-1 x 1-5 μm méretűek. A mitokondriumot 7-10 nm vastag kettős membrán határolja. A külső membrán koleszterolban, foszfolipid-frakciókban és áteresztőképességet biztosító, porin alagút-proteinekben gazdag és zsírsavaktiváló és aminosav-anyagcsere enzimeket (acetyl-CoA-szintetáz illetve monoamin-oxidáz) tartalmaz. A belső membrán lemez vagy ritkábban cső alakú betüremkedéseket (kriszták illetve tubulusok) képez. (21. ábra)

A lemezes belső membrán proteinben igen gazdag, de kevésbé áteresztő. A légzési köztestermékek (piruvát, citrát-ciklus savai), aminosavak, ATP és ADP, foszfát, Ca^{++} szállításához transzlokátor transzport fehérjékkel rendelkeznek. Pl. az antiport az ADP/ATP kicserélődést, az uniport a Ca^{++} -importot katalizálja. Itt vannak integrált proteinek formájában a légzési lánc elektron-transzportjának komplex enzimek. A dehidrogenáz oxidálja a mátrixban a légzési szubsztrátot, és a kilépő hidrogént a légzési lánchoz továbbítja.



20. ábra A mitokondrium

a) csöves és lemezes struktúra, b) 1 külső membrán, 2 perimitokondriális tér, 3 belső membrán, 4 matrix, c) membrán lemezek az ATP szintézis szerkezeti egységeivel, d) a mitokondrium osztódása

A belső membrán és a kriszták matrix felőli oldalán μm^2 -ként 4000 gomba formájú ATP szintetizáló egység helyezkedik el. A fej alakú, hidrofil F_1 -komplex termeli az ATP-t a légzési szubsztrát lebontása közben kialakuló protongradiens alatt. A hozzá kapcsolódó, egységet képező hidrofób F_0 -komplex és oligomicin-érzékeny szállító protein (OSCP) protoncsatornát képez, amelyen át diffundál a H^+ a matrixból az F_1 -hez.

A matrixban (alapanyagban) játszódnak le a mitokondriális bioszintézisek, és ez tartalmazza a citrát-ciklus köztes termékeit és enzimeit (a szukcinát-dehidrogenáz integrált membránprotein kivételével). Pl. itt megy végbe a piruvát karboxilálása, vagy légzési dekarboxilálása.

3.2.5.1 A mitokondriumok genetikai rendszere

A matrixban mitokondriális DNS (mtDNS), mRNS, tRNS és 70S-riboszómák vannak. A DNS a prokariótákéhoz hasonló. A növényi mtDNS fel nem tárt különlegessége az, hogy spontán és reverzibilisen, gyűrű alakú darabokká esik szét. A mitokondriális gének intronokban helyezkednek el. Az energiatermelő funkciók ellátásához szükséges fehérjék szintézisét a citoplazmatikus gének a sejtmagi génekkel szoros kölcsönhatásban végzik. A mtDNS kódolja a mitokondriális tRNS-t, a tRNS-t, a citokrom-oxidáz kisebb egységeit, az F_1 -komplex hét polipeptidjét, az F_0 két polipeptidjét. A legtöbb mitokondrium-proteint a kromoszómák kódolják és a citoplazmatikus riboszómák termelik, végül mint pre-proteinek és jelsorrendek a mitokondriumba szállítás során kapcsolódnak össze.

A mitokondriumok csak pár napig élnek. Haránt osztódással vagy sarjadzással szaporodnak. Ivaros szaporodás alkalmával, a spermiogenezisben a mitokondriumok fonalakká vékonyodnak, s a gerinceseknél a spermium nyaki részében négy spirál formájában mutatkoznak.

3.2.6 Plasztiszok

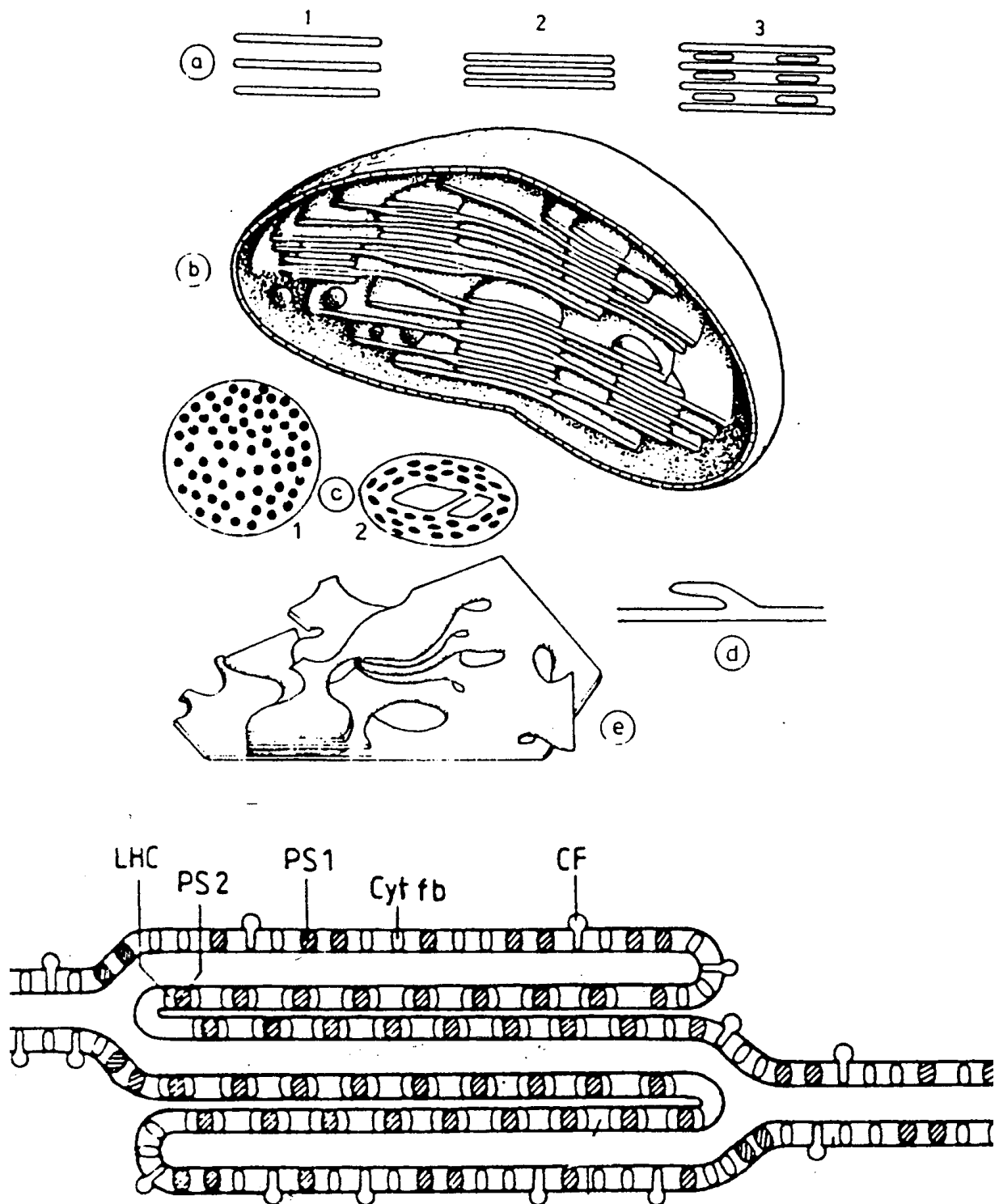
Növényi sejtalkotórészek.

3.2.6.1 Kloroplasztiszok

Fő feladatuk a fotoszintézis, a fényenergia átalakítása szervesanyagok kémiai energiájává, mindenek előtt szénhidráttá. Ugyanakkor zsírsavakat, lipideket, karotinoidekat, klorofilokat, stb. is szintetizálnak. Megvilágított sejtekben alakulnak ki. Ezek a sejtek zöld színűek, ha más színanyag nem dominál (barna- és vörösmoszatok esetében más plasztisz pigmentek, vérbüknél sejtnedv festékanyagai).

A fényelnyelő pigmentek többsége klorofill (négy pirrolgyűrűből álló porfirin vázas vegyület központi Mg atommal és hosszú láncú fitol alkohollal. A klorofilok 70 %-a kékeszöld klorofill-a, a többi sárgás-zöld klorofill-b (zöldalgák, magasabbrendű növények), klorofill c, d vagy e (egyéb algák). A karotinoidek közül a narancssárga karotin és a sárga xantofill tartozik ide. A vörösmoszatokra és a kékbaktériumokra még fikobillin, kék fikocianin, vörös fikoeritrin jellemző. A barnamoszatok kloroplasztiszait fukoxantin barna, a vörösmoszatokét fikoeritrin és fikocianin vörösre festi.

A magasabbrendű növények 10-200 lencse alakú 3-10 μm átmérőjű kloroplasztot tartalmaznak, az algasejteké kevesebb, nagyobb és különböző alakú. Külső faluk a mitokondriumokéhoz hasonló szerkezetű kettős rétegű membrán, körülveszi a sztrómát, amelyet a belső réteg lapos kitüremkedései, membránlemezek, grána- és sztróma-tilakoidok járnak át. A gránumok között a sztróma-tilakoidok hálózatosan áttörtek. (22. ábra)



Felül: a) 1-2-3- vörösmozzatok, zöldm��zatok és magasabbrendű növények tilakoid szerkezete, B) magasabbrendű növény kloroplasztisának szerkezete, c) kloroplasztisz keményítőttestekkel, d-e) grana-tilakoidok szerveződése
 Alul: a fotoszintetizáló részecskék térbeli elrendeződése: LHC light harvesting complex, PS1 és PS2 fotoszisztém1 és fotoszisztém2, Cyt citokróm, CF ATP szintézis

21. ábra A kloroplasztisz szerkezete és a tilakoid-membrán finomszerkezete

A tilakoid-membránok protein tartalma több mint 50 %. Több mint 40 féle protein járul hozzá az energia átalakításban játszott szerepéhez. A fotoszintézis fényszakaszához a klorofill tartalmú fotoszisztém 1 és fotoszisztém 2 (PS1, PS2) szükséges, amelyhez az elektrontranszportlánc (citokróm-f-b6) és ATP-szintetizáló egység kötődik. A fényenergiát klorofill-gazdag LHCP-komplexek (light harvesting complex) gyűjtik, és adják át a PS részecskének. Az ATP szintetizáló egységek a mitokondriumok F_1 és F_0 egységeihez hasonló megjelenésű és működésű CF_1 - CF_0 komplexekből állanak. A sztrómában játszódik le a fotoszintézis „sötét” szakasza több más biokémiai folyamattal együtt, és asszimilációs keményítőtestet tartalmaz.

3.2.6.2 A plasztiszok genetikai rendszere, fejlődése és származása

A sztrómában van plasztisz-DNS (ptDNS), mRNS, tRNS és 70S-riboszómák rRNS1, rRNS2 5S- és 4,5S-RNS molekulákkal együtt. A ptDNS – akár a mitokondriumoké – gyűrű alakú, hiszton- és NHC-mentes, géneket és intronokat tartalmaz. Ma már ismeretes a ptDNS több mint 150 ezres bázispárjának teljes szekvenciája, és ezen meghatározták több gén helyét. A ptDNS 80-90 plasztisz-proteint kódol, ebből a 20-60 riboszóma-protein mellett számos, a fotoszintézisben közvetlenül résztvevő fehérjét. A fotoszintetikus funkciók ellátásához szükséges fehérjék szintézisét a citoplazmatikus gének a sejtmagi génekkel szoros kölcsönhatásban irányítják. A ribulóz-1,5biszfoszfát-karboxiláz/oxigenáz (RUBISCO) rövid polipeptidláncú alegységei sejtmaggénről citoplazma riboszómán szintetizálódnak, majd tranzitpeptid segítségével a kloroplastisz membránján átjutva összekapcsolódnak a kloroplastisz génjei által szintetizált hosszú polipeptidláncú alegységekkel.

Az embrionális sejtek proplasztiszokkal rendelkeznek, amelyek a szövettípustól függően zöld kloroplastiszokká, vagy filogenetikailag fiatalabb (levezetettebb) sárga, vörös kromoplastiszokká és szintelen leukoplastiszokká. A proplasztiszok kezdeti növekedése belső strukturális differenciálódás nélkül megy végbe. A kloroplastisszá alakulás fényt igényel. Sötétben a membránképződés elmarad, vagy megszakad. A leukoplastiszok ezen a szinten maradnak. Az etioplastiszok prolamelláris testeket tartalmaznak (pl. keményítőt raktározó amiloplastiszok), és fény esetén kloroplastiszokká differenciálódhatnak. A lipid raktározó elaioplastok belső membránrendszer kezdemény nélküliek. A kromoplastiszok főként kloroplastiszokból keletkeznek a belső membránrendszer degradálódása és pigmentálódása révén.

A plasztiszok DNS készletük megkettőződése után pro- vagy kloroplasztiszok kettéosztódásával keletkeznek. Ivaros szaporodás alkalmával proplasztiszok fajspecifikusan mindkét ivarsejtbe vagy – legtöbbször – csak a petesejtbe bekerülnek. A magasabbrendű növények esetében a kloroplasztiszok anyai öröklése azt eredményezi, hogy az apai plasztiszok nem, vagy csak ritkán vesznek részt az utódok citoplazmatikus génállományának kialakításában.

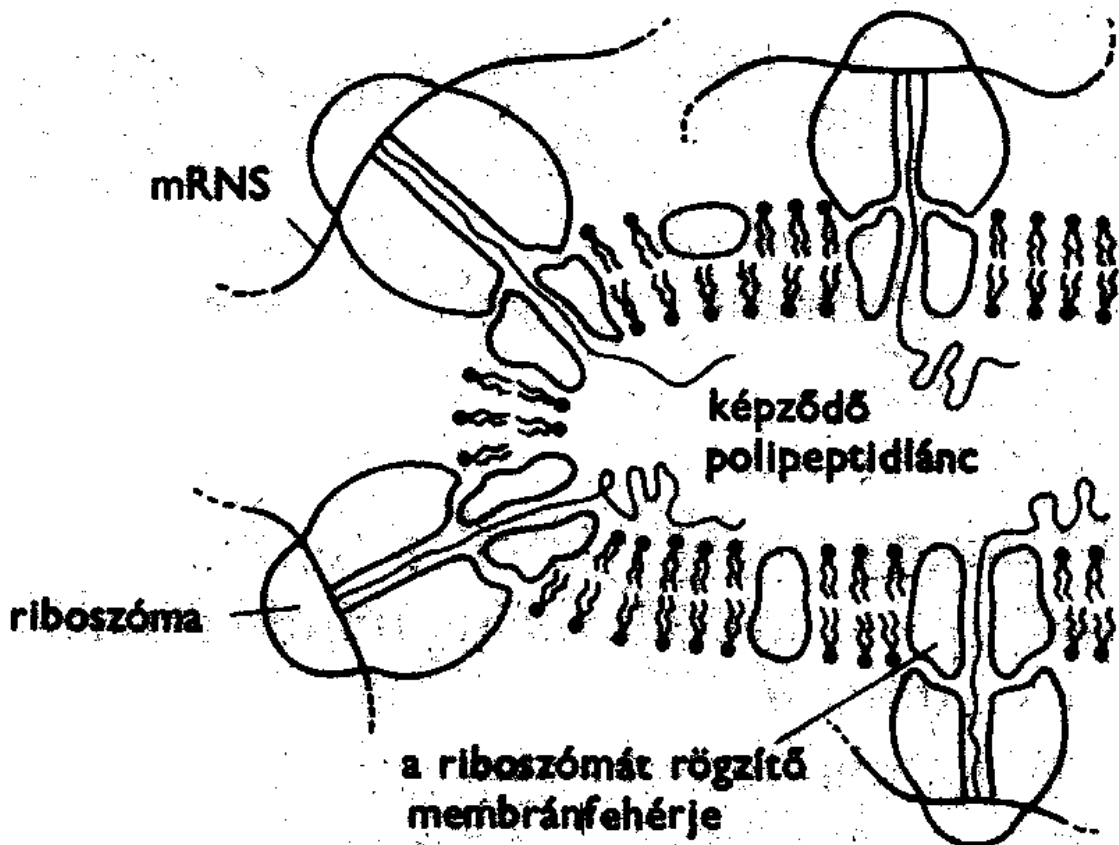
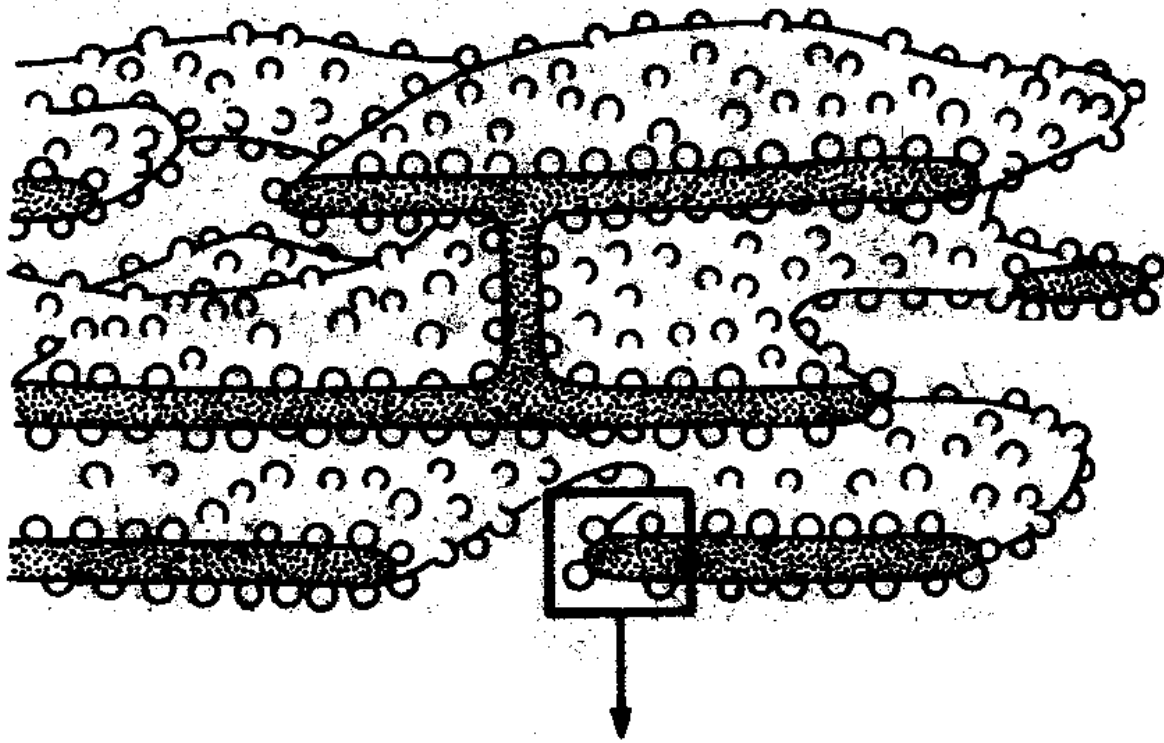
A plasztiszok helyzete – a mitokondriumokhoz hasonlóan – különleges az eucitáknál: saját genetikai rendszerük van, viszonylag függetlenül szaporodnak a mag- és sejtosztódástól, a protoplazma többi részétől kettős membrán választja el őket. Szemi-autonóm organellek. Az endoszimbionta elmélet szerint feltehetően cianobaktériumokhoz hasonló protociták utódai, amelyek fagocitózis révén heterotróf, anaerob sejtekbe kerültek, és ott szimbiotikus létet valósítottak meg. Az elmélet mellett és ellen egyaránt több érv szól, de a plasztiszokra nézve teljesen, a mitokondriumokra fenntartásokkal elfogadják.

3.2.7 Belső membránrendszer

A sejtben jól fejlett belső membránrendszer zárt reakciótereket határol el a környező citoplazmától. Ez szűk csövecskékből, lapos ciszternákból és apró hólyagocskákból (vezikulumokból) áll.

3.2.7.1 Endoplazmatikus retikulum (ER vagy EPR)

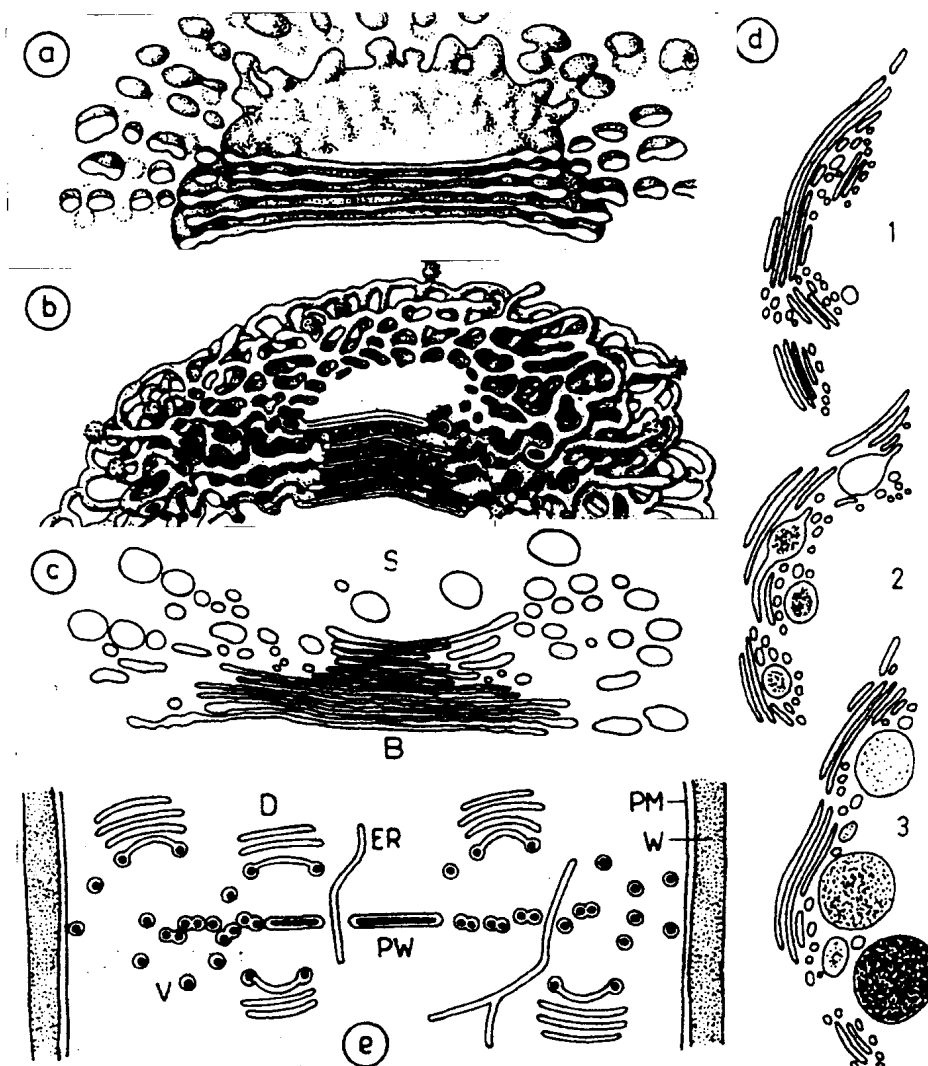
Ciszternái és csövei behálózzák az egész citoplazmát, és maghártyaként körülfogják a sejtmagot. A növényeknél a csövei a sejtfaon keresztül a szomszédos sejthez vezetnek (dezmotubulus, plazmodezma). Sima és szemcsés endoplazmatikus retikulum (sER illetve rER) különböztethető meg. Az utóbbihoz poliszómák tapadnak. A tömött rétegű rER, az ergasztoplazma a proteinszállító sejtekben (gyomor- és nyálmirigy sejtek) jellemző. Az rER fehérjéket szintetizál, a sER a szénhidrát- és egyéb anyagcsere különböző lépéseiben vesz részt, mindenekelőtt a lipidszintézis központja. Tipikus enzimrendszere a citokróm-P-450, amely testi anyagokon kívül testidegeneket is hidroxilál, és detoxifikációs reakciókba viszi azokat (xenobiotikumok: pl. herbi-, fungi- és inszekticidek). (23. ábra)



22. ábra A szemcsés endoplazmatikus membránrendszer (fölül) és a membránhoz kapcsolódó riboszómák (alul)

3.2.7.2 Golgi-készülék

Feladata legtágabb értelemben véve exkrétumok képzése, a plazmamenbrán létrehozása, bővítése, javítása. A kifejlett gerinces sejtekben egy, gyakran a mag közelében fekvő diktioszóma halmaz alkotja. 3-12 csészealj szerű Golgi-ciszterna széléről Golgi-vezikulumok fűződnek le folyamatosan, sejtenként százával. A Golgi-vezikulumok a sejthártyához vándorolnak, azzal egybeolvadnak, a környezetbe ürítik tartalmukat (exocitózis) és membránjukkal a sejthártyát regenerálják. A Golgi-ciszternákban a monoszacharidák glükozidákká, oligo- és poliszacharidokká (többek között a növényi sejtfallat alkotó cellulóz-féleségekké és az állati sejtet burkoló glükokalixszá) alakulnak. (24. ábra)

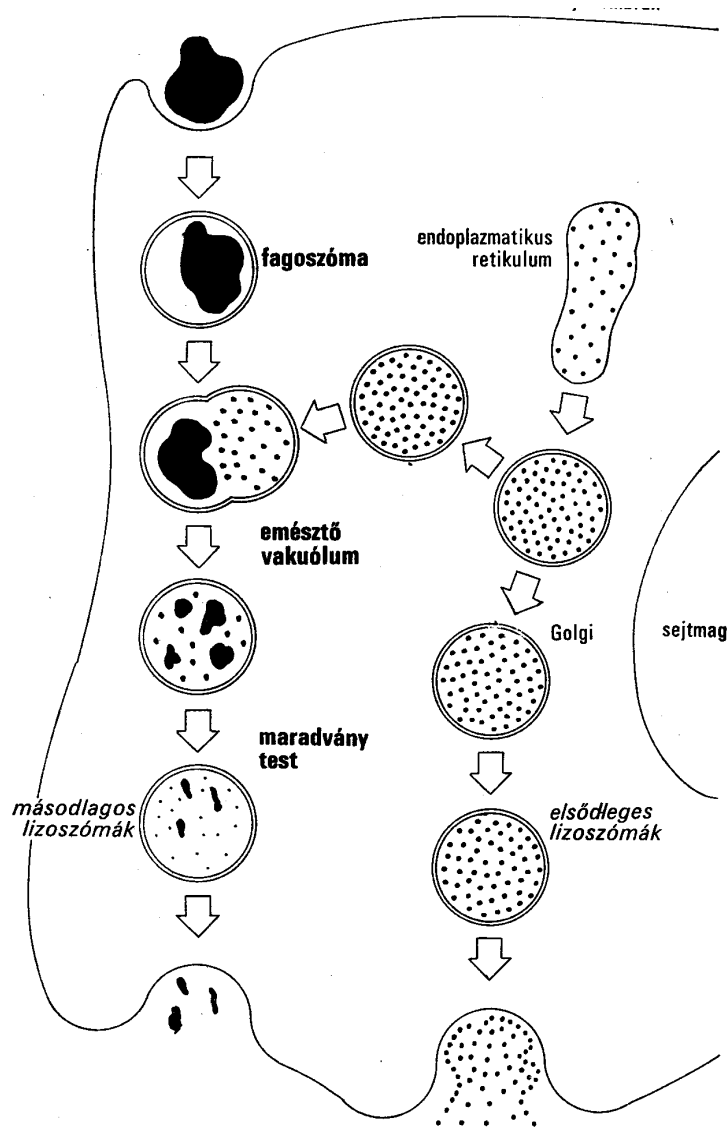


a-b) növényi diktioszómák, c) a diktioszóma szintézis- (B) és kiválasztási (S) oldala, d) nyugalmi állapotban lévő (1) és zymogén szemcsét képző (2-3) diktioszóma, e) elsődleges sejtfaalképződés; D diktioszóma, EPR endoplazmatikus retikulum, PM plazmamenbrán, PW elsődleges sejtfa, V Golgi készülék, W sejtfa

23. ábra A növényi sejt Golgi-rendszere (diktioszómák)

3.2.7.3 Mikrotestek

Rövid életű vezikulumok, fő enzimük a kataláz ($2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$). A mikrotestek az ER-en képződnek, enzimje a riboszómában szintetizálódik. Ismert változataik közül a peroxiszómák peroxid-képzők. A levelekben a fotorespirációban, a májban és a vesében a húgysav és purinok, ugyancsak a májban a zsírsavak β -oxidációjában játszik szerepet. A glioxiszómák specializálódott peroxiszómák. A zsírsavakat az acetyl-koenzim-A-ig bontják le, és azt a glioxalát-ciklusban szukcináthoz kapcsolják. Szükségesek a glükoneogenezisben (szénhidrátképzés zsírból, acetátból vagy etanolból). Zsírraktározó szövetekben gyakoriak.

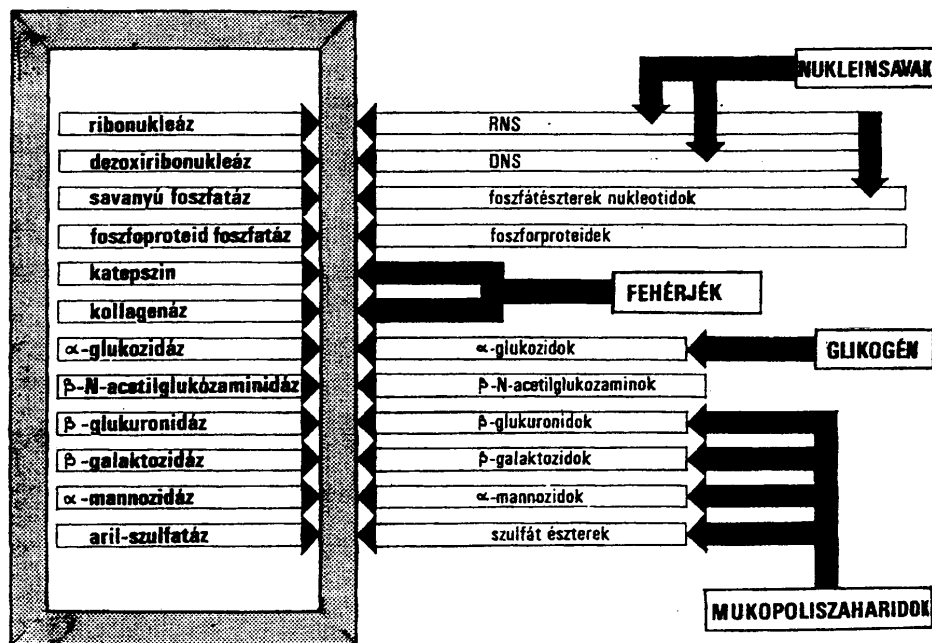


24. ábra Fagoszómák és lizoszómák működése, az endo- és exocitózis folyamata

(bal oldalon fölül endo- (fago- vagy pino-) citózis, jobb oldalon lizoszóma működése, alul exocitózis)

3.2.7.4 Lizoszómák

Intracelluláris emésztő organellek. Legfeljebb 1 μm átmérőjű hólyagok, fő enzimük a savas foszfátáz. Savas közegükben (pH 4,5-5,0) több mint 60féle hidrolitikus enzim szolgál a proteinek, nukleinsavak, szénhidrátok és zsírok lebontására. A primér lizoszómák mentesek az emésztendő szubsztráttól, a Golgi-ciszternákból, vagy a GERL-ből (Golgihoz kapcsolódó, lizoszómaképző ER-ből) származnak, enzimjeiket az ER-től nyerik. A szekundér lizoszómák funkcionálnak (a heterofágok a kívülről, endocitózissal felvett tápanyagokat, az endofágok a belsőt emésztik; az autolízis a sejtek önemésztése). A maradványtestek az emésztőnedvmentessé vált és emésztési maradványokat tartalmazó lizoszómák. (25. és 26. ábra)



25. ábra Lizoszómában működő bontóenzimek (bal) és szubsztrátjaik a sejtanyagcserében

3.2.7.5 Központi vakuolum

A növényi sejt többnyire vizes oldatokat tartalmazó nagy vezikuluma. Az ER vagy a Golgi-vezikulum hólyagjaiból képződnek. Az embrionális sejtekben sok kis vakuolum van, amelyek egy központi vakuommá egyesülnek. Kívülről tonoplaszt burkolja, tartalmát sejtnedvnek nevezik. Különböző típusai a köztes anyagcseretermékeket, az extraktumokat (antocianin, flavonok és flavonolok, toxikus polifenolok, alkaloidák és egyéb másodlagos anyagcseretermékek) tárolnak, ozmoregulációt végeznek.

3.2.7.6 Lipidcseppek

Különböző lipidek elegyét tartalmazó oleoszómák. Különlegességük az őket fedő félmembrán, egyszerű lipidrétteg. Ugyancsak ER-ből képződnek, kettős membránnal, de nem két vizes fázist választanak el, és a belső lipidrétteg feloldódik. Az egyre növekedő zsírszemcse kitöltheti a sejt belsejét – pl. az állati zsírszövet “pecsétgyűrű” sejtjei esetében.

3.2.7.7 Pulzáló vakuolumok

Édesvízi protozoonok ozmoregulációját szabályozzák. A vakuolum membránjába valószínűleg aktomiozin kötegek épülnek be, ezek biztosítják a ritmikus, energia igényes pulzálást.

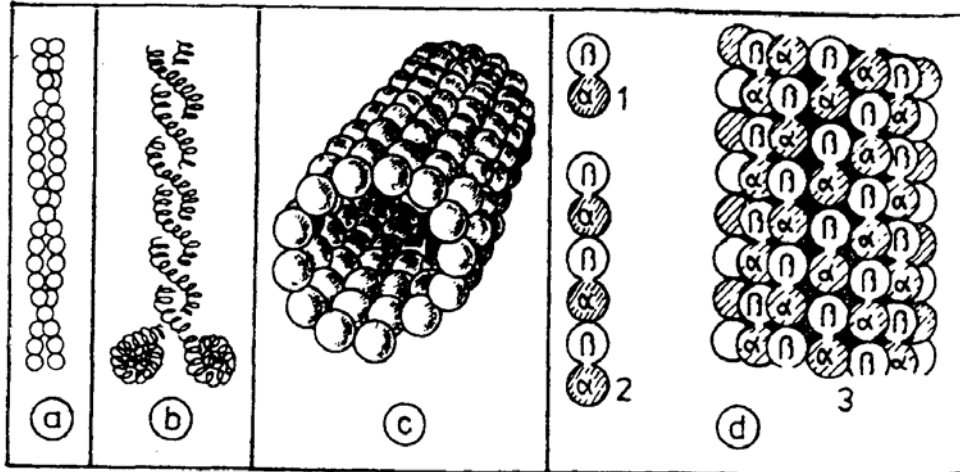
3.2.8 Filamentumok és tubulusok

A citoplazmában három féle, igen finom protein struktúra egy dinamikus és igen labilis citoszkeletont (sejtvázat) alakít ki. Ezek a mikrofilamentumok, a 10 nm-es filamentumok és a mikrotubulusok.

A citoplazma viszkoelaszticitásáért és szol-gél struktúrájáért elsősorban a mikro- vagy aktinfilamentumok felelősek, az intracelluláris mozgások pedig végeredményben az izommozgás alapjai. Az eucita sejtprotein 5-15 %-a aktin, amelynek globuláris alakja (G-aktin) ATP részvételével a perc tört része alatt aktinfilamentté (F-aktin) polimerizálódik. Az intracelluláris mozgás ennek a miozinnal való kölcsönhatása folyamán keletkezik. Az aktin aktiválja a miozin-ATP-áz enzimet. Ennek hatására az izomsejtekben aggregált miozin molekulák miozinfilamentummá alakulnak, ezek pedig az aktinfilamentumokkal aktomiozin komplexet képeznek.

A plazmaáramlás csaknem minden eucita sejtre jellemző. Sebessége 1-40, ritkán 300 cm/h. A növényeknél folyamatos rotáció figyelhető meg a központi vakuólum körül. Az amőbáknál plazmamembránhoz kötött aktinfilamentum hálózat hozza létre az állás mozgást.

A 10 nm-es (intermedier) filamentum a heterogén filamentumok gyűjtőneve. Egyes gerinces csoportoknál található. A mikrotubulusok tubulin proteinből felépülő hosszú, vékony csőszerű képletek. Úgynevezett mikrotubulus organizációs centrumokban (MTOC) keletkeznek. A bazális testek, a centriólumok, centromerok is szolgálnak MTOC-ként. A kolchicin a magorsó tubulin-dimérekhez kapcsolódva megakadályozza polimerizációjukat, ezáltal rendellenességeket okoz a magosztásban. (27. ábra)

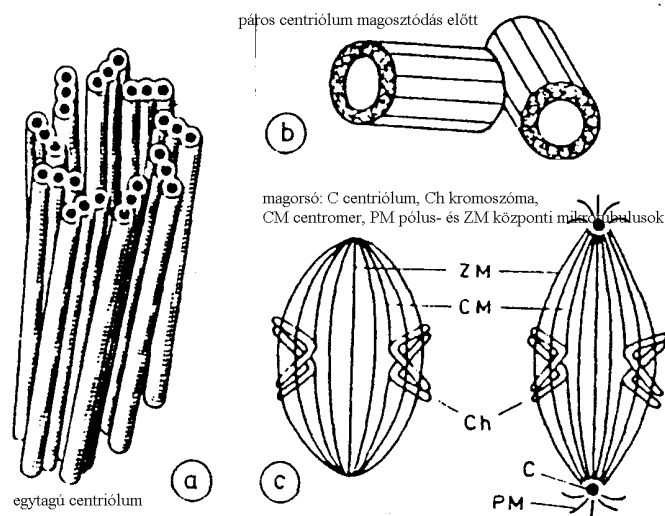


a) aktinszál (filamentum), b) myozin molekula, c) mikrotubulus, d) a mikrotubulus felépítése, 1 tubulin dimér, 2 protofilamentum, 3 mikrotubulus

26. ábra A mikrofilamentum és a mikrotubulus

3.2.9 Centriólum, magorsófonalak

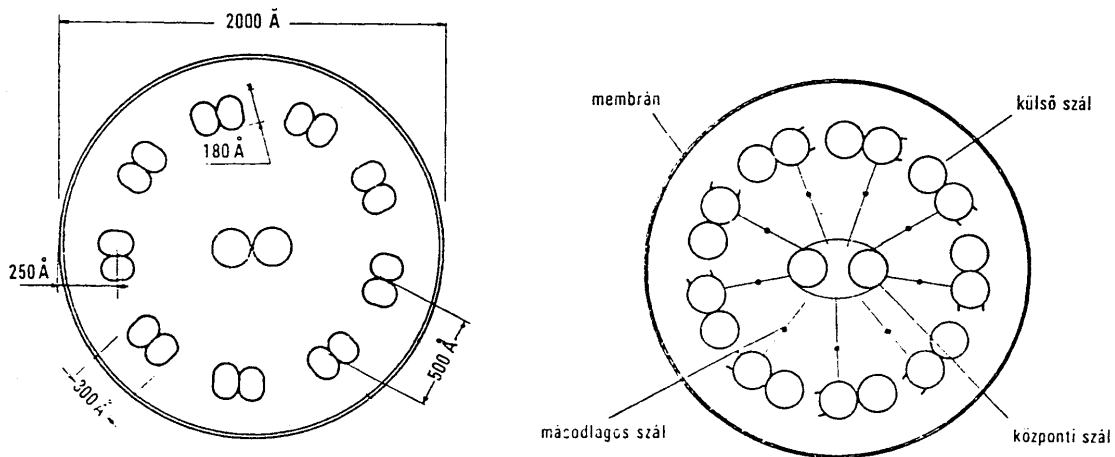
A legtöbb állati és némelyik növényi sejtben a mag közelében elhelyezkedő hengeres, 27 db, 9 tripletbe rendeződő mikrotubulusból felépülő képlet. Magosztódás előtt centriólumpár képződik, amelynek tagjai a sejt ellentétes pólusaira szétvándorolnak. A magorsófonalak képződéséhez a centriólumok (növényi sejtekben amorf pólus-sapka) és a kromatidák centromériai MTOC-ként funkcionálnak. A magorsóhoz tartoznak a centromér- és a centrális mikrotubulusok, amelyek támasztó- és húzófonalakként működve mozgatják a kromoszómákat. (28. ábra)



27. ábra Centriólumok és magorsófonalak

3.2.10 Ostorok és csillók

A szervezetek helyváltoztató mozgását (pl. baktériumok, algák), az ivarsejtek (gaméták, spermiumok, zoospórák) mozgását, részecskéknek folyadékban való továbbítását (nyálkahártya csillóshám sejtek, petevezeték) szolgálják. 20 stabil mikrotubulusból épülnek fel: 9 perifériális duplett hengerfelületen, és kettő egyszerű közepen. Fő alkotórészük a dinein, egy miozinhoz hasonló fehérje. A mikrotubulus párok között a nexin fehérje rugalmas kapcsolatot létesít. A ostorokra és csillókra jellemző körkörös és csapkodó mozgás a mikrotubulus párok egyedeinek szabályosan váltakozó összehúzódása és megnyúlása következtében keletkezik. Működésüket a bazális testek és a centriólumok hangolják össze. (29. ábra)

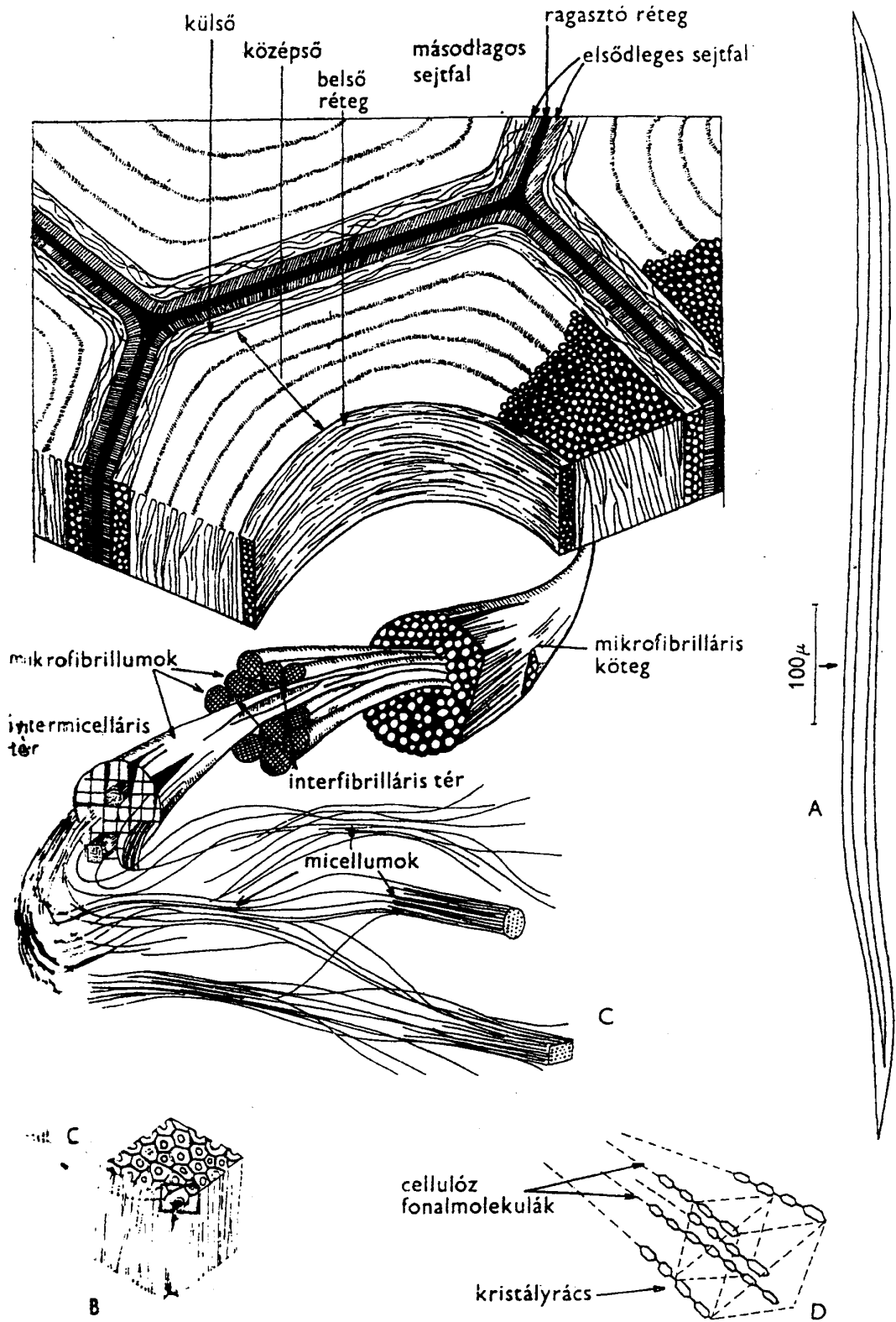


28. ábra A csilló mikrotubuláris szerkezete (keresztmetszet, egyszerűsítve, $\text{Å}=10^{-8} \text{ cm}$)

3.2.11 Sejtfa

Minden sejtnak van a sejthártyán (plazmamembránon) kívül képződő, szubmikroszkópikus, alakját biztosító, megerősítő és védő rétege, amely az állati sejteknél vékony glükokalix, a baktériumoknál peptidoglükán a növényeknél masszív cellulóz, a gombáknál és egyes állatoknál ugyancsak masszív kitin.

A növény sejtfalát stabil, rugalmas cellulóz mikrofibrillumok alkotják, amelyek hemicellulóznak, savas és neutrális pektinnek, glükoproteinnek kovalens kötással egyetlen, a sejtet körülvevő képlékeny mátrixot képező óriásmolekulájában fekszenek. A sejtfal hidrofíli, a víz és az oldott anyagok számára átjárható. (30. ábra)



29. ábra A cellulóz sejtfal ultrastruktúrája

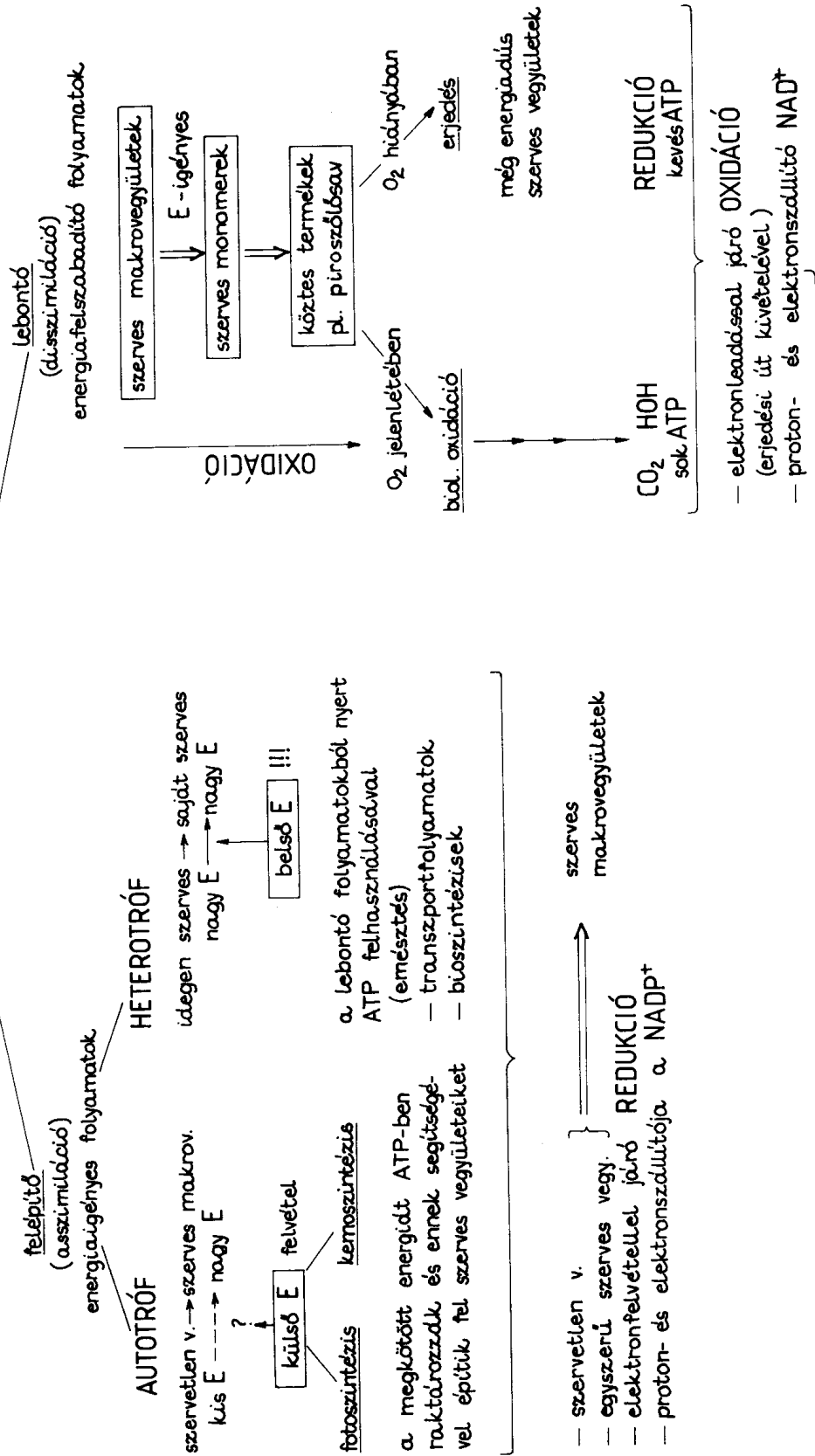
A: a háncsrost sejtje, B: cellulóz micellum, C: cellulóz fibrillumok, D: cellulóz molekulák és kristályrács

A sejtfa! középső rétege a cellulózmentes középlemez. Sejtosztódás alkalmával a fiatal sejtfa! képződéséhez összeolvadó magorsófonalak hemicellulóz, pektin és extenzin anyagaiból glikozid-kötéssel keletkező, amorf, kocsonyás matrix. A következő réteg a primér sejtfa!, amelybe a sejt növekedése során mikrofibrillumok és cellulóz makromolekulák épülnek be, mindaddig, amíg a fal meg nem erősödik és további növekedésre képtelen lesz. A terciér falban a mikrofibrillumok fonatokat képeznek, felületét gyakran vastagodások díszítik. A falba magas polimerizációs fokú, hálózatos, vegyes polimerizátumok épülhetnek még be: suberin (para), lignin (fa) és kutin (kutikula). A protociták sejtfa!ának jellemző anyaga a murein (peptidoglükán).

4 A sejt anyagcsere- és energia-forgalma

A sejt nyílt rendszer, a környezetével anyag- és energiacsere kapcsolatban van. A külső anyagcsere az anyagok felvétele és leadása, a belső anyagcsere az anyagok kémiai átalakulása a sejtben. A belső anyagcsere (metabolizmus) részei a felépítő (anabolizmus) és lebontó (katabolizmus) folyamatok. Az élő sejt bonyolult és instabil rendszere un. fenntartási energiát igényel. Ilyen például a membránokon az aszimmetrikus töltésmegoszlás (egyenlőtlenség) fenntartása aktív ionpumpával a passzív kiegyenlítődéssel szemben. Minden sejtmunka (anyagfelvétel, mozgás, szaporodás) további un. funkciós energiát igényel. A szükséges energia az ATP makroerg kötéseiből szabadul fel a disszimiláció (exergon, katabolikus folyamat) során. Az asszimiláció a testfelépítéshez szükséges anyagok felépítése anorganikus alapanyagokból (CO_2 , H_2O , NH_3 ; autotróf asszimiláció) vagy szerves anyagokból (testidegen szénhidrát, zsír, protein; heterotróf asszimiláció). Az asszimiláció – különösen az autotróf – endergon. A zöld növények számára a fény (napsugárzás) a hasznosítható energia (fotoszintézis). Az asszimiláció során nyert szerves anyagok részben a disszimilációba kerülnek, részben az élő anyag gyarapodását (növekedés, szaporodás) szolgálják. (31. ábra)

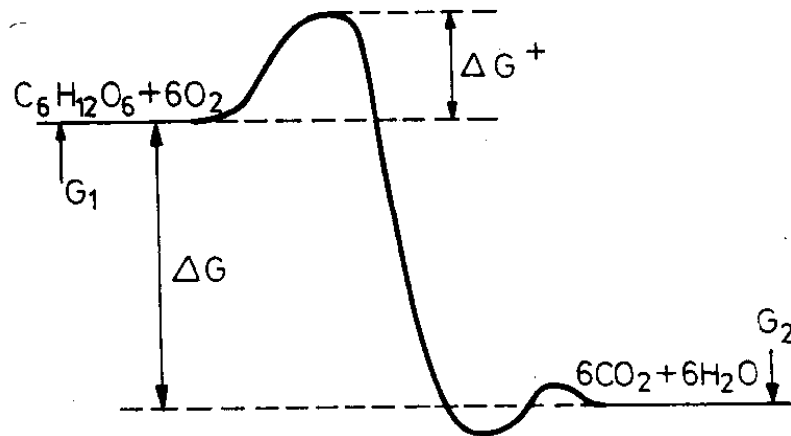
A felépítő és lebontó anyagcsere



30. ábra Az alapvető anyagcsere-folyamatok és energetikai összefüggések

4.1 Biokatalízis

A sejt legtöbb biokémiai reakciója nem, vagy csak nagyon lassan menne végbe katalizátor nélkül. A reakciók aktiválási energiát – pontosabban aktiválási szabadenthalpiát – igényelnek. Az alapanyaghoz időszakosan kapcsolódó katalizátor csökkenti az aktiválási energiát és meggyorsítja a reakciót. (32. ábra)

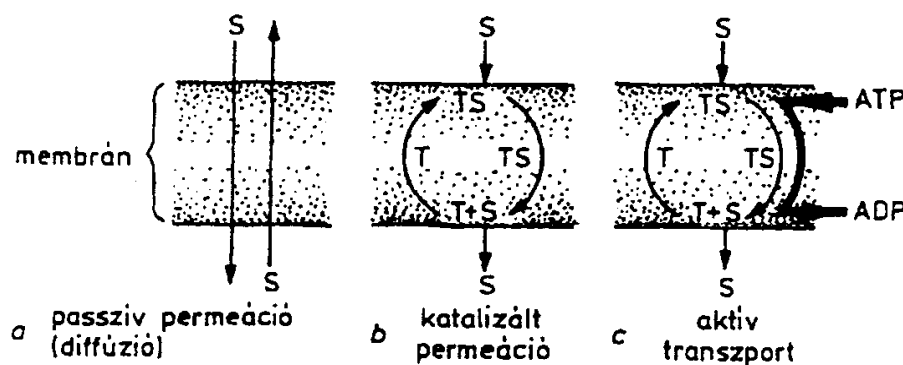


31. ábra Az aktiválási energia és a reakció szabadenergia (G) változásának összefüggése a glükóz + oxigén biokatalízis rendszerben

A katalizátorok az enzimek, amelyek egy vagy több polipeptidláncból és gyakran további szerves (pl. szénhidrát-maradék) vagy szervetlen (pl. fémionok) részből tevődnek össze. Az enzimek neveit rendszerint -áz (-ase) végződéssel jelölik, amelyet a katalizált reakció vagy az abban résztvevő anyagok nevéhez csatolnak. A hagyományos elnevezések is használatosak, pl. pepszin, tripszin, erepszin. Az enzimek így jól katalogizálhatók, ugyanis reakció-, alapanyag- (szubsztrát-) és hatás-specifikusak. Az enzim elsődleges szerkezete és konformációja genetikailag meghatározott. A mindenkori enzimmészlet sajátos, megkülönböztető bélyege a sejteknek. Az enzim-polimorfizmus a genetikai vonalak azonosítására használatos. Az enzimek a sejt különböző kompartmentumaiban találhatóak és működnek. Az enzimfehérjék működése hőmérsékletfüggő. Az enzimátikus reakciók optimumgörbéje 40-60 °C-n tetőz, de ekkor a fehérjék denaturálódhatnak. Számos enzim csak egy szerves csoporttal, a koenzimmal együtt aktív (ekkor apoenzimnek nevezik). A apo- és koenzim együttesen holoenzim. A koenzim az enzimen időszakosan (prosztetikus csoport) vagy állandó jelleggel kötődik meg (koszubsztrát). A heterotróf szervezetek gyakran nem képesek a szükséges koenzimek szintetizálására, hanem a prekursorokhoz táplálkozás során vitamin formájában jutnak hozzá.

4.2 Anyagfelvétel és leadás

Az élőlények alapvető életjelensége, hogy az anyagcsere a határfelületen lejátszódó kicserélődési folyamatokon alapul. (33. ábra) A szabad (passzív) transzport a részecskék kinetikai energiája következtében akkor lép fel, ha az érintkező anyagok részecskéinek (molekuláinak, ionjainak) hőmozgási szabad úthossza nem minden irányban egyenlő. Egymásra vagy egymás mellett rétegződő anyagok közötti, kezdetben még éles határfelület idővel elmosódik. Ez gyakorlatilag minden anyagra vonatkozik. A gázok másodpercek alatt keverednek. A folyadékok között erre hosszabb idő szükséges, míg a szilárd testek részecskéinek keveredése önmaguktól geológiai időtartamot igényel.



32. ábra Transzportfolyamatok biológiai membránokon (T transzfer, S szubsztrát)

Az élőlények létének alapja a határfelületek fenntartása, vagyis a belső funkciós terek biztosítása, a külvilágtól való elhatárolódás, de a külvilággal való kapcsolat is. Az élő határfelületek kialakításában a féligáteresztő (szemipermeábilis) hártványknak, ahogy a biológiai membránok is viselkednek, van alapvető szerepe. Az integritás fenntartása, valamint a be- és kifelé irányuló aktív transzport (anyagcsere) energiát igényel. Aktív transzport folyamán a részecske (szállítandó molekula vagy ion) membrántranszport-molekulához (carrier) kapcsolódik. Az élőlények passzív és aktív transzportfolyamatai szabályozottak.

4.2.1 Szabad transzport

4.2.1.1 Diffúzió és permeáció

Víz tartalmú rendszerrel érintkező gázfázisban az eltávozó vízmolekulák vízgőznyomást (víztenziót, párányomást) hoznak létre. Egyensúly beállta után a vizes közegből ugyanannyi molekula távozik el, mint amennyi a gázfázisból a vizes közegbe lecsapódik. A gőznyomás erősen függ a hőmérséklettől, mivel a távozó molekulák száma és átlagos kinetikai energiája

változik a hőmérséklettel. Oldott anyagok jelenléte csökkenti a vízgőznyomást. Ennek fő oka az, hogy ilyenkor kisebb lesz a víz koncentrációja (ld. RAOULT-törvényt):

$$e = e^0 \text{ víz móljainak száma/ jelenlévő összes anyag móljainak száma,}$$

ahol e a 60%-os relatív nedvességű levegő vízgőznyomása, e^0 a telített vízgőz nyomása; de elektrolitoldatokban a részecskék disszociációjára tekintettel kell lenni).

Az oldott anyag saját koncentrációesése mentén diffundál. (Pl. a vizes festékoldat és a fölé rétegzett szintelen folyadék (víz) kezdetben éles választófelülete lassan elmosódik.) A vízmolekulák az oldott anyaggal ellenkező irányban, szintén saját koncentrációesés irányában diffundálnak. Ahol több oldott anyag van, ott az oldószer koncentrációja (pl a vízmolekulák aránya a részecskék összes számához viszonyítva) alacsonyabb. Az x tengely mentén végbemenő diffúzióra FICK I. törvénye érvényes:

$$\Phi = DA (dc/dx)$$

Φ : a nettó anyagáram, A : a keresztmetszet, D : a diffúziós együttható ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$), dc/dx : koncentrációgradiens az x tengely mentén. Általánosan megfogalmazva:

$$j = -D \text{ grad } n \quad \text{a diffúzió általános törvénye, ahol}$$

j : a nettó részecskeáram-sűrűség (diffúziós áram), $n = N/V$: részecskeszám-sűrűség (N : részecskeszám, V : sűrűség), $\text{grad } n$: térbeli koncentrációgradiens.

A diffúzió során elért egyensúly a maximális entrópia állapota (ld. termodinamika 2. főtétele). A diffúzió sebessége fordítottan arányos a részecskék átmérőjével. A diffúzió során megtett út az idő négyzetgyökével arányos.

Hőmérsékletgradiens esetén gázelegyekben **termodiffúzió** játszódik le. A gázelegy könnyű molekulái először a növekvő hőmérsékletek irányába diffundálnak. A nehéz részecskék diffúziója ellenkező irányú. Később a könnyű részecskék a magasabb hőmérsékletű, a nehezek az alacsony hőmérsékletű oldalon dúsulnak.

A **permeáció** a membránon keresztüli diffúzió. A folyamatot a membránlipidek lassítják. A permeáció nem csak a diffundáló részecskék méretétől, hanem lipid-oldékonyságuktól is függ. Az igen kicsiny hidrofil, nem lipofil részecskék apró pórusokon vándorolnak keresztül. A hordozó-molekulákhoz kapcsolódó részecskék a lipid-oldékonyság alapján vártnál gyorsabban vándorolnak át. Biológiai membránokon történő diffúzió esetében a

D együtttható magában foglalja az egyetemes gázállandót (R), az abszolút hőmérsékletet (T), a diffundáló molekula sugarát (r), a membrán viszkozitását (η), és a lipidoldékonyságra utaló olaj-víz megoszlási hányadost (k).

A diffúzió és a permeáció kémiai potenciál-különbséget követ, amely az egyes komponensek parciális moláris szabad entalpiája. Gradiense fontos termodinamikai hajtóerő. Hőmérséklet- és koncentrációfüggő. Az oldott ionokat még elektromos potenciál (E) is befolyásolja (pl. transzmembrán-potenciál), diffúziójuk ill. permeációjuk elektrokémiai potenciál-különbséget (μ'_i) követ:

$$\mu'_i = \mu_i + z_i F E \quad (z_i = \text{ion vegyérték, } F = \text{Faraday-állandó}).$$

A víz vízpotenciál (Ψ) csökkenés mentén mozog. A Ψ univerzálisan alkalmazható mértékegysége a “rendelkezésre álló vízkoncentrációnak” valamennyi vizet tartalmazó közegben. Standard körülmények között tiszta vízben $\Psi = 0$, biológiai rendszerekben $\Psi \leq 0$. A Ψ nyomás mértékegységben fejezhető ki. A Ψ levezethető a víz kémiai potenciáljából (μ_w):

$$\Psi = (\mu_w - \mu_{0w}) / V_w^p \quad (\mu_{0w} \text{ a standard kémiai potenciál vízre,} \\ V_w^p \text{ a víz parciális moláris térfogata}).$$

4.2.1.2 Ozmózis

Az ozmózis félig áteresztő (szemipermeábilis) hártján való átdiffundálás (permeáció). A szemipermeábilis hártya a vizet (oldószert) jól, de az oldott anyagokat nehezen ereszti át. A sejthártya szemipermeábilis. Egy tiszta vízbe helyezett sejt és környezete között vízpotenciál-különbség jön létre: kívül 100 % víz, $\Psi = 0$, belül kevesebb mint 100 %, $\Psi < 0$. Következésképpen fellép az ozmózis, vagyis a víz koncentrációgradiens (pontosabban vízpotenciál-csökkenés) mentén benyomul a sejtbe. A sejtben a várhatónál alacsonyabb vízkoncentráció jelentkezik. Ennek két oka van: az oldott anyagok ozmotikus hatása, és a szerkezeti anyagok (makromolekulák, cellulóz sejtfa kapillárisai) matrix-hatása. A vízpotenciál tehát ozmotikus- (Ψ_s) és matrix-potenciálból (Ψ_m) adódik össze:

$$\Psi = \Psi_s + \Psi_m$$

A Ψ_s gyakran gyenge, és elhanyagolható lehet. Az ozmotikus potenciál adott oldat (pl. sejtartalom) koncentrációjából (c) is kiszámítható. Ozmotikus vízfelvétel esetén a sejtartalom

hígul, és végeredményben (híg, nem elektrolit oldatokra érvényes) $\Psi_s = -cRT$ jelenti az ozmotikus potenciált. (T a hőmérséklet K-ben.) Elektrolitokban a disszociáció miatt a részecskeszám nagyobb, emiatt Ψ_s alacsonyabb (negatívabb).

Az ozmotikus vízfelvétel a sejt megnagyobbodását okozza. Az eritrociták tiszta vízben megdagadnak, szétpukkadnak. Hasonló okokra vezethető vissza az érett gyümölcsök (pl. cseresznye) felrepedése esős időben. A kifejtett növényi sejtek sejtnedv tartalmú központi vakuóluma jelentős ozmotikus tér. A tonoplast és a plazmamembrán szemipermeábilisan viselkedik, és Ψ_m elhanyagolható. Egészséges, rugalmas sejtfa a sejtet csak kis mértékben hagyja megduzzadni, az ozmotikus vízfelvétel a vakuólumban hidrosztatikus nyomásnövekedéshez (turgornyomás, nyomáspotenciál, Ψ_p) vezet. Ψ_p a vízfelvétel ellen hat.

$$\Psi = \Psi_s + \Psi_m + \Psi_p$$

Az ozmotikus állapot fenti egyenlete minden víztartalmú rendszerre alkalmazható. $\Delta\Psi$ (két rendszer vízpotenciálja közötti különbség) a víz által negatív vízpotenciálú rendszerben kifejtett nyomás. A leegyszerűsített formula ($\Psi = \Psi_s + \Psi_p$) másféle írásmódban is használatos: $\Psi = P - \pi$, ahol P (turgornyomás) = Ψ_p (nyomáspotenciál), de π (ozmotikus nyomás) = $-\Psi_s$. (34. ábra)

Az ozmotikus nyomás (π) csak féligáteresztő hártya jelenlétében létezik. Rendszerint az oldat koncentrációjából számítják ki. Az oldatokban hasonló szerepe van, mint a gáznyomásnak a gázokban (oldott molekulák hozzák létre, amelyek ugyanúgy nyomást hoznak létre, mint egy azonos részecskeszám sűrűségű és hőmérsékletű gáz). Kis részecskeszám sűrűség esetén a VAN'T HOFF-törvény alkalmazható:

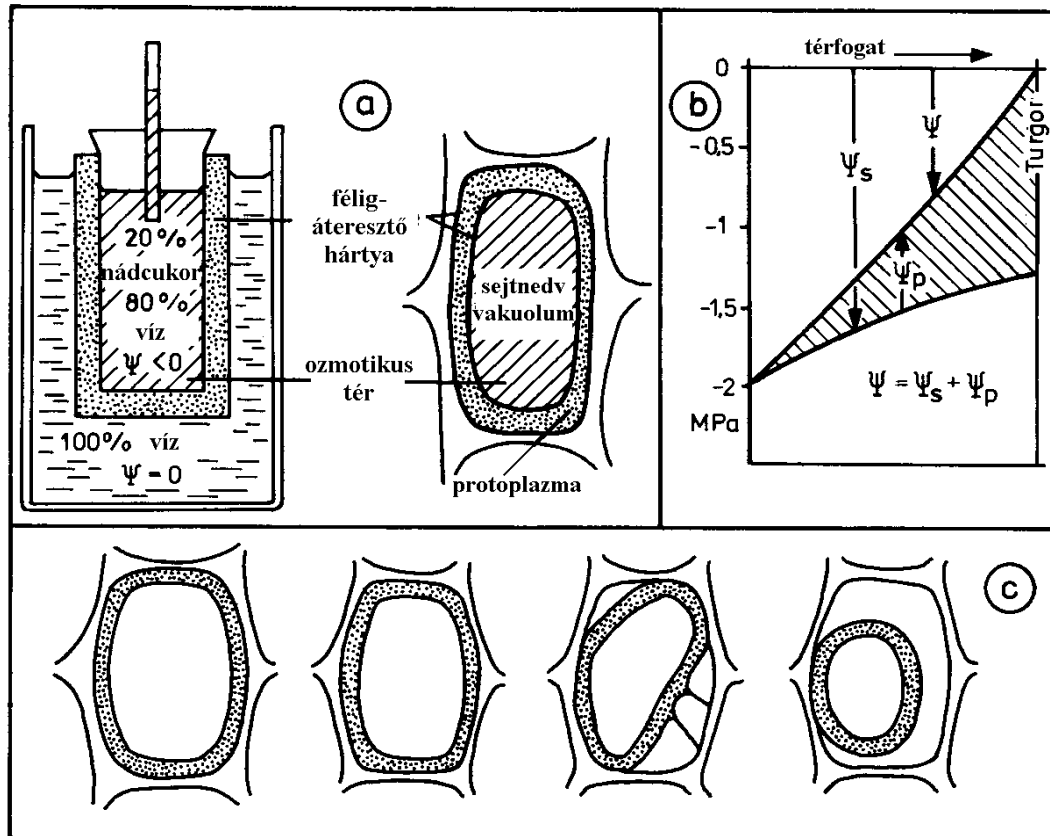
$$\pi = nkT ;$$

ideális oldatra pedig a BOYLE-MARIOTTE-törvénnyel analóg összefüggés, az **ozmózis-egyenlet** érvényes:

$$\pi V = \nu RT$$

n : részecskeszám sűrűség, k : Boltzmann-állandó, T : termodinamikai hőmérséklet, V : oldószer térfogata, ν : oldott molekulák száma, R : általános gázállandó.

Hipertonikus oldatban ($\Psi_{oldat} < \Psi_{sejt}$) a sejt ozmotikusan vizet veszít. Ha $(\Psi)_{oldat} < (\Psi_s)_{sejt}$, akkor a vakuolum megkisebbedik, ennek következtében a plazma elválk a sejtfaaltól: plazmolízis. Az ozmotikus nyomás igen nagy értékeket vehet fel. 0,3 mólos vizes cukoroldat szobahőmérsékleten $\pi = 7,3 \cdot 10^5$ Pa ozmotikus nyomással rendelkezik.

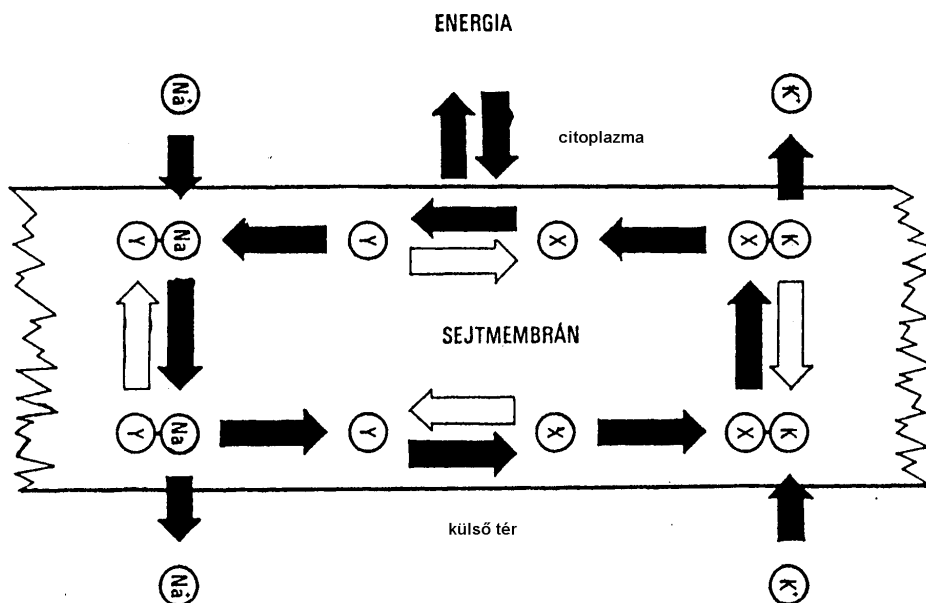


33. ábra Ozmózis

a) Pfeffer-féle sejtmmodell (b) és növényi sejt (j), b) a vízpotenciál és komponenseinek változása növényi sejt vízfelvétele (térfogatnövekedése) esetén, c) a plazmolízis jelensége

4.2.2 Membráncsatornák – csatorna-fehérjék

Membránon (ld. 3.2.3. fejezet) átnyúló protein oligomerek, specifikus anyagokat (pl. alkáli ionokat) áteresztő csatornákat képeznek. Példaként, az idegsejtek ingerlése és ingerületvezetése során a speciális, záródóképes Na^+ - és K^+ -csatornák játszanak szerepet. Amennyiben a transzmembrán-potenciál egy bizonyos küszöbérték alá süllyed (“generátor-potenciál”), megnyílnak a Na^+ -csatornák, a Na^+ a sejt belseje felé diffundál, a transzmembrán-potenciál drasztikusan süllyed (“akciós-potenciál”), bezárulnak a Na^+ - és átmenetileg megnyílnak a K^+ -csatornák, a K^+ ionok kifelé diffundálnak a sejtől, és helyreáll az eredeti transzmembrán-potenciál (“nyugalmi-potenciál”).



34. ábra A nátrium-kálium pumpa

4.2.3 Aktív transzport

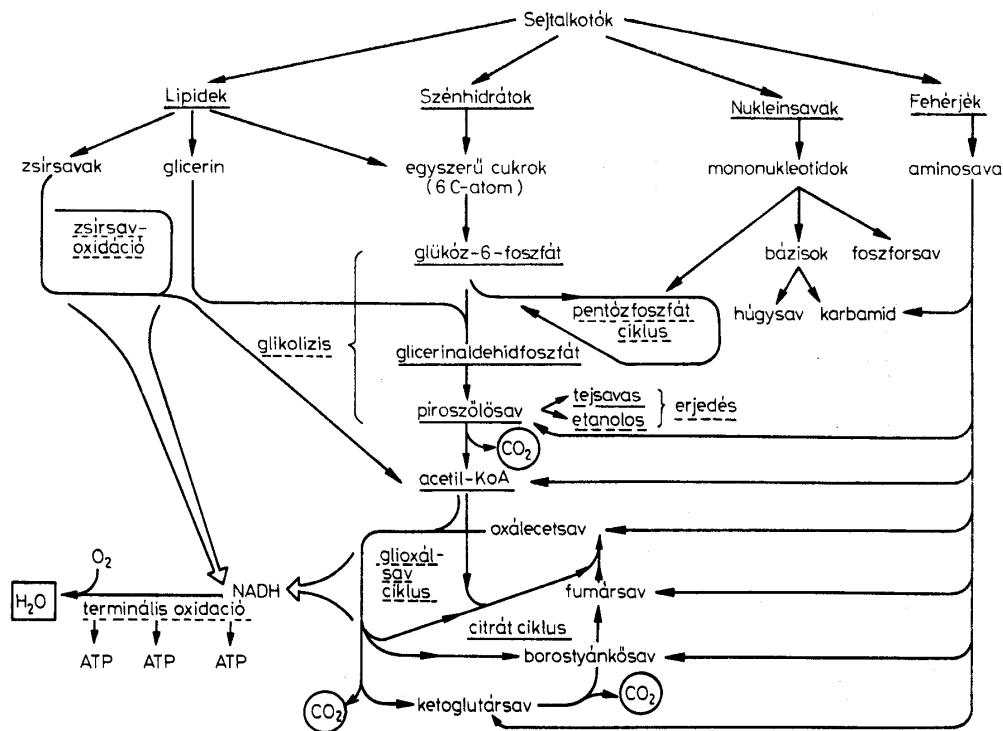
A membránban transzport-proteinek (carrierek, transzlokátorok) vannak, amelyek a szubsztrát molekulákat megkötik és keresztülszállítják a membránon. – A hordár – carrier – elmélet szerint K^+ hordozójával X komplexet alkot, és gyorsított diffúzióval a sejtbe kerül, ott K^+ leválik X-ről, amely átalakul $\rightarrow Y$. Ebben az állapotában Na^{2+} szállítására alkalmas visszafelé; s a körfolyamat zárul. (35. ábra) A protein-csatornát kialakító oligomérek a szubsztrát kötődési helye a membrán egyik oldaláról a másikra vándorol. A katalizált permeáció (facilitated diffusion) még passzív, a karrier-transzport (elektro)kémiai potenciálcsökkenés mentén megy végbe. Így jutnak át a cukrok és az aminosavak a számukra kevésbé permeábilis membránokon. A szimport és az antiport a katalizált permeáció speciális esete. A karrier két különböző anyagot szállít egyszerre – egymással azonos vagy ellenkező irányban. Pl. az *Escherichia coli* proton- és laktóz-szállítása galaktozid transzlokátorral szimport, a mitokondrium membránokon az ADP^{3+}/ATP^{4+} kicserélődés adeninnukleotid transzlokátorral antiport.

Primér aktív transzport elektrokémiai potenciáleséssel szemben történik. Ennek alapján működnek a legfontosabb ATP-ázok: a Na^+/K^+ -pumpát biztosító Na^+/K^+ -ATP-áz, a protonpumpa H^+ -ATP-áz, valamint a Ca^{2+} -ATP-áz. A másodlagos aktív transzport esetében a primér aktív transzport során Na^+ -és H^+ -grádiens mentén kialakuló, másik anyag ellentétes irányú szimportjáról vagy antiportjáról van szó. Például

- cukrok felvétele baktériumok esetében H^+ szimport, növényi szállítószöveti sejtekbe H^+ - szacharóz szimport, vese elsődleges kanyarulat csatorna sejtjeiben a szűrletből Na^+ és glükóz visszaszívás;
- gerinces állatok pH szabályozása Na^+ - H^+ -transzlokátorral H^+ - Na^+ antiport;
- megszabadulás a fölösleges Na^+ -tól tengeri növényekben H^+ - Na^+ antiport;
- növényi gyökerek K^+ felvétele a talajból kapcsolt folyamat H^+ -nal.

4.3 Disszimiláció

A disszimiláció a tápanyagok lebontása. A tápanyagok azok a viszonylag redukált szerves, nagy rendezettségi fokú, nagy szabadenergia-tartalmú elektronadó vegyületek, amelyeket autotróf szervezetek szintetizálnak. A disszimiláció minden élő szervezetben (tehát auto- és heterotrófban egyaránt) három fő szakaszra tagolható. 1) A tápanyag makromolekulák bontása kisebb móltömegű felépítő-molekulákra tápcsatornában emésztés során, és/vagy sejtben belüli lebontással (lizoszómákban). 2) Az így keletkezett kisebb móltömegű, de még redukált, szabadenergia-tartalmú molekulák még egyszerűbb molekulákká bontása (pl. egyszerű cukrok glükolízise, a zsírok glicerinjének ugyanott piroszölősavvá, majd azt követően annak a zsírsavakkal együtt acetyl-koenzim-A-vá alakulása). 3) A második szakasz termékeinek a citrát ciklusban és a terminális oxidációban való energiatermelő átalakulása. (36. ábra)



35. ábra A lebontó anyagcsere folyamatok vázlata

A **légzés** energiatermelő folyamat, biológiai oxidáció, a sejtek oxidációs folyamatainak összessége. Az oxidáció lehet O₂-nel való egyesülés (aerob), H₂ leadás, vagy elektronleadás (aerobok vagy anaerobok). A légzés folyamatában a szubsztrát teljes egészében energiaszegény termékekké bomlik le kifejezetten nagy energiamennyiség termelése közben. A légzés két részfolyamatból áll

- lépésenkénti szubsztrát-lebontás hidrogén lehasadása mellett, amely koenzimhez kötődik (citrát-ciklus),
- a hidrogén lépésenkénti oxidációja, vízmolekula képződése (terminális oxidáció).

Az **erjedések** anaerob folyamatok, a szubsztrát nem bomlik le teljesen, a termékei energiagazdag szervesanyagok, az energiatermelés gyengébb. A legfontosabb légzési és erjedési alapanyagok a szénhidrátok, de zsírok (lipidek) és fehérjék is oxidálódnak. Erjedési szubsztrátumok lehetnek még alkoholok, szerves savak is.

Például az **ecetsavas erjedés** az etanol (etilalkohol) oxidációja ecetsavvá, aerob, tökéletlen légzési folyamat. Az anaerob erjedés részfolyamatai: **1)** az alkoholos erjedés (szacharomicesz és egyéb élesztők; glükóz → etilalkohol, $\Delta G^{0'}$ = - 235 kJ/mol), **2)** tejsavas erjedés (izom, tejsav baktériumok; glükóz → tejsav, $\Delta G^{0'}$ = - 200 kJ/mol), **3)** vajsavas erjedés (klostridiumok és más baktériumok; glükóz → vajsav, $\Delta G^{0'}$ = - 265 kJ/mol). Más baktériumok hangyasavas- és propionsavas erjedést idéznek elő.

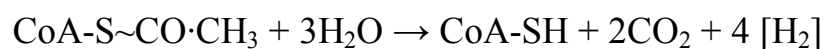
A respirációs (légzési) hányados (RQ) a légzés illetve az erjedés során termelődött széndioxid és az ugyanakkor felhasznált oxigén térfogatának illetve molekuláinak aránya (RQ = CO₂/O₂). A szénhidrátok ellégzése esetén értéke 1, az oxigénszegény szubsztrátumok esetén < 1 (pl. zsír RQ ≈ 0,7, protein RQ ≈ 0,8).

4.3.1 Szénhidrát-lebontás

A glükolízissal kezdődik, amelyet további légzési és erjedési utak követnek. Előkészítésként a különböző szénhidrátok fruktóz-1, 6-biszfoszfáttá alakulnak. A glükolízis tulajdonképpen a citoplazmában végbemenő oxidatív fruktóz-1,6-biszfoszfát lebontás a legfontosabb köztestermékig, a piroszőlősavig (piruvát). (33. ábra) Ezalatt a fruktóz-1, 6-biszfoszfát két izomér termékre bomlik. Ezek egyike, a gliceraldehid-3-foszfát, amely foszfoglicerinsavvá oxidálódik, s tovább piruvátba megy át. Az oxidáció dehidrogenáz enzimhatás következménye. A hidrogént NAD⁺ koenzim (Nikotinsavamid-Adenin-

Dinukleotid) szolgáltatja, mert a redukált NADH koenzim univerzális hidrogénátvivő anyag. – Tehát a glükolízis termékei: piruvát, hidrogén (NADH formájában), energia (ATP).

Aerob légzés során a glükolízisből származó hidrogén az oxigénhez kerül. A piruvátot egy enzimkomplex több koenzim részvételével oxidatív dekarboxilálja, egy koenzim átveszi a lehasított hidrogént (oxidáció) és egy másik, a koenzim-A (CoA-SH) pedig a hátramaradó acetyl-csoportot. A szulfhidril-csoport nagyon reakcióképes. Az acetyl-koenzim-A makroerg kötése a sejttanyagsere legfontosabb köztesterméke. Az acetyl-csoport a citrát-ciklusban teljesen lebomlik oxidáció (H-elvonás), dekarboxilálás (CO₂-elvonás) és vízfelvétel révén. (34. ábra) A bruttó folyamat:



A lebomlás során az acetyl-csoport oxálacetátban megkötődve citrátot képez, amely lépésről-lépésre lebomlik, mígnem oxálacetát marad, és az egy következő acetyl-CoA-val újakezdi a körfolyamatot. A cikusból kilépő hidrogént koenzim, elsősorban NAD⁺ veszi fel (citrát-ciklus). A komplett ciklus:

- 2-oxoglutarát oxidatív dekarboxilálása, intermedier, energiagazdag CoA-SH kötésekkel,
- a szukcinil-CoA energiagazdag intermedier hidrolízise zöld növényekben ADP + P → ATP képződéshez vezet, a heterotróf sejtekben hasonló GDP + P → GTP átalakulással guanozintrifoszfát keletkezik, majd az fog ATP-t szolgáltatni (GTP + ADP → GDP + ATP).

A piruvát oxidációja és a citrátciklus a mitokondriumokban játszódik le.

4.3.2 Biológiai oxidáció

Az ATP legfőbb forrása a légzés során a glükolízisből, a piruvátoxidációból, a citrátciklusból és a pentózfoszfát-ciklusból származó, koenzimhez kötött hidrogén oxidációja.

Minden oxidáció (elektronleadás) egy redukcióval (elektronfelvétel) oxidoredukciós (redox) rendszert alkot. Például a H₂/2H⁺, H₂O/½O₂ és Fe²⁺/Fe³⁺ redox-rendszerek. Az oxidoredukció elektronátvitelt jelent egyik redox-rendszerrel a másikra. A nagy elektron-affinitású redox-rendszerek elektronfelvételre hajlamosak, a gyenge elektron-affinitásúak pedig elektronleadásra. Az elektronátvitel alacsonyabbtól a magasabb elektron-affinitás felé önkéntes és exergon, ellentétes irányban endergon. Az elektron-affinitást redox-potenciálban mérik.

Negatív redoxpotenciál gyenge, pozitív pedig erős elektron-affinitást jelent. A biológiában használatos a standardizált redox-potenciál (normálpotenciál) E'_0 (25 °C, 0,1013 Mpa, 1, pH 7), a kémiában E' (ugyanaz, csak pH 0). Önkéntes, exergon elektrontranszport a negatívabtból a pozitívabb redox-potenciál felé történik. Minél nagyobb a redox-potenciál különbség ($\Delta E'_0$) a két rendszer között, annál nagyobb az energia-felszabadulás ($\Delta G^{0'}$)

4.3.2.1 Légzési lánc, foszforilálás, légzés-szabályozás

A NADH₂ és az O₂ közötti elektron-transzportlánc a légzési lánc, amelyben az összekapcsolódó redox-rendszerek az elektronokat továbbítják. Oxidoreduktázok alkotják: flavoproteinek, ubikvinon, citokrómok, vas- és rézproteinek. A dehidrogenázok a szubsztrátból a hidrogént legtöbbször NAD⁺ koenzimnek adják át. Pontosabban hidrogén nagy része NADH₂, kisebb része FADH₂ formájában van jelen. A FAD (flavin-adenin-dinukleotid) több enzim koenzimje. Az egyik ilyen flavin-enzim képes átvenni az összes NADH₂-ben tárolt hidrogént, de FADH₂-en lévő hidrogén nem reagál közvetlenül az oxigénnel. Az ubikvinon (koenzim Q) lipidoldékony, a membránban szabadon mozgó apoenzimhez kapcsolódik, ugyancsak hidrogénszállító. A citokróm koenzimje elektronátvivő vas-protein, amelyben a porfirin központ vasatomja vegyértékváltás révén szállítja az elektront. A lánc a-, b- és c-citokrómot tartalmaz, amelyek ubikvinontól veszik át az elektront és egymásnak adják. Citokróm protonokat nem szállít. A vas- (FeS) protein flavoproteinekkal vagy citokrómmal együtt található, és állandó vegyértékváltással elektront szállítva mozog citokrómról-citokrómra. A réz-proteinek szintén vegyértékváltó elektronátvivők. Végül a szubsztrátból származó elektronok oxigénre tevődnek át. Elektronátvitel során protonok válnak ki, és a mitokondrium membránok két felülete között protongrádiens jön létre.

Az exergon disszimiláció során felszabaduló energia, a nagy hőveszteségtől eltekintve, endergon foszforilálás során ATP-energiává alakul: az oxidációban dehidrogenázokkal szubsztrát-foszforilálás, a légzési láncban elektronvándorlással légzési-lánc-foszforilálás révén. Erjedésnél a szubsztrát-foszforilálás az egyedüli ATP forrás. A légzési láncban NADH₂-től O₂-ig 218 kJ/ mol NADH₂ energia szabadul fel. Az ATP-szintetázok a mitokondrium membránok belső felületén vannak. Energetikailag az ATP-képzést, a kemiozmotikus elmélet szerint, elektrokémiai protonpotenciál működteti.

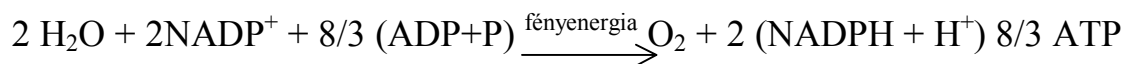
Az elektronáramlás sebességét az ATP szintézis korlátozza, mivel a légzési láncban a protongrádiens mentén e két folyamat össze van kapcsolódva. Energiaigényes, ATP-

felhasználó reakciók sebessége az ATP/ADP arányon múlik. Az ATP képződést (és ezáltal az elektronszállítást) magas ATP tartalom késlelteti, magas ADP tartalom gyorsítja.

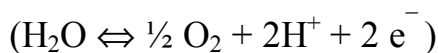
4.4 Fotoszintetikus asszimiláció

A fotoszintézis az egyik legalapvetőbb folyamat. Az egész élővilág anyag- és energia-ellátása a zöld növényekben folyó fotoszintézisen alapul. A kloroplasztiszok a napfény energiáját tápanyagok biokémiai szintézisére használják. A fotoszintézis során vízből és széndioxidból szénhidrátok keletkeznek: a vízből oxigén származik, s hidrogénjével alkot szénhidrátot a széndioxid. Reakciói két csoportra oszthatók: fényszakasz és sötét- (enzimes-) szakasz.

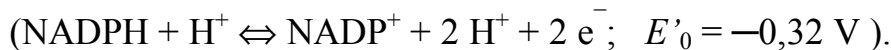
A fényszakasz 1 O₂ illetve 1 CO₂ alapján:



A fényszakasz tehát hidrogén (e⁻ + H⁺) szállítás egyik redox-rendszerről



a másikra



Endergon folyamat, amelyben az elektronok a pozitívól a negatív redoxpotenciál felé mozognak. Ehhez – a fotoszintézis során csak itt – fényenergia szükséges, a primér fotokémiai esemény tehát az elektronszállítás egy többlépéses elektronszállító rendszer segítségével, redox-potenciál eséssel szemben.

4.4.1 Fényabszorpció és a pigmentek gerjesztése

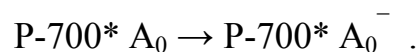
Csak fotoszintetikus pigment által abszorbeált fénykvantum lehet fotokémiaiilag hatékony. Ezek a pigmentek tilakoidokban proteinekhez kötődnek. A főpigmentek (bakterioklorofill a, b; növényeknél és kékbaktériumoknál klorofill a) az ún. reakció-centrumban (RC) helyezkednek el és endergon elektrontranszportot, tehát fotokémiai munkát végeznek. A járulékos pigmentek (egyéb kloro- és bakterio klorofill, karotinoidok – karotin és xantofill – , fikobilin-protein) az abszorbeált energiát a reakció-centrumba vezetik (antenna-pigmentek). A pigment-komplex abszorpció spektruma úgy alakul ki, hogy a klorofill a kék és a vörös, a karotinoid a kék és a kékes-zöld spektrális tartományban abszorbeál. A zöld és a

sárga tartományban fikobilin-protein híján az abszorpció és következésképp a fotoszintézis gyenge.

Az abszorpció során egy fénykvantum egy pigment molekulát gerjeszt, vagyis roppant rövid időre ($10^{-12} - 10^{-9}$ s) energiagazdag állapotba hoz. Alapállapotba való visszatéréskor fog az energia fotokémiai munka formájában továbbadni, illetve fluoreszcencia- vagy hőenergia-kvantumok formájában veszendőbe menni.

A tilakoidmembránban különféle protein részecskékkel összerendelt pigment molekulák fotoszintetikus rendszereket (PhotoSystem, PS) és fényelnyelő klorofill-protein komplexeket (Light Harvesting Chlorophyll Protein Complex) képeznek (PS1, PS2, LHCP). A fotoszisztémát egy klorofill molekula mint gerjeszthető reakcióközpont (RC), és száznál több, a gerjesztő energiát a RC-hoz szállító antennapigment alkotja. Teljes napfényben csak az RC által abszorbeált fény is elegendő a fotoszintézishez, de borult időben szükségesek az antennapigmentek. A PS1, úgy mint RC, az ún. P-700 (az abszorpció-spektrum maximuma alapján: klorofill-a1), a PS2 pedig P-680 (klorofill-a2). Ezek együttesen egy apoenzimen kötődve klorofill-dimért alkotnak.

A fotokémiai munkavégzés a P-700-as RC és egy primér elektron-akceptor (A2) együttműködésén alapul. A gerjesztett P-700*, energiagazdag elektronja miatt, erős redukáló közeg, és átad $1 e^-$ -t az A_0 -ra:



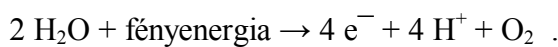
A P-700 E'_0 redoxpotenciálja pozitív (+0,45 V), az A_0 -é erősen negatív (-0,9 V), ezért a $P-700 \rightarrow A_0$ erősen endergon, és elektronként egy fénykvantumot igényel. A P-700 viszonylag stabil. A_0^- extrém rövid életű, az FeS_{AB} stabil elektron-akceptorra való gyors, exergon és többlépéses elektron továbbítás miatt, a negatív töltés stabilizálódni fog. P-700 tehát egy pozitív E'_0 töltésű elektron-átvivőtől (plasztocianin) átvesz egy elektront a PS1-be. Az FeS_{AB} eltávolítja az elektront a fotoszisztémából, magasabb energiaszintre egy negatív E'_0 töltésű átvivőre (ferredoxin) juttatja. Tehát a fotoszisztémában az elektronok redox-potenciál csökkenés ellenében alacsonyabbról magasabb energiaszintet érnek el. A PS2 az elektronokat kb. +0,8 V-ról 0,0 V-ra, a PS1 +0,4 V-ról -0,4 V-ra (E'_0) mozdítja el.

4.4.2 Fotoelektrontranszport, fotolízis és fotofoszforilálás

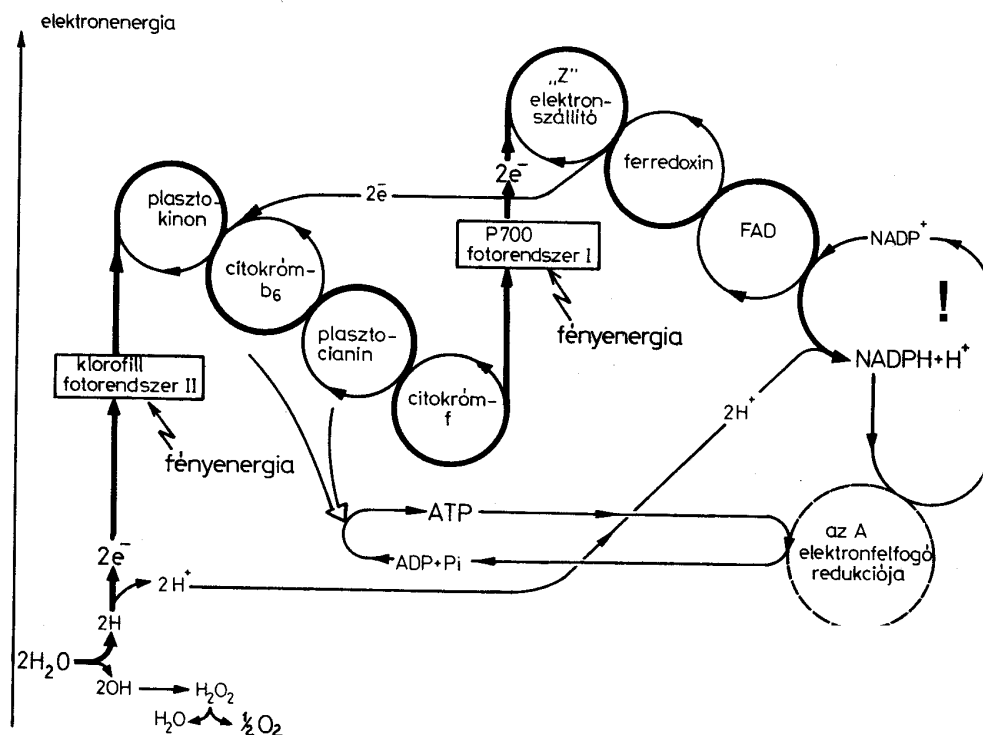
Lineáris fotoelektrontranszport során a víztől ($E'_0 = +0,81$ V) mindkét fotoszisztémán keresztül elektronszállító lánc vezet NADP-hez ($E'_0 = -0,32$ V). Az elektrondonor víztől

(H₂O) elvont elektronok S és Z (Mn-protein) elektronátvivők W, Pheo (feofitin = Mg-mentes klorofill), Q, QB (kötött plasztokion) akceptorokra kerülnek. A kémiaailag és funkcionálisan az ubikvinonhoz hasonló PQ (szabad plasztokion) a membrán lipid fázisában citokróm-f-b6 részecskékkel, FeSR és citokróm-f elektron-átvivőkkel van kapcsolatban. A transzportlánc több elemen keresztül (plasztocianin, A0, A1, A2, és FeS_{AB}) juttatja el a P700*-elektronokat a ferredoxinra (Fd). Ezt követően az elektron-transzportot flavoprotein (Fp) és FAD biztosítja a NADP-hez, ami lehetővé teszi a redukív NADPH₂ keletkezését. (37. ábra)

A lineáris fotoelektrontranszport során a fénykvantumok és a víz felhasználódnak. A víz fotolízise, fényvezérelte elektronelvonás során:



Tehát a fotoszintézis során felszabaduló oxigén a vízből származik. A lineáris fotoelektron-transzportnak két terméke van: ATP és NADPH + H⁺.

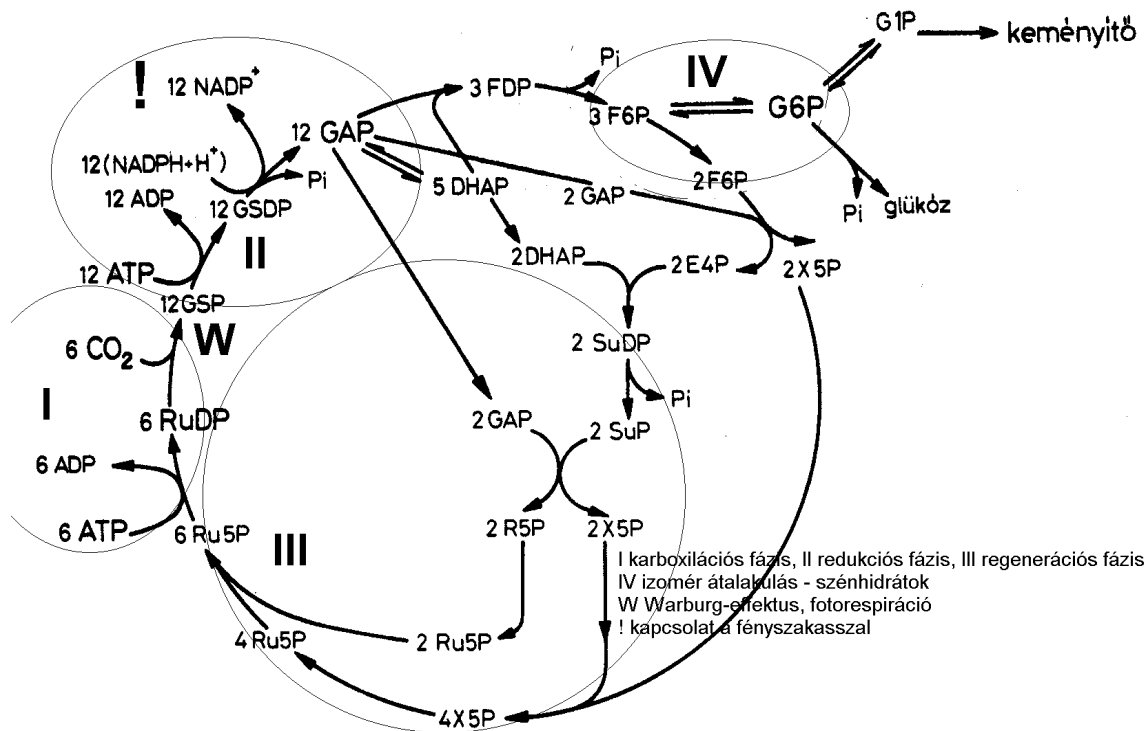


36. ábra A két fotorendszer, a víz fotolízise, a fotofoszforilálás és az elektronszállítás a fotoszintézisben

A fotofoszforilálás, vagyis a fotoszintetikus ATP-képzés kemiozmotikusan, protonpumpával megy végbe. PQ, FP és NADPH nem csak elektronokat visznek át, hanem hidrogént (e⁻ + H⁺); következésképpen a protonok a PQ és az Fp redukciója során elhasználódnak, illetve protonok szabadulnak fel a víz és a PQ oxidációja során. A redox-

rendszerben a H^+ -fogyasztás a sztróma felől, a termelés a tilakoidban következik be. A protonpumpa során ATP-szintetáz képződik.

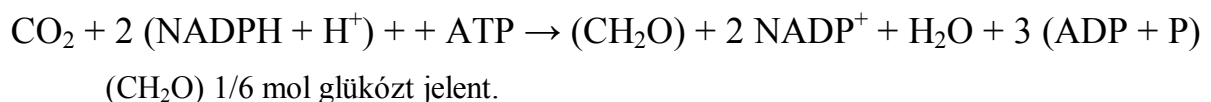
A ciklikus fotoelektron-transzport a PS1 rövidrezárásával és citokróm b6 részvételével jön létre. A fénykvantum az elektronokat "hegyemenet" felpumpálja, s azok "völgyemenet" visszafordulnak, és közben ATP keletkezik. A ciklikus fotofoszforilálásnak csak egy terméke van: ATP.



37. ábra A fotoszintézis sötét szakasza (a széndioxid megkötése és redukciója a Calvin-ciklusban)

4.4.3 Anyagátalakulás a fotoszintézis során (sötét szakasz)

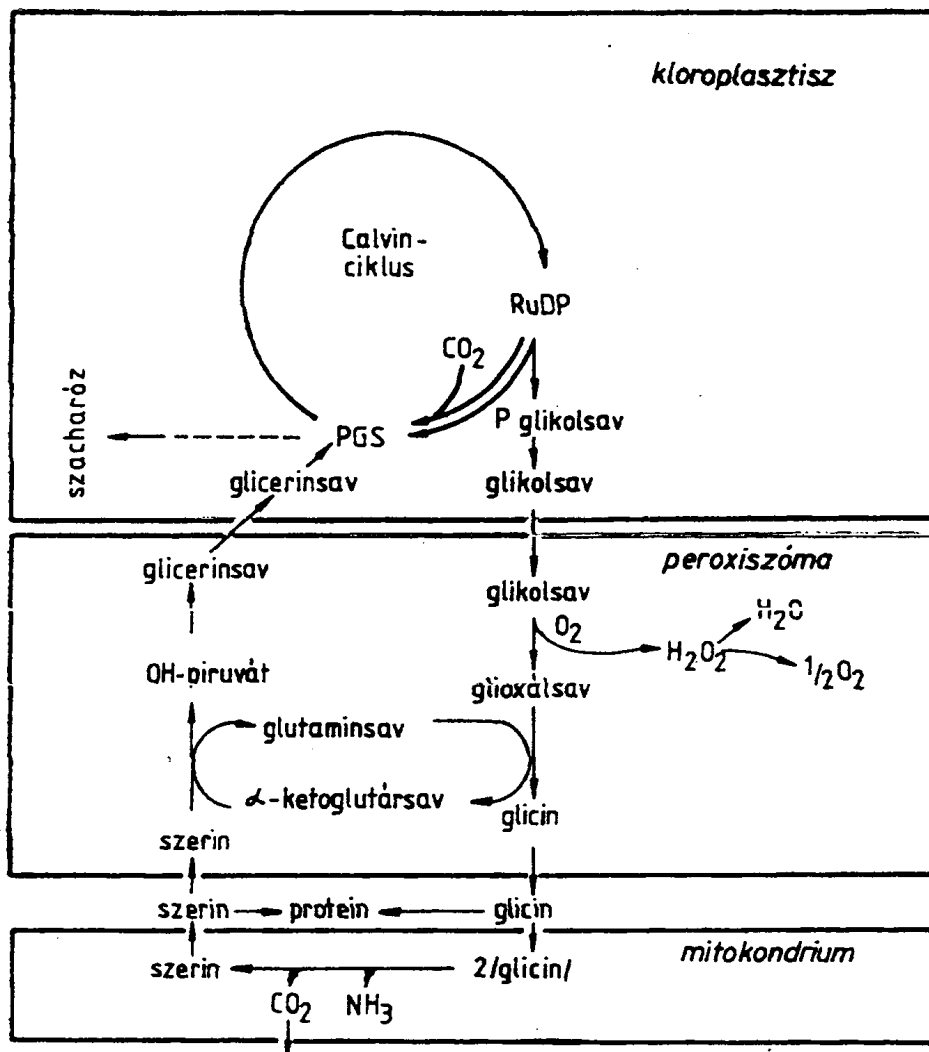
A sötét szakaszban szénhidrát keletkezik széndioxidból a fényszakasz termékeinek (NADPH és ATP) segítségével. Egy CO_2 -re vonatkoztatva:



A CO_2 -asszimiláció fő reakcióútja a Calvin-ciklus (38. ábra), amely a strómában végbemenő, 3 szakaszos körfolyamat, és széndioxid belépése, szénhidrát keletkezése jellemzi. A karboxilálási szakaszban a CO_2 molekula öt szénatomos cukorfoszfáthoz, a ribulóz-biszfoszfáthoz kapcsolódik ($C5 \rightarrow C6$). A folyamatot ribulóz-1,5-biszfoszfát- karboxiláz/oxidáz

(RUBISCO) katalizálja, és a végén két glicerinsav-3-foszfát (C3) keletkezik. A redukciós fázisban a glicerinsav-foszfátot NADPH redukálószer és energiadonor ATP gliceraldehid-3-foszfáttá (C3) redukálja. Ez a részfolyamat pontosan ellentéte a glükolízis oxidációs lépésének. A regenerációs fázisban minden hatodik gliceraldehid-3-foszfát (C3) tiszta nyereséggént kilép, fruktóz-1,6-biszfoszfát (C6) – a glükóz, szacharóz, keményítő stb. alapanyaga – lesz belőle. A megmaradó C3 további ATP felhasználással köztestermék cukorfoszfáttá (pl. C4 eritróz-, C6 fruktóz-, C7 szedoheptulóz-foszfáttá), végül ribulóz-biszfoszfáttá alakul ($5 C_3 \rightarrow 3 C_5$).

A RUBISCO karboxiláz funkciója mellett a szövetek egyidejű alacsony CO_2 - és magas O_2 -koncentrációja esetén oxigenáz funkciója erősebben érvényesül. Kis O_2/CO_2 arány viszont a karboxiláz funkciónak kedvez, és ekkor bekövetkezhet a Calvin-ciklus egyik melléktermékének, a glikolsavnak a részleges oxidációja a peroxiszómákban. Ez a fotorespiráció.



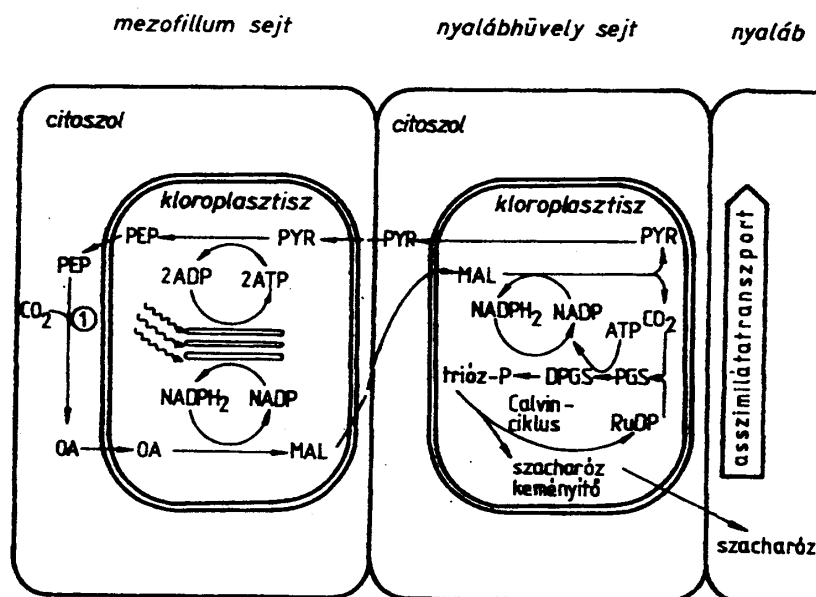
38. ábra A fotorespiráció menete

4.4.4 Fotorespiráció

A fotoszintézis mellékútja, amelyben oxigén használódik fel és széndioxid keletkezik, de a légzéssel szemben, ATP képződéssel nem jár. Ennek során a foszfoglicerát a kloroplasztiszokban defoszforilálódik, a glikolát a peroxiszómákban glioxaláton keresztül glicinné alakul, amelyből a mitokondriumokban szerin keletkezik. A folyamat során az asszimilált CO₂ 50 %-a veszendőbe mehet. A veszteség azonban látszólagos, mert a fotorespiráció az autotróf N-asszimiláció alapja is. A fotorespiráció CO₂ termelés gyakran meghaladja a sötétben mért mitokondriális légzését. (39. ábra)

4.4.5 C₄-es fotoszintézis típus, dikarbonsav-út

Elsősorban a trópusi és szubtrópusi eredetű fajoknál fordul elő (pl. kukorica). A levél szállítónyalábok parenchimatikus sejtjeire Calvin-ciklus, a velük érintkező mezofillum sejtjeire C₄-es út jellemző. (40. ábra) Nevét arról kapta, hogy az elsődleges fotoszintetikus termékek (karboxilálás után) négy szénatomos dikarbonsavak. A mezofillum széndioxidját foszfo-enolpiruvát kötheti meg. Enzimje, a foszfo-enol-piruvát-karboxiláz a rubiscohoz hasonlóan működik. A termék oxálacetát, és az NADPH-val maláttá (almasav) redukálódik, és az a nyalábhüvelybe szállítódik. Ott oxidatív dekarboxilálás révén Calvin-ciklus számára alkalmas CO₂ keletkezik. (Tehát hatékony fotoszintézis.) A megmaradó piruvát visszajut a mezofillumba és a C₄-es út ciklussá záródik. A C₄-es növények fotoszintézise számára 30-45 °C optimális, C₃-ok esetében 15-25 °C. Számos C₄-es fajnál a malátot aszpartát helyettesíti.

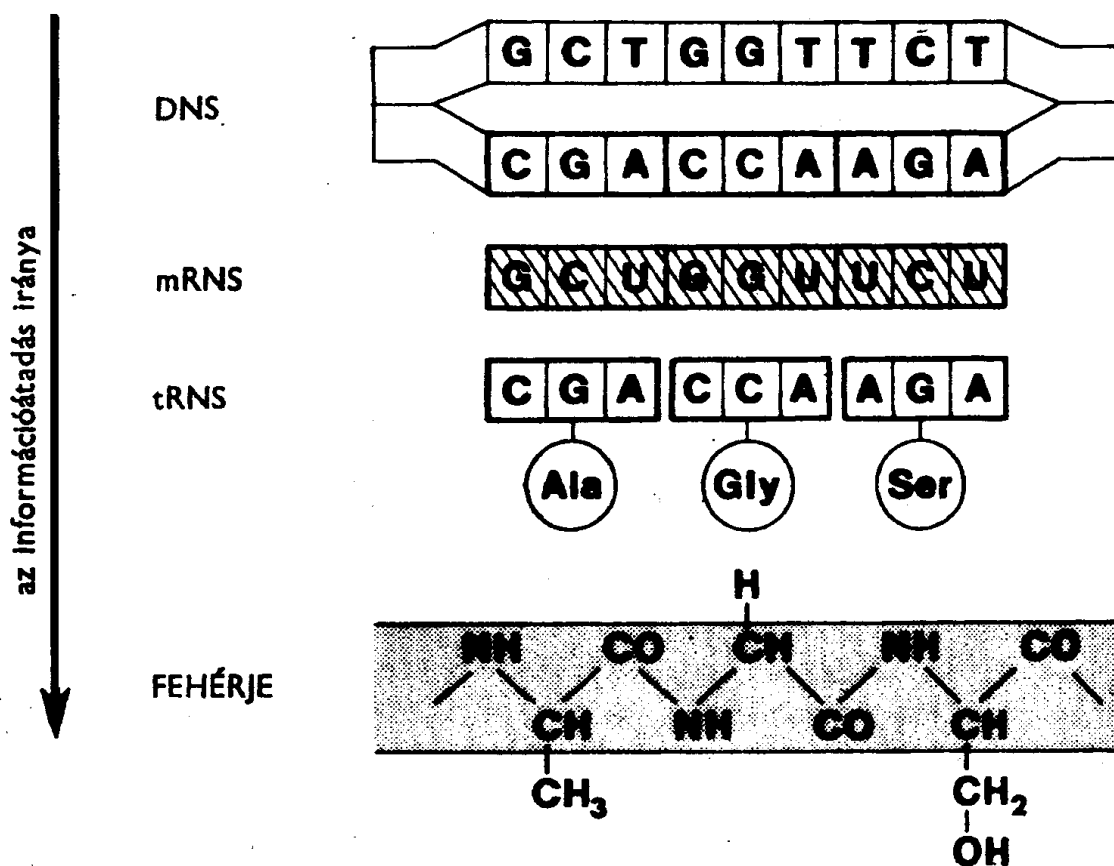


39. ábra A C₄-es fotoszintézis modellje

5 Sejt és szervezet – sejt és élővilág

Mivel a sejt valamennyi alapvető életjelenséggel rendelkező önálló alaki és működési egység, az élővilág szerveződése szempontjából két alapvető funkciót is betölt. 1) A genetikai információt hordozó öröklődési anyaga megkettőződve nemzedékről-nemzedékre tovább adódik a sejtosztódás (ivarsejtképződés) során. 2) Amennyiben az utódsejtek – sejt-populációk – életük során működésmegosztás keretében együtt maradnak, akkor a testszerveződésnek különféle típusai (sejthalmaz, telep, szövetekből felépülő test) alakulhatnak ki, és az örökölt genetikai anyag meghatározza a testfelépítést.

Az *egyedfejlődés* az ivarsejtek összeolvadásával képződött zigóta (megtermékenyített petesejt) osztódásától az egyed haláláig tart. Az egy fajhoz tartozó egyedek populációkat (durván fogalmazva természetes szaporodási közösségeket) képeznek. A populációk szintjén lejátszódó genetikai (mikroevolúciós) változások a fajok átalakulásának, a fajkeletkezésnek az alapjai (ld. 11. fejezet). A fajok ugyancsak populációik révén vesznek részt a biocönózisok (életközösségek) – és ezáltal a biomok és a bioszféra – alkotásában.



40. ábra A DNS genetikai információinak megvalósulása a fehérjeszintézisben

5.1 Genetikai információhordozók, információ-áramlás

Az élőlények tulajdonságai (testfelépítés, működés) genetikai információ (genotípus) formájában a DNS-be vannak *tömörítve*. A genetikai információk a DNS-reduplikáció során nemzedékről-nemzedékre tovább adódnak az ivarsejtek útján (genotípusos információ-áramlás; öröklődés), a testi sejtekben pedig a DNS-től az RNS felé az átírás (transzkripció), az RNS-től a fehérjék felé az átfordítás (transzláció), majd a testfelépítés (fenotípusos megjelenés) során "*kicsomagolódnak*" (unzipp) - a számítás- és információtechnikából kölcsönvett kifejezéssel élve (41. ábra). A genetikai információ-áramlás és környezeti hatásra bekövetkező módosulásainak (modifikáció, mutáció) fenotípusos és genotípusos következményeit SZABÓ T. A. (1975) a 41. ábrán szemlélteti.

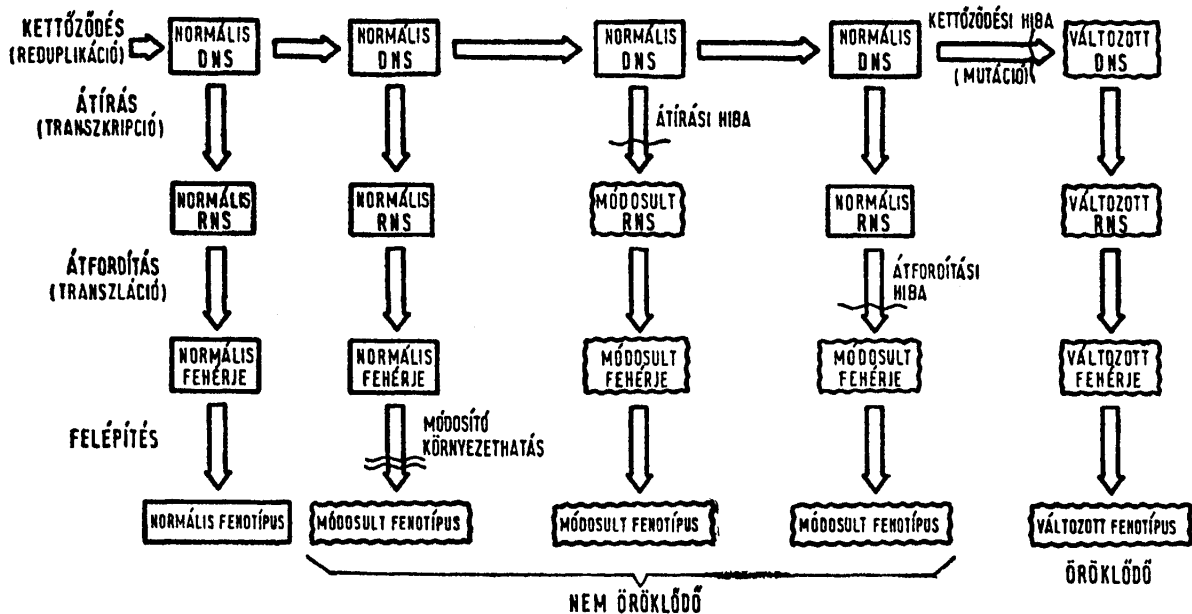
5.1.1 A genetikai anyag szerveződése

A *genotípus* a sejtmag kromoszómáinak öröklődő genetikai információtartalma az eukarióta szervezeteknél. A mitokondriális (mtDNS), a kloroplasztális (cpDNS) és a plazmidok genetikai információja a plazmon. A *fenotípust* – vagyis a szervezet megjelenési formáját és működését – az öröklődő információk és a környezet együttesen alakítják ki.

A kromoszómában a gének meghatározott sorrendben kapcsolódnak egymáshoz. A kapcsolódási sorrendet néhány alaposan ismert fajnál sikerült megállapítani, és a kromoszómát "feltérképezni". A gének az enzimek fehérjék felépítését irányítják. Egy meghatározott elemi biokémiai jelleg kialakításához egy gén szükséges: egy gén - egy enzim elmélet. Az enzimek biokatalizátorok, segítségével megy végbe a sejttanyagcsere (ld. 4. fejezet). A sejttanyagcsere a szöveti-szervi-szervezeti formaképzést határozza meg. Egy-egy enzim kiesését, eredetitől eltérő szintézisét megváltozó biokémiai, élettani és alaktani bélyegek követik. A gén szerkezete csak mutáció útján módosulhat. A gén új megjelenési formája a mutált gén, a módosult gént hordozó szervezet a mutáns. Mutáció útján egy adott tulajdonságot, egymást kiegészítő tulajdonságpárt meghatározó génnek különböző megjelenési formái – un. alléljai – képződnek.

Az egészséges sejteknek önjavító genetikai rendszere van (mismatch), amely a DNS-ben bekövetkezett hibákat keresi, és biztosítja a benne lévő gének változatlanságát. Ez a rendszer a kemoterápiára érzékeny rákos sejtekre is jellemző, ám ha azok ezt a kulcsfontosságú funkciójukat elvesztik, védelemet szereznek az alkalmazott vegyületekkel (kemoterapeutikumokkal) szemben. Az információ megváltozását megakadályozó védőrendszerek egyike a többcsatornás információ-továbbítás: a repetatív DNS szakaszok, a

kromoszómában többször is előforduló egyazon információk több párhuzamos csatornán is elérhetőek. Feltételezik, hogy e párhuzamosság csökkentheti a téves transzkripcióból származó hibákat, másrészt mikroevolúciós jelenségekhez, bizonyos jellegek felerősödéséhez vezethet (pl. domesztikáció, azaz kultúrnövényé, háziállattá válás során).



41. ábra A genetikai információ-áramlás az egyedfejlődés (↓) és a szaporodás (öröklődés; →) során

Megkülönböztethetők

- struktúrgének, amelyek funkciós- (pl. enzim-) és struktúr-proteinek információhordozói;
- tRNS (ld. 2.3. fejezet) szintézis információit hordozó gének;
- rRNS szintézis információit hordozó gének;
- egyéb RNS-ek szintézisét szabályozó gének;
- regulátorgének, amelyek az enzimszintézist végző génszakaszt be- és/vagy kikapcsoló represszorokat "termelik".

5.1.2 A génhatás

A tulajdonságok kialakulása során az első lépés a DNS szekvenciárészek átíródása az RNS-be, vagyis a transzkripció. A prokarióták esetében a struktúrgéneken mRNS képződik, az eukariótáknál pre-mRNS, amely a poszt-transzkripció során mRNS-sé alakul. A transzláció, az mRNS nukleotidsorrendjének polipeptid aminosavsorrenddé alakítása, a riboszómákon történik.

5.1.2.1 A transzkripció

A sejtanyagcsere folyamán előkészített ribonukleozidok ribonukleozid-trifoszfátok (rNTP) formájában a DNS komplementer bázisaihoz csatlakoznak: C a G-hoz, G az U-hoz, U az A-hoz, A a T-hez. A mintaként szolgáló DNS-fonál a kodogén fonál. RNS-polimeráz hatására ugyanis egyrészt megnyílik a DNS-kettősspirál, másrészt a rNTP molekulák az 5' → 3' irányban RNS lánccá kapcsolódnak össze. A kezdőpontot, ahol az első átírandó nukleotid lesz, promoter jelöli, amelyet az RNS-polimeráz felismer. A RNS szintézis a DNS terminátor szakaszáig tud futni, ott befejeződik.

5.1.2.2 A transláció

A nukleotidsorrend aminosavszekvenciává lefordításának kulcsa a genetikai kód. A nyelvek közötti tolmácsoláshoz szükséges szóismerethez hasonlóan tudni kell, melyik kódhoz melyik aminosav tartozik. A proteinekben 20 féle aminosav fordul elő. Ezzel szemben a négy nukleotidból három kapcsolódása jelent egy kódot, ami összesen $4^3 = 64$ kombinációt eredményez. Mivel a genetikai kód un. triplettkód, a genetikai kódot degenerálnak tekintik, mert egy aminosavat általában egynél több kodon határoz meg. A kodon a genetikai kód alapegysége. Három nukleotidból álló szekvencia. A kodon általában az első két nukleotiddal azonos a harmadik változó. A kód normál esetben nem átfedő, tehát a nukleotid-sorrend tripletről-tripletre olvasódik le. AUG általában a start-kodon, UAG, UAA és UGA a terminátor- vagy stop-kodonok. A genetikai kód univerzális, minden élőlényre érvényes.

A riboszómához a mRNS a kisebb alegységen kapcsolódik, az aminosavak összekapcsolása a nagyobb alegységen történik. Az mRNS kodonok és az aminosavak közé közvetítőként a tRNS kapcsolódik be. Minden egyes aminosavra legalább egy tRNS adott. A tRNS feladata az, hogy kiválassza a számára specifikus aminosavat és az, hogy antikodonjával találja meg a bázispárok alapján a mRNS megfelelő kodonját. Pl. az AUG kodonhoz csak olyan tRNS antikodonja illik, amelyik metionint szállít (met-tRNS).

5.1.3 A génműködés szabályozása

A gének működését belső (intracelluláris) és külső környezeti feltételek szabályozzák. Minden gén többszörös ellenőrzés alatt áll, és csak bizonyos élettani és ökológiai feltételek között lép működésbe vagy kapcsolódik ki. A proteinszintézis genetikai szabályozása különböző információs szerepű nukleinsav szakaszok összehangolt működését tételezi fel.

A *génműködés szabályozását* leíró legismertebb modell az *Escherichia coli* laktobacillus laktóz-operonja (JACOB és MONOD). Az RNS-polimeráznak a promoterral való egyesülési hajlama aktivátor révén emelkedhet. A laktóz-operon promoter cAMP és CAP (Catabolit Activator Protein) hatására aktiválódik abban az esetben, ha nincs felhasználható glükóz a sejtben.

Az enzimszintézist végző génszakaszt (operon = operátor + struktúrgének) a regulátor géneken keletkező represszorok kapcsolják be/ki. A represszorok keletkezése meghatározott szerkezetű molekuláknak, az effektoroknak a jelenlététől függ. A felépítő vagy lebontó anyagcsere-folyamatoknak megfelelően két típusú effektor létezik: az egyik aktiválja, a másik gátolja a represszor molekulák hatását. Az effektorok a represszoron gyakorolt hatása az alloszteria jelenségével lehet egyenlő, vagyis egy adott enzimet egy specifikus kismolekula aktiválni/inaktiválni képes.

5.1.4 Az enzimműködés szabályozása

Az enzimszintézisek menete - az elsődleges génhatás - elvileg ismert. Az enzimektől a biokémiai, élettani, morfológiai tulajdonságokig vezető út - a másodlagos génhatás - a reakcióláncok és az információs rendszer bonyolult hálózatos és ciklusos volta miatt még kevésbé ismert.

Az anyagcsérének a környezettől és reakcióitól kölcsönösen függő, koordinált folyamatát hatékony szabályozás biztosítja. Az enzimeknek, mint katalizátoroknak, ebben kulcsszerepe van. Három intracelluláris (sejten belüli) szabályozás működik:

- gén-szabályozás: az enzimek bioszintézise vagy lebontása révén mennyiségüket befolyásolja;
- enzim-szabályozás: az enzim molekulák aktivitásának megváltoztatása, az enzim mennyisége nem változik;
- metabolit-szabályozás: köztes anyagcseretermékek koncentrációjának szabályozása az enzim-aktivitás és mennyiség megváltozása nélkül.

A gén- és enzim-szabályozás leghatékonyabban a kulcsenzimek és az anyagcsere-folyamatok elágazásainál ható enzimek működését irányítja. A kulcsenzimek a leglassúbb anyagcsere részfolyamatokhoz kapcsolódva az egész folyamat sebességét korlátozzák (pl. a glükolízisben a foszfo-fruktokináz). Az anyagcsereutak elágazásainál számos

enzim "konkurálhat" a szubsztrátokért. Az egyik folyamat lelassulása a másik folyamat erősödésével jár együtt (pl. piruváttól a piruvátdehidrogenáz enzim-multikomplex az acetilkreuzim-A-n keresztül a citrát-ciklushoz vezet, míg más enzimek az alanin, valin, leucin aminosavak bioszintéziséhez).

5.1.4.1 Intracelluláris enzim-szabályozás

A proteinszintézist gyakran egy előzetes pro- vagy praeprotein-képződés előzi meg, vagyis enzimátikus úton a működőképes fehérje részegységeinek szintézise. A pro-protein képződés esetén egy enzimet egy másik, szabályozandó aktivál. (Pl. a tripszinogen proenzimet a gyomornedv-mirigyek termelik, amelyből a vékonybélben a tripszin emésztőenzim keletkezik az enterokináz közreműködésével.) A praeproteinek egy végállású jelző aminosavsorrenddel rendelkeznek (szignálszekvencia), amely segíti bejutni vagy átjutni a membránon a proteint.

Az enzimek aktivitása módosulhat foszfátcsoport kovalens kötődése, vagy konvert-enzim hatására. Egy konvert-enzim molekula több molekulára gyakorolhat erősítő hatást.

Az enzim-aktivitás a makromolekulák aggregációjának hatására is megváltozhat. A kis proteinmolekulák, amelyek moláris tömege 5-25 ezer, a proteázok fehérjebontó centrumához kötődnek.

Az izoszterikus enzimmodosulás esetén a szubsztráthoz hasonló kémiai természetű molekulák kötődnek reverzibilisen a katalízis helyéhez, amelyet blokkolnak. (Pl. a citrát-ciklusban a szukcinát-dehidrogenáz enzim esetében a szukcinát kompetitora a malát.) Az alloszterikus enzimmodosulást szubsztráthoz nem hasonló, un. alloszterikus enzimek okozzák, amelyek több protomerből álló fehérjék, és a molekula konformációját, végeredményben a katalízis helyét változtatják meg. Lehetnek serkentő (aktivátor) és gátló (inhibitor) hatásúak. A végtermékek gátló hatása izoszterikus és alloszterikus visszacsatolás formájában egyaránt ismeretes. (Pl. az ATP a glükolízis-citrátciklus terméke egyúttal a foszfo-fruktokináz alloszterikus inhibitora. Ezért a sejtek fokozott energiaigénye következtében megnövekedett ATP koncentráció fokozott energiafelszabadítást és ATP képződést okoz a glükolízis - citrátciklusban - ld. PASTEUR-effektus.)

5.1.4.2 Intercelluláris enzimszabályozás

A soksejtűeknél az intracelluláris enzimszabályozást más sejtekből érkező jelzések módosítják (kémiai, elektromos hatások).

Az állatvilágban a különböző hormonok anélkül hatnak az intracelluláris enzimatikus folyamatokra, hogy maguk a sejtbe lépnének. Ehelyett membrán-proteinhez kapcsolódnak, és ciklikus adenzin-monofoszfát (cAMP), mint szekunder hírvivő anyag képződését indukálják, amely továbbítja az információt a sejtbe.

Az állatok és a növények szervezetében a Ca^{2+} szintén szekunder hírvivőként szolgál. A citoplazmában a Ca^{2+} koncentráció három nagyságrenddel alacsonyabb, mint a plazmamembránon kívül. A kalcium általában a kalmodulin, harántcsíktolt izomban a troponin Ca^{2+} -t megkötő viszonylag kis proteinnel alloszterikus aktivátor-komplextet képezve hat.

5.1.4.3 A protein- és zsírsavcsere körfolyamat

A proteineket proteázok (peptid-hidrolázok) bontják. A felszabaduló aminosavak – ha nem új proteinek szintéziséhez használnak el – piruvát-, acetyl-koenzim-A és citrát-ciklus intermedierekké (oxálecetsav, 2-oxoglutarát, szukcinát, fumarát, malát) alakulnak. Az aminosavak bomlási termékei szénhidrát szintézishez (glükoneogenezis) szükségesek, vagy szerves formában kiválasztódnak.

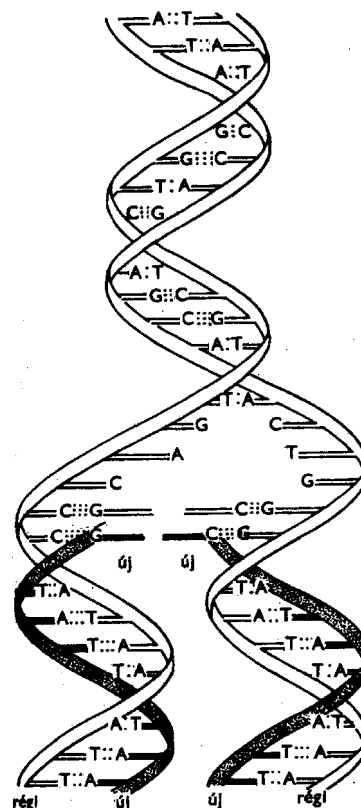
A zsírok glicerinné és zsírsavakká hidrolizálódnak. A glicerint dihidroxiacetonfoszfáttá alakul, és belép a glükolízisbe. A zsírsav láncok ún. β -oxidáció során lépésről-lépésre megrövidülnek, az acetylsoportok koenzim-A-hoz kötődnek a mitokondriumokban vagy a glioxizómákban; és a citrát-ciklusba léphetnek. (Lásd: 4.3. fejezet, disszimiláció.)

Az aminosavak szintézisét ugyancsak enzimek szabályozzák (transzferázok, transzaminázok). A mikroorganizmusok és a növények mind a 20 proteinogén aminosav szintézisére képesek. Szénvázuk az asszi- vagy a disszimilációból származik. Az aminosavcsoportok a felvett, leginkább szervetlen nitrogénből (NH_4^+ , NO_3^-) keletkeznek. A légköri molekuláris nitrogént (N_2) csak a prokaryoták képesek redukálni (nitrogenáz), és a keletkezett ammóniát (NH_3) aminosavak bioszintéziséhez felhasználni. Ide tartoznak a szabadon élő heterotróf *Clostridium*, *Azotobacter*, a szimbióta *Rhizobium* (gyökérgümő) baktériumok és az autotróf cianobaktériumok (kék-,algák”). A fotoszintetikus asszimiláció (ld. 4.4. fejezet) során a fotorespiráció az autotróf N-asszimiláció alapja. Az aminosavak bioszintézisének tanulmányozása során azt érdemes vizsgálni, hogy (a) honnan származik a szénvázuk (legtekintélyesebb része a citrát-ciklusból α -ketoglutársavon és oxálecetsavon keresztül, glikolitikus eredetű piroszőlősavból, pentóz-foszfát-ciklusból vagy fotoszintézisből glikolsav oxidációjával és transzaminálásával glicin és szerin, glicerinsav-foszfáttól foszo-

enolpiroszólósav › piroszólósav › alanin), (b) honnan származik a nitrogénjük, és (c) melyek a végleges kialakulásukat meghatározó reakciók. Közös prekursorok családfaként kapcsolják össze őket. A szerin-család tagjai: glicin, szerin és cisztein, a piruvát-család tagjai: alanin, valin, leucin, az aszparaginsav-család tagjai: metionin, lizin, treonin, a glutaminsav-család tagjai: ornitin, citrullin, arginin, prolin, un. aromás aminosavak családja: fenil-alanin, tirozin, triptofán.

5.2 A genetikai információ megkettőződése és továbbadása

A sejtosztódások és a nemzedékek során a genetikai információ megkettőződése illetve továbbadása identikus (a keletkezett azonos az eredetivel). Ez a DNS szemikonzervatív reduplikációján nyugszik. (43. ábra) A megkettőződött DNS az eukarióta utódsejtek között egyenlően oszlik szét a mitotikus és a meiotikus sejtosztódás során egyaránt. Az alábbiakban ezekről lesz szó.



42. ábra A megkettőződő DNS modellje

A genetikai információ viszonylagos mennyiségi és minőségi állandóságát az ivaros szaporodás, a szervezet → ivarsejt → szervezet → ivarsejt... vonal képviseli, amely továbbítja a faj génkészletét. Az ún. *centrális dogma* szerint a molekuláris biológiai információ áramlás is egyirányú: DNS → RNS → fehérjék; a fehérjéktől a nukleinsavak felé viszont nem megy végbe. (v.ö.: 40. ábra) A környezethatásra fellépő célszerű öröklődő változások jelentkezése

nem bizonyítható. A fajfejlődést irány nélküli, véletlen módosulások biztosítják, amelyek evolúciós értékét a környezet kiválasztó hatása, a szelekció dönti el.

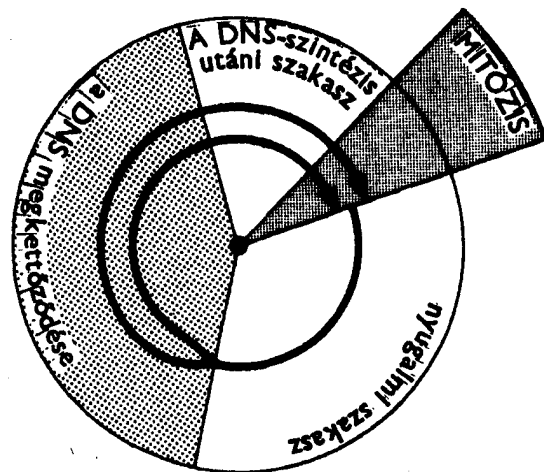
5.2.1 A DNS megkettőződése

A DNS szintézisének alapanyagai a sejtanyagcserében képződő dezoxiribo-nukleozid-trifoszfátok (DNTP). Mintaként (templátként) egy fajspecifikus DNS kettős spirál molekula szolgál. A két fonál bármelyikére hozzátapadnak a DNTP-komplementer molekulák a bázispárosodás alapján, és új nukleotidlánccá fűződnek össze. A régi DNS molekula-fonalak mellé egy-egy új képződik, ezért szemikonzervatív a reduplikáció (megkettőződés). Tehát mindkét egység egy eredeti és egy új fonalból áll, erre utal az elnevezés. A kettős fonál a hidrogénhidakat bontó helikáz hatására rövid szakaszon megnyílik, a fonalak egymástól eltávolodnak és kifelé fordulnak. A megkettőződés replikációs enzimkomplex hatása alatt kétirányú.

5.2.2 A sejt- és a magosztódás

A sejtek bizonyos életkor, méret elérését követően utódsejtekre válnak szét, amelyekbe a citoplazma organelumai átvándorolnak, és a maganyag is kettéválik. Az osztódás a sejtek életének rövid szakasza, amelyet – az osztódás szempontjából – nyugalmi szakasz (valójában felépítő anyagcserefolyamatok), DNS szintézis előz meg. (44. ábra)

43. ábra A sejtciklus



5.2.2.1 Prokariota sejtosztódás

Miután a genom megkettőződött, az utód DNS-molekulák úgy orientálódnak, hogy mindkét utódsejtbe kerülhessenek. Az utódsejtek genomja teljesértékű lesz és legalább egy plazmidot fognak tartalmazni.

5.2.2.2 Típusos sejtosztódás

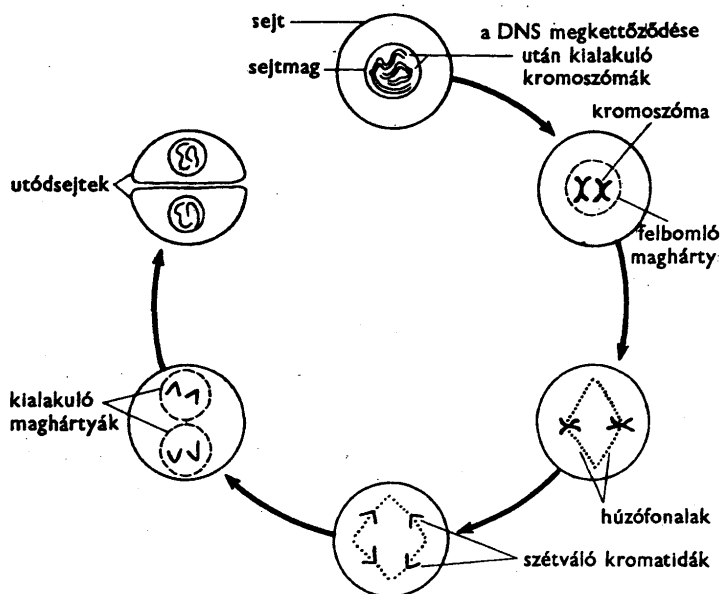
5.2.2.2.1 Amitózis

Az amitózis a közvetlen, direkt sejtosztódás folyamata, amely befűződéssel történik anélkül, hogy a kromoszómák és a magorsó fonalak kimutathatóak lennének. Egyszerű és gyors folyamat. Valószínűleg csak egysejtű élőlényekben fordul elő.

5.2.2.2.2 Mitózis

A mitózis, a közvetett, indirekt, fonalas sejtosztódás a leggyakoribb sejtosztódási forma (a testi, szomatikus sejteket illetően majdnem kizárólagos). A maganyag, a citoplazma egyenlő megfeleződése (ekvális sejtosztódás) következik be. Ez alól kivétel a megtermékenyített, osztódó, barázdálódó petesejt, a zigóta esete. A petesejt sziktartalma miatt (amely az alsó pólusán, az ún. vegetatív póluson halmozódik fel), az első osztódások idején egyenlőtlen, szikben gazdag nagyobb, és szikben szegény kisebb sejtek képződnek (inekvális osztódás).

A mitózis egységes folyamat, a sejtciklus része. A részekre, fázisokra való felosztást a könnyebb érthetőség végett használjuk. (45. ábra)



45. ábra A mitózis szakaszai

1. *Interfázis*: két sejtosztódás közötti fázis (44. ábra). A sejtek jellemző élettevékenységüket végzik, szintetizálják az osztódáskor megfeleződő nukleinsavakat és fehérjéket. További három fázisra bontjuk: (1) a változó, osztódó sejteknél véges időtartamú G_1 fázis (mRNS képződés, enzim- és struktúrfehérjék képződése), (2) a 6-8 órát igénybe vevő S fázis (DNS szintézis és megkettőződés, fehérjeszintézis), valamint (3) a 2-4 órát igénylő G_2

fázis (osztódáshoz szükséges fehérjék és mRNS szintetizálása). Az interfázisban a sejtmagokat a maghártya veszi körül. A sejtciklusban a tulajdonképpeni sejtosztódás az M (mitózis) szakasz (ld. alább 2-5).

2. *Profázis*: a mag kromatinállományából (v.ö.: 3.2.4.1. fejezet) kromatinfonalak képződnek, amelyek gomolyagszerű (monospiréma) állapotban töltik ki a magot. A maghártya eltűnik; a citocentrum diploszómái a sejt kép pólusa felé vándorolnak.

3. *Metafázis*: A kromatin fonalakkból kromoszómák alakulnak ki. A kromoszómák a volt sejtmag területén csillaghoz (monaszter) hasonló állapotba rendeződnek úgy, hogy nyitott száraik a sejt pólusai felé tekintenek. A sejt pólusa közelében levő citocentrum és a kromoszómák között finom fonalakkból álló orsó (osztódási orsó) képződik.

4. *Anafázis*: a DNS-tartalmú kromoszómák hosszukban pontosan megfeleződnek, majd az osztódási orsó hozzájuk tapadó húzórostjainak közreműködésével a sejt két pólusára vándorolnak, ahol azonos számú kromoszómákból álló 1-1 csillagot (diaszter) alakítanak ki.

5. *Telofázis*: a kromoszómák kromatin fonalakká válnak, amelyek az eredeti sejt (anyasejt) két pólusán egy-egy gomolyaggá (dispiréma) rendeződnek. Kialakul a két új maghártya, megjelennek a kromatinrögök és a magvacskák, a citoplazma kettéfűződik.

A mitózis időtartama fél–másfél óra.

5.2.2.2.3 Meiózis

Az ivarsejtek érési fázisának speciális osztódási típusa, amelyben két, egymás után következő gyors osztódás megy végbe. Nemcsak a kromoszómák egyszerű redukciója, hanem az egyes kromoszómák egymáshoz áthajló részei esetleg kicserélődhetnek egymással, és a kromoszómák szétválásakor az egyes kromoszómák szerkezete megváltozhat, ezen keresztül megváltozhat az átviendő információ is. A meiózis során bekövetkezett kromoszómaváltozások hozzájárulnak ahhoz, hogy az utódok hasonlóságuk mellett el is térjenek elődeiktől.

A meiózis a mitózistól abban tér el, hogy az első osztódás profázisában a kromatinfonalak bonyolult mozgása, páronkénti rendeződése, hosszanti kettéhasadása, crossing-over képződés jön létre, amelynek során a kromonéma fonalak egymástól részeket kaphatnak, illetve adhatnak át. Így a szülőktől eltérő tulajdonságok új kombinációja jöhet létre (ld.10. fejezet).

A profázis 5 alfázist tartalmaz: leptotén, zigotén, pahitén, diplotén, diakinézis. Rövid nyugalmi szakasz után következik a II. osztódás, és a mitotikus sejtosztódáshoz hasonlóan fejeződik be a meiózis is. A négy létrejött utódsejt (ivarsejtek) mindegyike a fajra jellemző diploid ($2n$) kromoszómaszám és DNS-mennyiség felét (haploid - n) tartalmazza.

5.2.2.3 Atípusos sejtosztódások

Endomitózis során az utódsejtek az anyasejtben maradnak és fejlődnek tovább (tömlősgombák askospórasi, magasabbrendű növények pollen anyasejtben képződő pollensejtjei, vagy az embriózsák belső sejt-oktettje).

A multipoláris sejtosztódás kóros mitózis, amelynek végeredményeként több, eltérő sajátosságú és eltérő DNS-tartalmú sejt jön létre (daganatsejtek).

5.3 A genomika és a géntechnológia

Az ember genetikai állománya (genomja) 23 DNS molekulából áll, és ezek 23 kromoszómába szerveződtek. (ld. 18. ábra) A genomnak igen kicsiny hányada, legfeljebb 5 % (3-10 %)-a gén. A többi DNS állomány biológiai szerepe nem, vagy alig ismeretes. Eddig 38 ezer emberi gént azonosítottak, és a végleges szám 115 ezer körül várható.

Géntérképek már évtizedek óta készülnek. A genetikai térképkészítés során az öröklődő tulajdonságokért felelős gének egymástól való relatív távolságát határozzák meg a kromoszómán klasszikus genetikai módszerekkel. A genetikai térképezésnek nem feltétele az illető gének biokémiai ismerete.

A teljes genetikai állomány (genom = gének és nem gének) biokémiai ismerete az építőelemek sorrendjének (nukleotid-szekvencia) meghatározása. A géntérkép kifejezés a genomszekvencia helyett nem megfelelő. Az emberi genetikai anyag nukleotid sorrendjének megismerésére 1990-ben megkezdett HUGO (human genom) program az emberiség legnagyobb vállalkozása a biológia területén. – Jelentőségében és költségeiben egy bolygó meghódításának programjához hasonlítható. Előzménye egy fonálféreg (*Caenorhabditis elegans*) genetikai anyagának feltárása volt, amely 1998 decemberében fejeződött be. Az ember genetikai anyagát felépítő nukleotidok 97 %-ának szekvenciáját viszonylag hamarosan, 2000-re meghatározták. A 99,9 %os megismertség becslések szerint még három évet vehet igénybe.

A munka jelentősége egy könyv szövegében a betűk sorrendjének megállapításához hasonlítható, és eredménye egy olyan pontosan reprodukált betűhalmaz lett, amelynek nukleotid „betűi” még nem alkotnak értelmes szöveget. A megfejtés a molekuláris genetika és az informatika közös tudományterülete, a **funkcionális genomika** feladata.

A gének és géntermékek azonosítása, az egyedi különbségek feltárására fajon illetve populációkon belül fontos feladat. A genomikai analízis szerint az emberi rasszok közötti különbségek alig haladják meg az egy rasszon belül mérhető változékonyságot. A különbségek az egyes gének változatainak (alléljainak) eltérő gyakoriságából adódnak. Igen kicsiny a különbség az ember és az emberszabású majmok között, és általában az emlősökön belül! Fontos feladat az egy nukleotidpárra szorítókozó egyedi különbségek vizsgálata, és az öröklődő betegségekkel való összevetése, az öröklődő betegségek prognosztizálása, a megelőzés és a terápia (génterápia). A farmako-genomika a gyógyszeres terápia kiegészítője, sőt versenytársa lehet.

Nagyon sok gén – így számos betegség meghibásodott (mutáns) génje – az érintetteknek csak bizonyos hányadában nyilvánul meg, mert egy génhatás kifejeződésében a genetikai háttérnek, a környezeti tényezőknek és a véletlennek is jelentős szerepe van. Megváltozó környezet – különösen vegyi, radioaktív hatások – növelik a mutációk gyakoriságát és a mutáns gén kifejeződésének esélyét. Ha például valaki genetikai okok miatt fogékony egy vírusos betegségre, de a vírussal sohasem találkozik, vagy a környezeti tényezők vele szemben ellenállóképességét nem csökkentik, akkor az nem derül ki soha. A genetikai anyag nukleotid-sorrendjének ismerete alapján elvben megjósolható a jövő, amely kétségtől pozitívum, ha a felismerés a baj elkerülhetőségét és nem a társadalmi vagy gazdasági diszkrimináció különböző válfajait jelenti.

A funkcionális genomika és a farmako-genomika a populációgenetika hagyományos területén is új perspektívákat nyitott meg. Már rendelkezésre áll Izland genetikai szempontból viszonylag homogén népességének genetikai adatbázisa. Az ikerkutatásokat a patogén gének mutációs gyakoriságáról való információszerzés igénye gyorsította fel, mert egypetéjű ikerpár genetikai különbsége kizárólag új mutáció fellépésével magyarázható. A p53 tumorgátló gén felfedezése a rákot eredményező mutációk ellensúlyozására nyújt reményt. Gének és szekvencia-információk vannak szabadalmaztatva és kereskedelmi forgalomban. Az egy nukleotid nagyságú egyedi különbségek (SNPs) vizsgálata egyes betegségek iránti fogékonyság előrejezésére alkalmas. A kutató- és közegészségügyi intézetek, állami és

magáncégek versenye a fentieken túl az egyes gének és az általuk kódolt fehérjék biológiai szerepének kutatására is kiterjed olyan szempontból, hogy az ép gént lehessen bevinni a betegségben szenvedő megfelelő szövetébe. A genetikai állomány megismerése után néhány évvel elképzelhető, hogy vérzékenység, vagy daganatos betegségek elleni stratégiák kidolgozásában fontos szerepet kap a mesterségesen kifejlesztett kromoszóma, vagyis génszállító eszköz.

A **géntechnológia** az evolúció folyamatába való beavatkozás, amelynek során az élőlények működését (életét) vezérlő genetikai programot az ember igényei szerint megváltoztatja. Az élővilágban a szülő – utód viszonylatában vertikális rekombináció (az egyes genetikai információk új kombinációinak keletkezése) játszódik le. A géntechnológia lehetőséget ad in vitro un. horizontális rekombinációra, amellyel vírus, baktérium, gomba, állati (incl. emberi) gének építhetők be különböző élőlények genomjaiba, és ott mint transzgének működni fognak. A genetikailag manipulált élőlények (GMO) nem célzott következményei etikai problémákat vetnek fel. A biológiai, ökológiai veszélytényezők között tartják számon a transzgén DNS hatását (transzgenikus élelem vagy takarmány fogyasztása esetén), a transzgén megszökését (ivaros úton átkereszteződéssel, vegetatív úton, új vírustörzs keletkezésével), a transzgéntermék (új, idegen vagy rekombináns fehérje) nem célzott toxikológiai és allergológiai hatását, a molekuláris koevolúciós versenybe való beavatkozást. A gazdasági, társadalmi hatások között a genetikai gyarmatosítás lehetősége magában foglalja a vad- és kultúrflórája génjeinek megszerzését és hasznosítását az eredeti tulajdonos kizárásával, és a géntechnológiai szabadalmak monopoliumával való visszaélés veszélyét.

Az 1994-től köztermesztésbe került transzgenikus növények termőterülete négy év alatt elérte a 30 millió hektárt. Ismeretesek az állati szervezetek „klónozásában” elért eredmények, az ipari ható- és alapanyagtermelésre manipulált mikroorganizmusok. A géntechnológia törvényi szabályozásának szükségességében a világ országai egyetértettek. A szabályozás legliberálisabb az USA-ban, legszigorúbb az EU-ban. Számos ország e kérdést jogilag még nem rendezte. Az USA-ban mintegy 50, géntechnológiailag manipulált, a táplálkozáshoz nélkülözhetetlen növényfajta termesztenek. A szója (*Glycine max*) több mint felét világszerte génmanipulált vetőmagból állítják elő. A génszerte növényekből készült élelmiszerek fogyasztása jelenleg ismeretlen mértékű kockázatot jelent, annak ellenére, hogy pl genetikailag módosított repceből készült étolajban nem tapasztalhatók a módosítás jelei. Magyarországon az 1999 januárja óta hatályos, géntechnológiai tevékenységet szabályozó

törvény szerint csak kísérleti parcellák létrehozására adnak engedélyt, amit azóta mintegy tíz nemzetközi vetőmagforgalmazó cég kért. A törvény előírja az élelmiszerek ellenőrzését, de az ehhez szükséges és a genetikai módosítás alá nem vonható élőlények felsorolását tartalmazó rendelet még hiányzik. A montreali egyezmény szerint címkével kell ellátni a génkezelt végtermékekből vagy alapanyagokból készült élelmiszereket. A biotechnológiai termékek kezelésének és forgalmazásának biztonságát a Nairobiban 2000-ben Magyarország környezetvédelmi minisztere által is aláírt "cartagenai jegyzőkönyv" szolgálja.

A nemzetközileg egységes szabályozás mielőbbi bevezetése nem csak élelmezés-egészségügyi szempontból szükséges, mert

- engedélyezett GMO termesztése, tenyésztése a környezetből már nem vagy csak nehezen vonható vissza,
- az engedélyezett GMO génje előbb vagy utóbb megszökik, azt gyakorlatilag nem lehet megakadályozni,
- nagyon kicsi az esélye annak, hogy utólag környezetre veszélyesnek vagy károsnak bizonyult géntől és termékétől - globális méretekben - meg lehessen szabadulni.

6 Testszerveződés és testi működés

6.1 Omnipotencia, differenciálódás, regenerálódó képesség

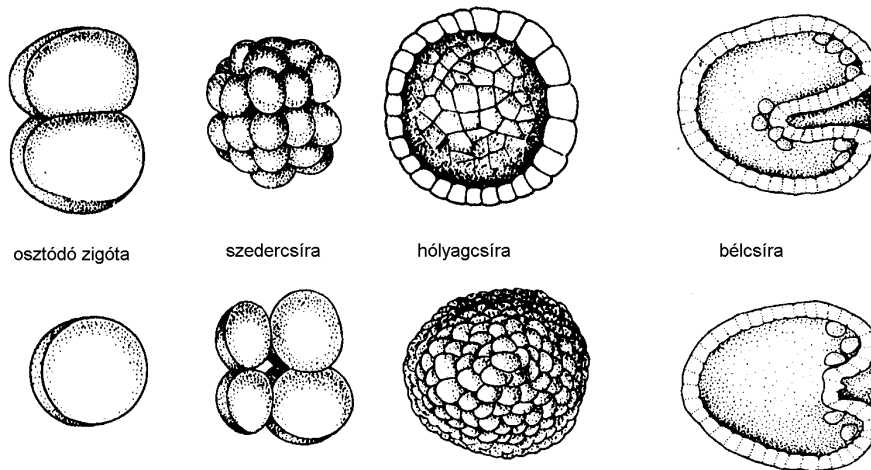
Az egysejtűek esetében a sejtek életjelenségei egyben az egyed életjelenségei is, vagyis egy sejt minden életfunkcióra képes (omni- vagy totipotens). A soksejtű szervezetek kialakulásával a differenciálódó sejtjeiket valamilyen jellegzetes alkotórész speciális munkára teszi alkalmassá, és azok a minden előre, minden sejtre jellemző tulajdonságok közül egy-egy tevékenységben nagyobb részt vállalnak. Ez a folyamat vezet át a sejthalmazos, telepes szervezeteken keresztül a szövetekkel rendelkező élőlényekig, miközben az omnipotencia bizonyos testtájakra (szövetekre, sejtcsoportokra) korlátozódik, és az általános regenerálódó képesség is visszaszorul (ld. növények, férgek, hüllők), illetve csak az egyedfejlődés korai (embrionális) szakaszára marad jellemző.

Az omnipotens viselkedésű őssejteknek és a sejtek differenciálódó képességének protoplasztálással való visszaállításának a biotechnológiában van jelentősége. Humán vonatkozásban főleg embriók, esetenként felnőttek szöveteiből nyerhetők őssejtek. A lehetőség, annak ellenére, hogy súlyos betegségek (pl. Parkinson-kór, 1. típusú diabétesz,

szélütés) gyógyítását biztosítja, etikai kérdéseket vet fel (emberi embriótenyésztés). Áttörés laboratóriumi őssejtek (Embryoid Body Derived Cells = EBD) irányában lehetséges, amelyek differenciálatlanok, különféle sejtekké továbbfejleszthetők, átveszik a hiányzó sejtek funkcióit, és a természetes őssejtekhez képest tumorképződéssel kevésbé fenyegetnek.

6.1.1 A megtermékenyített petesejt, a zigóta differenciálódása

A megtermékenyítés az a folyamat, amelynek során a hímivarsejt és a petesejt egyesül, majd belőlük a zigóta kialakul. A megtermékenyítés és az embrió fejlődése (barázdálódás és embriogenezis) lejátszódhat természetes (in vivo) és mesterséges (in vitro) körülmények között. Utóbbinak a humán biológiában, de különösen az állati és növényi nemesítésben valamint biotechnológiában nagy jelentősége van.



45. ábra A megtermékenyített petesejt (zigóta) osztódása és a barázdálódás

A *barázdálódás* a zigóta osztódása. (46. ábra) A folyamat élőlénycsoportonként eltérő, és az állatvilágban a legkifejezőbb. A barázdálódási osztódások során minden egyes osztódás után egyre kisebbek a sejtek, de a sejtek tömege a pete eredeti nagyságával azonos. A sok apró sejt miatt, az állati zigóta a szederhez hasonló (szedercsíra állapot, morula). A gömb alakú sejtek bizonyos számú osztódása után egy központi helyzetű üreget (blasztocöl) zárnak körül, aminek következtében a hólyaghoz hasonló alakú képlet (hólyagcsíra állapot, blasztula) jön létre.

Amikor barázdálódás által létrehozott sejtek száma bizonyos küszöbértéket elért, akkor a barázdálódást felváltja az invagináció (begyűrődés). Ez az invagináció az animális és a vegetatív pólus találkozásánál jön létre. Az invaginációval az egy sejtrétegű blasztula két sejtrétegű kehelyszerű képletté válik. (47. ábra) A külső sejtréteg az ektoderma, a belső az

entoderma. A benyomódás helye az ősszáj és a keletkezett másodlagos üreg, amely a külvilággal közlekedik, az ősbél ürege. A begyűrődés után a bélcsíra (gasztrula) hosszanti irányban megnyúlik. Lesz egy háti, dorzális és egy hasi, ventrális oldala.

Az egyed- és a fajfejlődés kapcsolatára utal az, hogy a bélcsíra fejlődése során kialakul az ősszáj, amely a maradandó szájat is alkotja (ősszájúak, protosztomiások). A nyílférgektől az emberig, vele ellentétes oldalon "új száj" alakul ki (újszájasok, deuterosztomiások). Az ősszáj az ősbélbe (archenteron) folytatódik.

A bél és a test fala közötti üreg a testüreg (cölóma) lehet elsődleges (laposférgektől a gyűrűsférgekig), amely a hólyagcsíra üregével egyezik meg. Lehet másodlagos (gyűrűsférgektől „felfelé”), kialakulása a középső csíralemezből származó mezodermből történik, amely külön fallal veszi azt körül.

Kétféle szimmetria fordul elő:

- sugaras szimmetria, kifejlett állapotban a szivacsokban és a tüskésbőrűekben,
- kétoldali szimmetria (bilaterális testszimmetria), ahol a test jobb és bal oldalán a szervek egymás tükörképei (pl. férgekben, embrionális állapotban a tüskésbőrűekben, emlősökben stb).

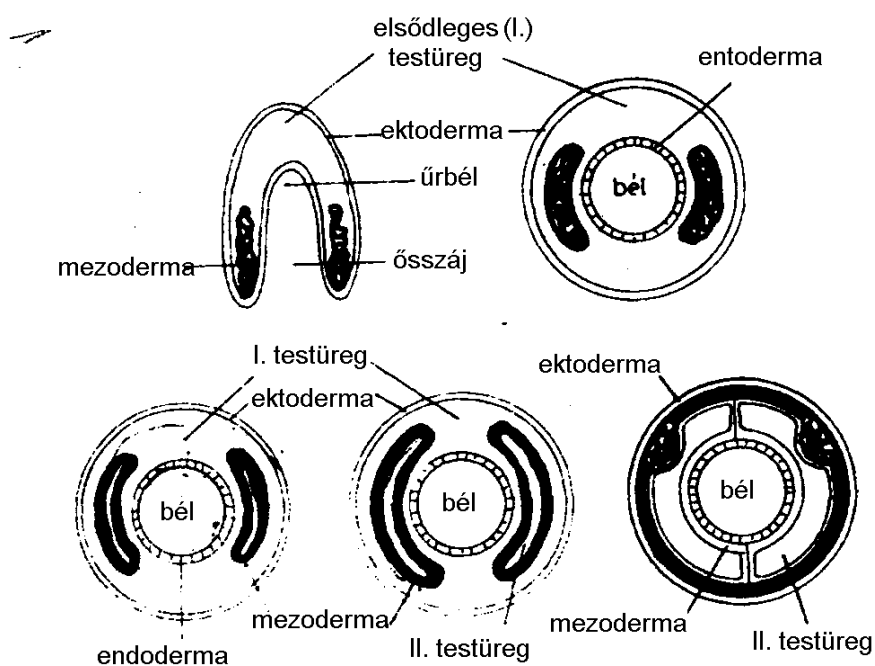
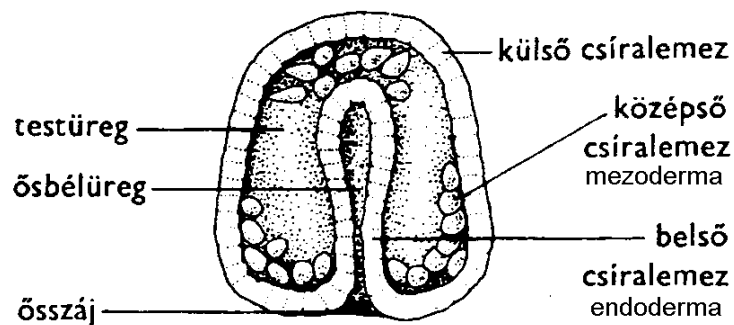
Szelvényezettségnek (metaméria) nevezzük azt a jelenséget, amikor az egymás után következő testszakaszok azonos, illetve közel azonos felépítésűek (gyűrűsférgesek, részben az ízeltlábúak, magasabbrendűek gerincvelő idegei).

A belsővázaz élőlényekben a bilaterális testszimmetria tengelyét a gerinchúr (chorda dorsalis) határozza meg. Csíralemezeknek nevezzük azokat a sejttömegeket, amelyekből az egyed szervei, szervrendszerei, az egész szervezet kialakul. Az egyedfejlődés során megfigyelhető morfológiai változások egyenlőtlen sejtosztódásra vezethetők vissza. Egyes területen sejtek osztódnak, máshol nem (esetleg elhalnak), és a feszülés következtében begyűrűsödésre (invagináció), redő-, barázdaképződésre, sejtlemezek leválására (delamináció), lemez által történő körülnövésre (epibólia, vagy sejtek vándorlására (immigráció).

A valódi szövetes állatoknak három csíralemezük van (47. ábra):

- a külső csíralemez – ektoderma,
- a középső csíralemez – mezoderma és
- a belső csíralemez – entoderma (endoderma).

A csíralemezekből ősi szervtelepek származnak, azok a képletek, amelyek a szövetekből kialakuló, maradandó szervek kezdeményeit jelentik.



47. ábra A bélcsíra, a csíralemezek és a bélüregek megjelenése

6.2 Kolónia

Az egysejtűek egy része osztódás után eltávozik az anyasejtől, és attól függetlenül éli életét. Vannak olyan sejtek, amelyek osztódás után nem távoznak el egymástól, hanem 20-30 sejt együtt maradva kis egységet alkot [pl. a sejthalmazosok - (mezozoa), gömbmoszatok, kovamoszatok nyálkaburokban]. A kolónia szétesése után a sejtek zavartalanul tovább funkcionálnak. A csupán sejtekből álló kolónián kívül a több állatból álló telepet is szokták kolóniának nevezni.

6.3 Telep

Helyhez kötött életmódot folytató, helyzetváltoztató mozgásra (fény – foto-, tápanyag – kemo-, gravitáció – geo-tropizmus) képes élőlények, amelyek fonalas, lemezes, elágazó és szövedék telepet vagy teleptestet képeznek. A moszatokra, a gombákra és zuzmókra, a mohákra, továbbá egyedfejlődésük bizonyos szakaszában a szövetes harasztokra (korpafüvek, zsurlók és páfrányok) jellemző szerveződési formák.

Álszövet – a csíralemezek kezdetleges differenciálódásával jött létre, az ősbélű, testüreg nélküli szivacsokra jellemző.

6.4 Szövet

A szövet meghatározott működésre differenciálódott, azonos csíralemezből származó, hasonló alakú sejtek és származékaik (sejtközötti állomány) törzsféjlődésileg meghatározott rendszere.

Állati szövetek (főleg gerincesekben):

- a hámszövet,
- a kötő- és támasztószövet,
- az izomszövet,
- az idegszövet

Növényi szövetek:

- az osztódó szövet
- az alapszövet
- a bőrszövet
- a szállítószövet.

6.4.1 A gerinces állatok szövetei

A zigóta differenciálódása során a bélcsíra állapotban elkülönülő külső-, középső- és belső csíralemezekre vezethetőek vissza.

6.4.1.1 Hámszövet

Sejtjei szorosan egymás mellett helyezkednek el, ereket, sejtközötti állományt egyáltalán nem, ideget is csak nagyon keveset tartalmaz.

Felosztható működés és alak alapján.

Működés szerint:

- fedőhám, mirigyhám, érzékhám, retikuláris (felszívó-)hám, pigmenthám.

Alak szerint egyrétegű:

- laphám,
- köbhám,
- hengerhám,
- csillóshám,

többrétegű:

- laphám – elszarusodó, el nem szarusodó,
- hengerhám.

6.4.1.2 Kötő- és támasztószövet

Az állati szervezet legelterjedtebb szövete. Sejtjei szabálytalan alakúak, távol helyezkednek el egymástól, és közeiket alapállományt alkotó sejtközötti állomány tölti ki.

A sejtközötti állomány a sejtek produktuma, lehet:

- folyékony és
 - szilárd; ez utóbbi áll
 - rostokból: enyvadó (kollagén), rugalmas (elasztikus), rács (retikuláris), és
 - szervesen sókat is tartalmazhat.

A kötőszövet lehet: tömött- és lazarostos, zsírszövet és vér. A támasztószövetek két fajtája a porc- és a csontszövet.

A kötő- és támasztószöveteket a porcszövet kivételével idegek és erek hálózák be. Az ín és a porc kivételével igen jó regenerálódó képességű, a középső csíralemezből, a mezodermből származik.

A kötő- és támasztószövet felosztása:

- működés szerint: sejt és rostképző, vázképző (mechanikai organizáló), anyagforgalmat lebonyolító, védő- és regeneráló stb.,
- sejthalak szerint: fix sejtek – meghatározott sejthalak, vándorsejtek – állandóan változó sejthalak.

Különleges kötőszövetnek tekinthető a vér. A vér és a nyirok képezi a testfolyadékot. A testfolyadék nyílt (szövetközötti résrendszer) vagy zárt (véredényrendszer) keringési rendszerben közlekedik.

A porcszövet alapegysége: a chondron, amelyet az egyes sejteket körülvevő porctok, és az összes sejteket körülvevő porcudvarok alkotnak.

A csontszövet alapegysége az oszteon, amely a csont hossz tengelyével párhuzamosan futó eret tartalmazó csatornából (Havers-csatorna) és az azt körülvevő lemezrendszerből áll.

6.4.1.3 Izomszövet

Az izomszövet legjellemzőbb sajátossága, hogy képes összehúzódni (kontrakció) és elernyedni (relaxáció). Ezt a tulajdonságát az izomsejtek citoplazmájában levő összehúzódásra és elernyedésre képes fehérjemolekulákból (aktin, miozin, fibrillin) felépült rostoknak, a

miofibrilláknak köszönheti. A miofibrillák fénytörése a rost mentén egyforma lehet (simaizom), vagy rajta egyszeresen és kétszeresen fénytörő szakaszok váltogatják egymást (harántcsíkolat izom, szívizom).

A simaizom sejtjeinek magja a sejt közepén foglal helyet. Miofibrilláin nincs harántcsíkolat. A vegetatív idegrendszer idegzi be, kitartó, de gyors összehúzódásra képtelen. A vázzal nem rendelkező állatok mozgásának aktív szerve, illetve a csöves felépítésű zsigerek pl. bél vagy erek falának felépítő és mozgó eleme.

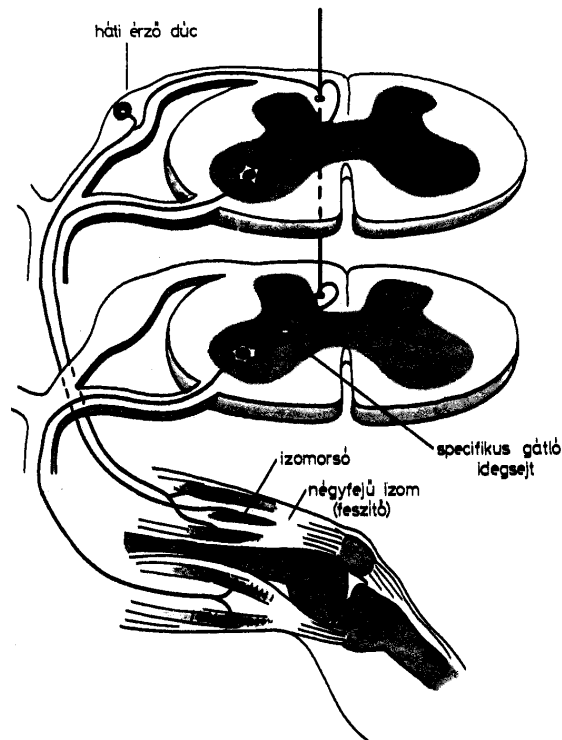
A harántcsíkolat izom. plazmódiumképződés során (magok osztódtak, a plazma az osztódást nem követte) kialakult többmagvú óriássejt–rost, vagyis olyan rost, amelynek magjai a széleken helyezkednek el. A miofibrilláin eltérő felépítésű és fénytörésű szakaszok (Z1 csík – I1 csík – A1 csík – H csík - A1 csík – I2 csík - Z2 csík) követik egymást. Az I- (izotróp) csík aktinból, az A- (anizotróp) csík aktinból és miozinból, a H- (M-) csík csak miozinból áll. A Z-csíkok a szerkezeti elemek (szarkomerek) határát képezik. A fibrillin mindenütt megtalálható. Ez az izom rövid ideig tartó fokozott erőfeszítésre képes, gyors, de nem kitartó (izomláz). Az akaratlagos, szomatikus idegrendszer beidegzése alatt áll. A szívizom mind alaki, mind funkcionális szempontból a két izom tulajdonságait egyesíti magában.

6.4.1.4 Idegszövet

Az állati szervezet organizálásában legfontosabb szerepet játszó szövet. Az idegsejtek feladata az ingerek felfogása (receptió), az ingerület továbbvezetése (kondukció), a kapott értesülés feldolgozása (appercipiáció), és a válaszadás (effekció, vagy effektus). A csillós egysejtűekben megtalálható az ún. neuronéma (idegfonál). A szivacsok és a csalánzók testében diffúz idegsejtek vannak. A férgek, ízeltlábúak és puhatestűek dúcidegrendszerrel, a gerincesek csőidegrendszerrel rendelkeznek. Az idegszövet alapegysége a neuron. A neuron az idegsejt testéből és nyúlványaiból áll.

Az érző idegsejtek két nyúlvánnyal rendelkeznek. E két nyúlvány a sejttestből közös gyökérrel indul el, és a sejttesttől távolabb Y, vagy T alakban ágazódik el. Az egyik nyúlványa a test perifériájára megy, ahol tapintó, nyomásérző, hő, izomtónus stb. felvevő érző végkészülékekben végződik. A másik nyúlvány a központi idegrendszerbe lép be. A periféria felé futó rost érző végkészülékeivel fogja fel a külvilág ingereit, majd a sejt testétől a másik nyúlvány egy újabb idegsejtnak továbbítja. Ez a nyúlvány mozgó vagy átkapcsoló neuronok sejttestén ér véget, és azokat is ingerületi állapotba hozza. A mozgó neuronok nyúlványai a

test perifériájára térnek vissza, végkészülékeik a végrehajtó szerveken: izmokon, mirigyeken képződnek, és azokat ingerválasz adására ösztönzik. Így jön létre (az idegszövet régebbi felfogás szerinti élettani alapegysége) a reflexív, amely egy felvevő (érző), és egy végrehajtó (mozgató) neuronból áll. A reflexív csupán vezérlésre alkalmas, de szabályozásra nem. A reflexív a visszajelentő ággal együtt alkotja a reflexkört. (ld. 48. ábra)

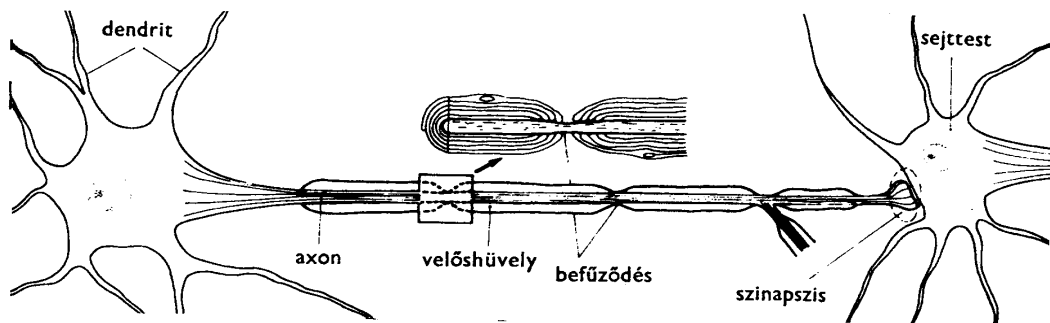


47. ábra A reflexkör idegsejt-elemekkel a gerincvelői térdreflex példáján

A mozgató vagy átkapcsoló multipoláris neuronok száma a legnagyobb a gerinces állatok szervezetében. Egy hosszabb (néha méteres hosszúságú) nyúlvánnyal, a tengelyfonállal (axonnal vagy neurittal), és sok rövidebb nyúlvánnyal (dendritekkel) rendelkeznek. Sejttestük a központi idegrendszer szürkeállományát, neuritjuk a fehérállományát, és a testben levő idegeket képezi.

A neuritok végződése a végfácskák, a neuronok élettani szerepétől függően izmokon, illetőleg mirigyeken érnek véget, mint ún. motoros véglemezek, vagy átkapcsoló neuronok esetén egy motoros idegsejten végződnek. A hosszabb neurittal rendelkező idegsejtek a serkentő neuronok, a rövid neuritú idegsejtek pedig a visszajelentő, gátló neuronok. A serkentő szinapszisok a másik idegsejt testén vagy dendritjén, a gátlók az axoneredés helyén végződnek. A neuritokat a magasabbrendűeknél velős- (mielin) és sejtes- vagy csak sejtes-hüvely (Schwann-hüvely) veszi körül. Ez a vezető (a neurit) keresztmetszetének növelésével

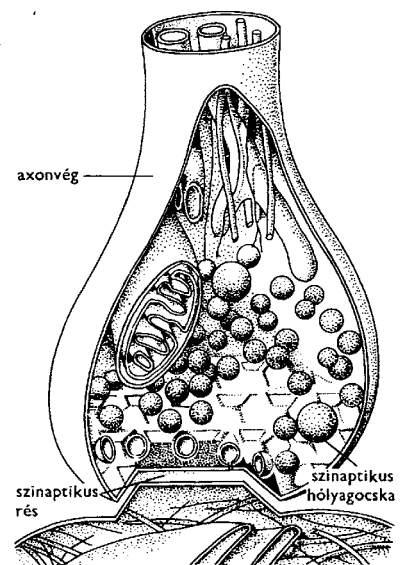
elérhető mértékűnél sokkal nagyobb sebességű és mennyiségű információátvitelt (potenciálváltozás) tesz lehetővé. (49. ábra)



48. ábra Az idegsejtek részei és kapcsolódása

Az ingerület vezetésében és átadásában elektromos és kémiai jelenségek játszanak szerepet. Két idegsejt között kialakuló kapcsolatot és érintkezési helyet szinapszisként nevezzük. Az inger átadásának természete szerint van elektromos és kémiai szinapszis. A kémiai szinapszis esetében az axon végződéseinek szinaptikus hólyagaiban termelődő gátló vagy serkentő anyagok viszik át az ingerületet. A szinaptikus hólyagok elektromos impulzus hatására a szinaptikus résbe ürülnek, majd elérik a következő idegsejtet. (50. Ábra) A serkentő szinapszisok ingerületátvivő anyagai az acetilkolin és a noradrenalin, a gátlóké a γ -aminovajsav. Serkentő szinapszis hatására a fogadó membrán depolarizálódik, a gátló szinapszis pedig nagy mennyiségű Cl^- -t enged be és általában túlpolarizálódik. A serkentő szinapszis az ingerületet gyorsítja, az ingerküszöböt csökkenti, a gátló a szinapszisba jutott ingerületet csökkenti vagy kioltja, az ingerküszöböt növeli.

49. ábra A kémiai szinapszis szerkezete



6.4.2 Növényi szövetek

Osztódó szövet vagy merisztéma a csírában ősméristéma alakjában van jelen. Az ősméristéma primer merisztémává válik, és belőle képződik a három másik szövet. A többi szövetféleség sejtei időnként visszanyerhetik osztódó képességüket, és szekunder merisztémává válhatnak.

6.4.2.1 Osztódó szövetek

A csúcsi elhelyezkedésűek a hajtás- és a gyökér-tenyészőkúpban e szervek hosszanti növekedését biztosítják. A hajtás csúcsi osztódó szövetét (csúcsmerisztémáját) biotechnológiai eljárásokban fel szokták használni. A merisztémakultúra mikroszaporításra, vírusmentes szaporítóanyag előállítására, fenntartásra, fagyasztásra és különféle kísérleti célra alkalmas.

A hajtás csúcsmerisztémája a szárat és a leveleket hozza létre mindaddig, amíg környezeti és hormonális hatásra nem lép vegetatívól reproduktív fejlődési szakaszba, és attól kezdve a virág- és virágzatképződést szolgálja. Az oldalmerisztémák a vastagodást (pl. a szállítónyalábokban a kambium), a hegképződést (hegszövet v. kallusz) és egyéb feladatokat látnak el (ún. interkaláris merisztéma nyújtja meg a szalmaszár tagjait, merisztemoidokból képződnek a gázcserenyílások).

6.4.2.2 Alapszövet

Működése alapján több csoportja van. Sejtközötti járatokban gazdagok. A legfontosabb valódi alapszövetek

- az asszimiláló alapszövet (klorenchima), kloroplasztisz tartalmú szövet, amelyben a fotoszintézis folyamata folyik,
- a raktározó alapszövet lehet
 - víztartó alapszövet (pozsgás v. szukkulens növények),
 - tápanyagraktározó alapszövet (gumók, hagymák, magvak termései),
 - légtartó alapszövet (vizi, mocsári növények).

A szilárdító, valamint a kiválasztó és váladéktartó szöveteket az alapszövetektől külön szövetekként szokták tárgyalni.

6.4.2.3 Bőrszövet

A hajtás elsődleges bőrszövege az epidermisz a levelek, hajtások felszínén található. Külső felszínét kutikula vagy viasz borítja, fedő- vagy csalánszőrök lehetnek rajta. Fő feladata a védelem. De a levelek alsó felszínén található légzőnyílások (sztóma) segítségével a növényi légzésben, párologtatásban is szerepe van. A gyökér elsődleges bőrszövege a gyökérszőrös, a vizet és a benne oldott ásványi sókat felvevő rizodermisz (epibléma). Az elsődleges bőrszövetek viszonylag rövid életűek, helyettük a belsőbb alapszöveti sejtrétegekből fásodott, parásodott falú másodlagos és harmadlagos bőrszövetek képződnek.

6.4.2.4 Szállítószövet

A növény anyagforgalmában szerepet játszó edény- vagy szállítónyalábokat alkotnak:

vízszállító csövek: tracheák,

vízszállító sejtek: tracheidák

asszimilátum szállító csövek: rostacsövek

asszimilátum szállító sejtek: rostasejtek.

A nyalábok szilárdító sejtekkel (rostokkal) és alapszöveti elemekkel (raktározás) egészülnek ki. Megkülönböztetünk háncs- és fanyalábokat. Ezek kevésbé önmagukban (pl. fiatal gyökérben), inkább együttesen, ún. összetett nyalábok formájában futnak a szár keresztmetszetében körkörös (lágyszárú kétszikűek), hengerpalást felületen (fás szár) vagy szórtan (egyszikűek).

A növényi és az állati szövetek kevés esetben fordulnak elő tisztán, inkább együttesen szövetrendszereket képeznek. A szövetrendszert fő feladatáról, vagy az azt ellátó szövetféleségről nevezik el: alap-, szilárdító-, szállító-szövet- stb. rendszer.

6.5 Szervek

Több szövetbe tartozó, valamely életműködés lebonyolításában szerepet játszó sejtek tömege alkotja a szerveket (pl. a bélcső a táplálkozásban, a vese a kiválasztásban stb.). A növényi test szervei a gyökér és a hajtás, s az utóbbi a vegetatív (életfenntartó) szárra és levélre, illetve a reprodukzív (ivaros szaporító) virágra és termésre tagolódik. A növényi szerveket nagy alakgazdagság és gyakori módosulás jellemzi.

Az állatvilágban az ősi szervtelepekből, vagyis embrionális képződményekből állatfajonként eltérő módon és végállomással a különböző alakú és működésű szervek, szervrendszerek alakulnak ki. (Lásd: következő táblázat.)

Ősi szervtelepek	Származékaik
1. <i>Ektoderma</i>	bőr és származékai, velőcső
1.1. Velőcső	idegrendszer, érzékszervek, mellékvese velőállománya
2. <i>Mezoderma</i>	elcsökevényesedik, maradványa a
2.1. Chorda dorsalis	csigolyák közötti porckorong egy része
2.2. Öscsigolyák	vázrendszer, érrendszer
2.3. Középlemez	kiválasztási és nemi szervek
2.4. Oldallemezek	savóshártyák (mell-, hashártya, szívburrok)
3. <i>Endoderma</i>	
3.1. Bélcső	emésztő-, légzőszervrendszer

(A táblázat a részletek figyelembevétele nélkül készült)

6.6 Szervrendszerek

Azonos munka elvégzésére több szerv szervrendszerré társul (pl. a bélcső kiegészül mirigyekkel). A szervrendszerek két csoportba sorolhatók; önfenntartó vagy vegetatív, fajfenntartó vagy generatív szervrendszerek. Az önfenntartó szervrendszerek a szervező szervrendszer, az anyagforgalmi szervrendszer és a mozgató szervrendszer.

7 A biológiai sokféleség rendszertani megközelítése

Az élővilág faj-, alak- és működésbeli gazdagsága csak rendszerezés segítségével kezelhető. Ez külön tudomány (szisztematika, taxonómia), amelynek szemléletmódja szükséges az életműködések, az élőlény és a környezet kapcsolatrendszere alapjainak megértéséhez. Ezt a biogenetikai alaptörvényt (ld. 1. fejezet) tiszteletben tartó *összehasonlító szervezettan* biztosítja legátfogóbban.

Az élővilág fő csoportjait a fotoautotróf növények, a tápcsatornával nem rendelkező heterotróf gombák és a tápcsatornával rendelkező állatok képezik. Jelentős még az egysejtű kemoautotróf, parazita, szaprofiton prokarióta, növényi és állati sajátosságokkal egyaránt rendelkező protiszta (véglény) szervezetek száma, a vírusok és egyéb – hozzájuk hasonlóan – a sejttanyagcsere megváltoztatására képes makromolekuláris nagyságrendű tényezők halmaza. Az áttekintés az alábbi két fő irányban a legegyszerűbb.

Az életjelenségek: az anyagcsere, a növekedés, a fejlődés, az ingerlékenység, a mozgás, a szaporodás, a regeneráció, az öröklékenység és változékonyság, és a halál. A legfontosabb életjelenség az anyagcsere. A felhasználható táplálék alapján a növények és állatok világa autotróf, heterotróf és mixotróf élőlényekre osztható.

7.1 Autotróf és tápcsatorna nélküli heterotróf szervezetek

7.1.1 Prokarioták

Foto- és kemoautotróf, szaprofiton és parazita, valódi sejtmaggal nem rendelkező egysejtű vagy kolonizáló, telepes szervezetek. További jellemzőik az 1. rész 3.2.4. és a 2. rész 1.2.2.1. valamint 2.3. fejezetben olvashatók.

7.1.2 Eukarioták

7.1.2.1 Egysejtűek és sejthalmazosok

Ebbe a körbe elsősorban a moszatok (algák) képviselői tartoznak (pl. zöldmoszatok, ostoros moszatok, barázdás moszatok, kovamoszatok). Az egyféle magvúakhoz tartoznak az ostoros egysejtűek és az amőbák, a kétféle magvúakhoz a csillósok, pl. a papucsállatka. Valamennyi sejt minden egyes életfunkció elvégzésére képes. Így van ez a sejtjei között bizonyos működésmegosztást mutató gömbmoszatnál (*Volvox globator*) is: a felületi sejtek elsősorban fotoszintetizálnak, és ostorokkal rendelkeznek (biztosítják a kolónia aktív, helyváltoztató mozgását), míg a belső sejtekre osztódás (a kolónia növelése) jellemző. Az állatvilágban a szedercsíraszerűekre jellemző a sejthalmazos szerveződés.

Az ostoros moszatok abban a tekintetben különlegesek, hogy bizonyos – állatvilágra jellemző – tulajdonságokkal is rendelkeznek: heterotróf táplálkozás (sejtszájadék, emésztő- és lüktető vakuolum, fényérzékelő organellum, myonema fonal („sejtizom”) stb. Mozgásuk inger (pl. fény) által irányított helyváltoztatás.

7.1.2.2 Telepesek

Fonalas telep – az osztódó sejtek a tér egy irányában (dimenziójában), harántfalaik mentén összetapadva hosszú szálak képeznek (pl. „békanyál” zöldmoszat), amelyekben némileg eltérő alakú és specializálódott sejtek (heterociszták – kékbaktériumoknál) vagy rögzítést szolgáló alapi és osztódó csúcsi sejtek (egyes zöldmoszatoknál) is lehetnek.

Lemezes telep – a tér két irányában differenciálódva a sejtek haránt- és hosszanti falaikkal is összetapadnak (pl. „tengeri saláták”, zöld-, vörös- és barnamoszatok).

Elágazó telep – a zöld moszatok körébe tartozó csillárkamoszatok örvös testszerveződése.

Szövedék telep – a gombafonalak (hifák) szövedéket (micéliumot) képeznek, amely jellegzetes termőtestekké szerveződhet (pl. termőtestes gombák: csészegombák, pöfetegek, kalaposgombák). A hifákat alkotó sejtek magállapota illetve kromoszómaszáma a faj életciklusától függően változik. A haploid (meio-)spórákból kicsírázó fonalak haploid kromoszómaszámúak. A különböző ivari jellegű sejtek plazmájának összeolvadása révén (plazmogámia) kezdetben magpáros hifák keletkeznek, majd azt hosszabb-rövidebb fejlődési szakasz után a sejtmagvak összeolvadása (kariogámia) is követi. Újabb spórák ezek redukciós magosztódásával képződnek. A gombaszövedék a zuzmók esetében növekedésükben és szaporodásukban gátolt moszatsejteket is tartalmaz.

Teleptest – a lombosmohák gyökérszerű, szárszerű és levélszerű képletekké szerveződő, és a májmohák kevésbé, háti-hasi differenciálódású telepe. A felületen gázcserekapuk, belül vízszállító sejtek emlékeztetnek a magasabbrendű növényeknél analóg légrésekre (sztómákra) és szállítónyalábokra. A mohák haploid (ld.: 3.2.4.3. fejezet) spóráiból képződő előtelepek gamétákat (ivarsejteket) termelő szerveket hoznak létre, majd a megtemékenyített petesejtéből diploid telep – a közismert mohanövényke fejlődik ki, amelynek nincsenek szövetei, és spóratartóiból kiszabadulnak a redukciós magosztódással keletkezett spórák; és az egyedfejlődési ciklus újraindul.

7.1.2.3 Szövetesek

A szöveteket diploid sejtek építik fel. A harasztok törzsébe tartozó növények egyedfejlődési ciklusára az jellemző, hogy a haploid telep és a diploid – gyökérre, szárra és levélre tagolódó – test egyaránt fotoautotróf asszimilációra képes.

A virágos- (másnéven magvas-) növényeknek ivaros szaporodást és elterjesztést szolgáló szervei a virágok és a magvak (termések) az élővilágban egyedülállóak. Haploid egyedfejlődési fázisuk a virágban a női embriózsákra és a hím pollenszemre (azaz + és > gametofitonokra) korlátozódik, amelyek létét a gyökérre, szárra, levélre és virágra tagolódó, az egyedfejlődés során domináló, diploid, szövetes sporofiton fotoautotróf anyagsere-folyamatai biztosítják.

7.2 Tápcsatornával rendelkező heterotróf szervezetek

A szivacsok vízben élő, igen primitív soksejtű állati szervezetek. A külső és a belső csíralemezből nem alakultak ki valódi szöveteik. Az ősbélüregget galléros-ostoros sejtek borítják, amelyek a pórusokon át beáramló vizet a kivezető nyílás (az összajnyílás) felé továbbítják, és a tápanyagfelvételt végzik.

A csalánozók testüreg nélküli, valódi szövetes állatok. A külső és a belső csíralemez között sejt nélküli kocsonyás lemez van. Polip és medúza alakjaik ismertek, valódi ideg- és izomelemeik vannak (diffúz idegrendszer, illetve hámizom sejtek).

A testüreges állatokat a külső és a belső csíralemez szövetei közötti testüreg jellemzi. A bordásmedúzáknek elsődleges testürege van. A laposférgek belső csíralemeze (tulajdonképpen elő- és középbélre tagolódó ősbélürege) gazdagon elágazik. Testüregükben megjelennek a középső csíralemez kezdeményei (örvényférgek, szívóférgek – pl. májmétely, galandférgek). A hengeresférgek bélcsöve az utóbél kialakulása révén tápcsatorna, amelynek ürege gyakorlatilag megegyezik a külvilággal. Az összajúakban a bélcsíra eredeti nyílása (az összaj) marad a szájnnyílás, és vele szemben a második betűródés lesz a három részre tagolódó bélcső (elő-, közép- és utóbél) végbélnyílása. A gyűrűsférgek teste szelvényezett, szabályosan ismétlődő kopolyúkkal, tapogatókkal, csonklábakkal, idegdúcokkal és vesécskékkal. Testüregük másodlagos, mert teljes egészében a középső csíralemez, a mezoderma határolja, de úgy, hogy szűk üregek maradnak vissza, amelyek a véredényrendszert képezik (gyűrűsférgek, piócák).

Az ízeltlábúak az állatvilág fajokban és példányszámban egyaránt leggazdagabb törzse. Testük szelvényezett, de jól elkülönülő testtájakra tagolódik – rákok és pókszabásúak: fejtor és potroh, rovarok: fej, tor, potroh. Kültakarójuk kitin-kutikula. Ízekből felépülő végtagjaik belső izomzattal rendelkeznek. A rovarszárny kitinfüggelék. Keringési rendszerük nyílt. Külső és belső felépítésük az élet- és a táplálkozási módoknak megfelelően igen változatos. Dúccidegrendszerük szociális magatartás típusok kialakulását is lehetővé teszi (termeszek, hangyák, darazsak, méhek). Legismertebb csoportjaik – rákok: alacsonyabbrendűek (pl. vizibolhák), tízlábúak (pl. folyami rák); rovarok: kérészek, szitakötők, egyszárnyúak, bogarak, lepkék, kétszárnyúak, hártványászárnyúak; pókszabásúak: atkák, skorpiók, pókok.

A puhatestűek nem szelvényezett teste fejre, lábra, köpenyre és zsigerzacskóra tagolódik. A kagylók és csigák testét mészváz védi. A kagylók feje elcsökevényesedett, a

lábfejűeké (kalmár, polip) összenőtt a lábbal. Mozgásszervük erőteljes bőrizomtömlő. Dúcidegrendszerük fejlett, erősen központosult.

Az újszájúak eredeti összajnyílása elzáródott vagy végbélnyílásként működik, és a bélcsíra második betűródése tölti be a szájníylás (az újszáj) szerepét. Az alsugaras szimmetriájú tüskésbőrűek hám alatti vázzal és vízédényrendszerrel rendelkeznek (tengeri lilimok, tengeri sünök, tengeri csillagok).

A félgerinchúrosoknak (makkférgek) gerinchúrra jellemző szövete, csőidegrendszere és előbél eredetű légzőszerve van. Az előgerinchúrosokat (tengeri zsákállatok) egyedfejlődésük egyik szakaszában egész testükön végighúzódó tengelyváz jellemzi. A félgerinchúros lándzsahalat belső szelvényezettség jellemzi, egész testen végighúzódó gerinchúrja, porcos vagy csontos váza, csőidegrendszere elülső végén differenciálódó valódi agya, és valódi szive van.

A gerincesek csőidegrendszere a bélcsíra állapot végén megjelenő ektodermális velőbarázdára vezethető vissza, amely velőcsővé záródik, és a mezodermás gerinchúr fölé süllyed le. A velőcső két pólusa elzáródik, az elülsőn három egyszerű hólyag – a koponyaagy kezdeménye – szerveződik, az ezt követő cső a gerincvelő kezdeménye. A központi idegrendszer ide vezethető vissza. A gerinchúr elcsökevényesedik, a mezoderma lemezek a velőcső körül gerincoszlop illetve koponya csontrendszerévé záródnak. A hozzájuk csatlakozó vázizomzat szintén mezoderma eredetű, akár a zárt véredényrendszer.

A gerincesek törzsébe tartozik a halak, a kétéltűek, a hullók, a madarak és az emlősök osztálya. A ma élő gerincesek méreteik, táplálékigényeik, anatómiai, élettani, viselkedéstanai sajátosságaik alapján igen változatosak.

A halak vízi életmódot folytató gerincesek. Testalakuk változatos, fej, törzs és fark testtájakra tagolódnak. Mell- és hasúszóik páros végtagoknak tekinthetők, a mellső és az alsó függesztőöv csontjai kezdetlegesen. Vázrendszerük porcos vagy csontos: porcos halak (cápák, ráják, tokfélék), illetve csontos halak (édesvíziek a ponty-, keszeg-, csíkfélék, csuka, harcsa stb., tengeriek pl. hering- és tokfélék). A nyálkás kültakaró szaruképletei a pikklyek. Légzőszervük kopolyú, keringési rendszerük egy vérkörű, zárt; kétüregű szívvel. Az agy elő-, közti-, közép-, kis- és nyúltagyra tagolódnak. A látás (szem) és a helyzetérzékelés (belső fül, oldalvonal) fejlett, a kémiai érzékelés szerve a szaglógödör. Szaporodásuk külső megtermékenyítéssel (ívás; ikrás- és tejeshalak) történik.

A kétéltűek egyedfejlődése átalakulás, amely két fő szakaszra tagolódik. Lárvaalakjuk (az ebihal) vízben él, kifejlett alakjuk többé-kevésbé szárazföldi életmódra tér át. Farkos kétéltűek a gőték és szalamandrák, farkatlan kétéltűek a békák. Függesztőövük és végtagvázuk a szárazföldi gerincesekre jellemző. Bőrük mirigyekben igen gazdag, gyengén elszarusodó laphám. Az előbélből kitüremkedő páros tüdő mellett fontos a bőrlégzés. Két vérkör, három üregű szív, a vénás és az artériás vér keveredése jellemző a keringésükre. Testhőmérsékletük változó. Külső megtermékenyítéssel szaporodnak. Ragadozók.

A hüllők valódi szárazföldi gerincesek. Kültakarójuk igen erősen elszarusodik (pikkelyek, pajzsok), bőrlégzés nincs. Lábaik csak mászás közben emelik fel a testet a talajról. Mellkasuk zárt, a kígyók kivételével, amelyek lábatlanok is. A teknősök hát- és haspáncélja szorosan összenő a vázrendszerrel. Ide tartoznak még a gyíkok és a krokodilok. A tüdő szivacsos állományú, a szív négyüregűvé válik. A krokodiloknál a két vérkör elkülönülése tökéletes. Belső megtermékenyítés, tojásrakás, közvetlen fejlődés jellemző rájuk. Többségük ragadozó.

A madarak testét szaruképletek, vagyis tollak, a lábakon pikkelyek fedik. A csőr az állkapcsokat borító szarukáva. A mellső végtag szárnyá módosul. A repülni nem képes madarak szegycsontja lapos (pl. kivi, nandu, strucc, emu). A repülő madarak szegycsonti teréjához erős mellizomzat kapcsolódik. („Vízben repülő” madarak a pingvinek.) A repülő életmódra jellemző a légzsákokkal kiegészülő, hajszálcsöves, kettős átszellőződésű tüdő is. Állandó testhőmérsékletűek. A kis- és nagyagy, a látás, az egyensúly- és helyzetérzékelés igen fejlett. Belső megtermékenyítéssel szaporodnak, tojásrakók. Gyakori az ivadékgondozás, a fiókák esetenként fészekhagyóak. Életmód és táplálkozás tekintetében nagyon változatosak, minderről csőr- és lábtípusaik szemléletesen tanuskodnak (pl. gázlók, úszólábúak, lemezes-, horgas-, kúp- és árcsőrűek, nappali- és éjjeli ragadozók, énekesek, tyúkidomúak).

Az emlősök többrétegű, mirigyos, elszarusodó laphámját szőrzet borítja. Kiemelkedő jelentőségűek a tejmirigyek. Állkapcsaikban a fogak mederben ülnek, amelyek száma és alakja – a tápcsatorna felépítéséhez hasonlóan – és táplálkozásra jellemző. Idegrendszerük igen fejlett, nagyagykérgük mai ismereteink szerint a legbonyolultabb felépítésű és működésű az élővilágban. Végtagjaik járólábak, amelyek az életmódra jellemző módon alakultak. Elsősorban szárazföldi, ritkán vízi (fókák, cetek) vagy repülő (denevérek) életmódot folytatnak. A méhlepény nélküliek tojásrakók (hangyászün, kacsacsőrű emlős) vagy erszényesek (pl. kenguru). A méhlepényeseknél az anya és a magzat szervezete között igen szoros anyagcsere

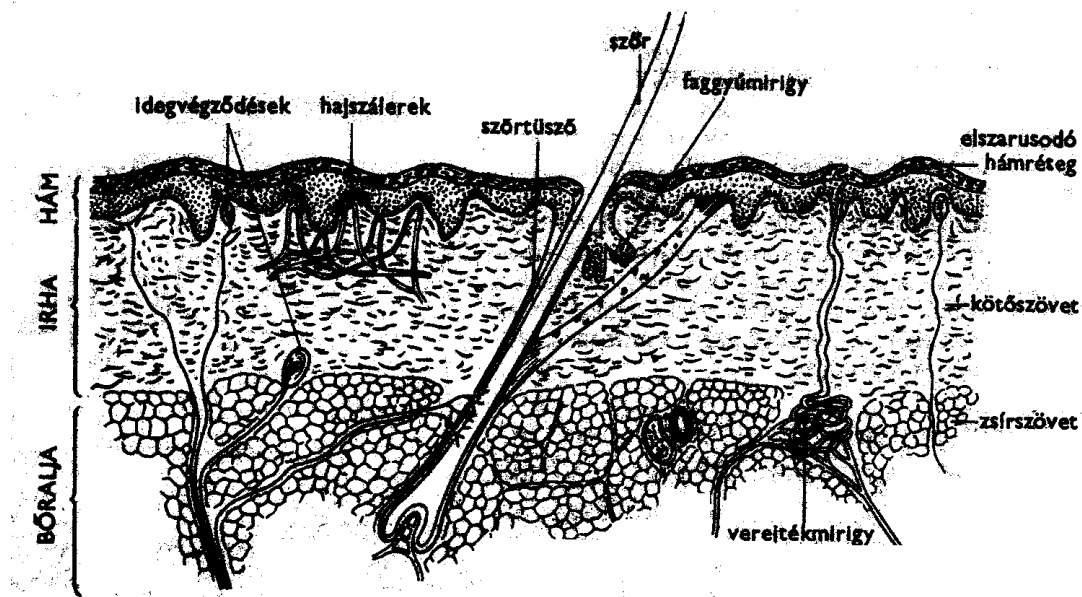
kapcsolat van. Főbb csoportjaik: rovarévők, rágcsálók, ragadozók, ormányosok, páros és páratlan ujjú patás növényevők, főemlősök (félmajmok, majmok, emberszabásúak).

8 Önfenntartás

8.1 Kapcsolat és elkülönülés

8.1.1 Kültakaró

A környezettel összekapcsoló és attól elhatároló felületet a magasabbrendű növényeknél a bőrszövetrendszer, az állatoknál a hámszövetek alkotják. Az állati kültakaró legdifferenciáltabb formája az elszarusodó, többrétegű laphám, amelyben a külvilág ingereinek felfogására alkalmas érző ideg-végkészülékek vannak.



50. ábra Az emlősbőr keresztmetszete

Az emlősök bőre a hám- és irha rétegből, továbbá a bőraljából áll. (51. ábra) A hám elszarusodása és kopása, vedlése erősen függ a fajtól és az igénybevételtől. A száraz, elszarusodó réteg a testnedvek párologtatását lassítja, véd a szervezetet a kémiai és bakteriális hatásoktól, gombafertőzésektől. Sajátos mikroflórának biztosít élőhelyet. A felhám jelegzetes származéka a szőr. Erős napsugárzással szemben a hám pigmenttermeléssel védekezik. Sejtjei az alatta levő rétegekből diffúzió útján kapják a tápanyagokat. Az irha sűrű, rostos kötőszövet, amely a bőr rugalmasságát biztosítja. Idegvégződéseken és erekben gazdag. A szervezet hőszabályozásában az erek tágasságának és a verejtékmirigyek váladékának elpárologtatásával játszik szerepet. A szőrtüszőkbe faggyúmirigyek nyílnak. A tejmirigyek módosult

verejtékmirigyek, amelyek a has középvonalának mentén fejlődnek, és az emlősök utódgondozását szolgálják. A bőralja laza, zsíros kötőszövet, mechanikai védő-, és tápanyagraktározó szerepe van (zsírpárnák).

Az emlősök ujjvégeit jellegzetes szaruképződmények védik: köröm, karom, pata.

A külvilággal való kapcsolat a bélüreg, a bélcső, a légzési szervek belső hámjain keresztül is biztosítva van. A bélcsatorna hámszövetsejtjeinek felületét sejtplazma kitüremkedések, mikrobolyhok növelik, hatékonyabbá téve a tápanyagfelszívó képességet. A légcső hengerhámjának csillói összerendezett mozgásukkal képesek kifelé elmozdítani a szennyeződések.

8.1.2 Az immunrendszer

Az idegen eredetű makromolekulákat a szervezet képes megkülönböztetni a saját testét felépítőktől. A táplálkozással felvett makromolekulákat az emésztő enzimek kis molekulájú egységekre bontják, amelyekből a szervezet felépíti saját makromolekuláit. Az egyéb testidegen makromolekulák (az antigének) ellen immunrendszerrel védekezik a szervezet. Ennek lényeges elemei a fehérvérsejtek, amelyek elnevezése alak- és mozgásbeli sajátosságaik, szemcsetartalmuk, festődésük és keletkezési helyük alapján történik. A vörös csontvelőben képződő granulocita és monocita fehérvérsejtek amöboid mozgással és endocitózissal (ld.: 3.2.7.1. ábra, 8.4.2.3. fejezet) bekebelezik majd lebontják a baktériumokat és egyéb idegen anyagokat. A test sérülése, fertőzése helyén keletkező genny az összegyűlt és elpusztult fehérvérsejtek tömege. A limfociták a nyirokszervekben kialakuló, egy-egy idegen anyag felismerésére és hatástalanítására specializálódott fehérvérsejtek. Az immunitás (mentesség) ebben az értelmezésben védettséget jelent. A szervezet védettségét kiváltó idegen eredetű makromolekulákat immunogén anyagoknak nevezik.

A szervezet immunrendszerének az elemei a nyirokszervek: a csecsemőmirigy, a tápcsatorna nyirokképződményei (torok- és garatmandulák, feregnyúlvány, bélfal), amelyek nyiroktüszőiben alakulnak ki a csontvelő őssejtjeiből származó, immunogén anyagokra érzékeny limfociták. A sejtek közötti térben felgyülemelő szövetnedv a nyirok. A nyirok egy részét hajszálereken keresztül felvéve elszállítja a vérkeringés. A másik részt a nyirok hajszálerek vezetik el, és fokozatosan nagyobbodó nyirokereken keresztül a nyirokcsomókba kerül, és az azokból kilépő nyirokereken két fő nyirokvezetékbe torkollanak. Ezek továbbítják a nyirokot a vérkeringés mellkasi fő gyűjtőérébe. Az immunrendszer kiegészítő tagja és a

vérkeringésnek is aktív része a lép. Üregrendszerében nagyszámú limfocitát tartalmazó nyiroktüsző van, ugyanakkor tárolja a vér egy részét, és az előregedett vörösvértesetek lebontását végzi.

A csecsemőmirigyben képződő limfociták a „sejtes” immunogéneket (a baktériumokat és a vírusokat) észlelik, és azok váltanak ki belőlük immunválaszt, ugyanis találkozás után sejtmembránjaikba az immunogéneket felismerő fehérjék épülnek be. A megkötött immunogént a limfociták hatóanyagai elpusztítják. Ebben a monociták segítenek. Ez a folyamat a sejthez kötődő immunválasz.

A tápcsatorna nyirokképződményeiben kialakuló limfociták a testnedvekben oldott állapotban lévő immunogén anyagokat (antigéneket) észlelik. Ezek hatására a lépben és a nyirokcsomókban az immunogénekre ható ellenanyagokat termelő limfociták képződnek. Minden immunogén típusnak egy vagy több immunglobulin felel meg. Az immunglobulinok (antitest tulajdonsággal rendelkező szérumfehérjék heterogén csoportja) a vérrel eljutnak a szervezet minden részébe, az immunogénekkal reakcióba lépnek, amelyek ennek következtében megsemmisülnek és eltűnnek a szervezetből. Ez a folyamat az ellenanyaghoz kötődő immunválasz. – A limfociták átalakulása során memóriasejtek is képződnek, amelyek évek múltán is gyorsan aktiválódnak és immunválaszra képes limfocitákká szaporodnak szükség esetén. A szervezet így védetté válhat vírus- és baktérium-fertőzéssel szemben. A szervezet védettsége mesterséges úton, védőoltással is létrehozható, más szervezetben termelődött ellenanyagokat vagy legyengített, elölt kórokozót tartalmazó oltóanyaggal.

Az immunreakciók egyik jellemző példája az emberi A-, B-, AB-, 0- valamint Rh vércsoportok különbözősége. Az immunreakciók időszakos kiküszöbölése szervátültetés (transzplantáció) esetén szükséges. Ma az átültethető szervek iránti kereslet nagy, általában donorhiány van, kialakult a szervkereskedelem, a biomechanikai, biotronikai és kibernetikus protézisek fejlődési sebessége szédítő, egyre többet olvasni az ember számára immunológiai szempontból tökéletesen megfelelő szervdonor, a “minisertés” előállításának kísérleteiről.

8.2 Szervező szervrendszer

A szervező szervrendszer organizálja a vegetatív és a generatív szervrendszerek működését. A szervező szervrendszeren belül még további alá- és fölérendeltség, hierarchia jellemző, mert a belső elválasztású mirigyek az idegrendszer irányítása alatt állnak (pl.: mellékvesekéreg-működés neurohumorális szabályozása).

8.2.1 Ingerlékenység és mozgás

Az ingerlékenység, irritabilitás az élőlényeknek az a sajátossága, hogy a külső vagy belső ingerekre anyagcseréjük megváltoztatásával válaszolni képesek. Azt a leggyengébb ingert, amelyre az élőlény már válaszol, ingerküszöbnek nevezzük. Az ingerületi állapotra jellemző a "minden, vagy semmi törvénye", amely azt jelenti, hogy pl. egy izomsejt az inger hatására vagy teljesen összehúzódik, vagy egyáltalán nem.

8.2.2 Érzékszervek

A külvilág jelenségeiről (exterocepció), valamint a szervezetben bekövetkezett (interocepció) változásokról értesítik az idegrendszert. A befutó jelentéseket az agykéreg analizálja. Az analizátor részei: az érzékszerv, az érzékszerv idege, az érzékszerv pályája az idegrendszerben, és az idegrendszeri központ. Általános protoplazma ingerekkel, pl. az ütés, hő, elektromos áram stb., minden sejt ingerelhető. A receptorokban mindig az érzékszervnek megfelelő adekvát ingerület keletkezik (pl. szemet ért ütés esetén „csillagokat látni”).

Az öfenntartás nemcsak a külvilághoz való alkalmazkodást jelenti, hanem azt is, hogy az élőlény belső miliője is egyensúlyi állapotban, homeosztázisban (ld. 8.5. fejezet) legyen.

Inger	Receptorok	
	exteroceptor	interoceptor
Mechanikus:		
Nyomás-	bőr	
	tapintósejt	
	tapintóttest	
	végbunkó	
A vér nyomása		glomus caroticum
A vér ozmotikus nyomása		glomus caroticum
Rezgés (hangullámok)	fül (Corti-szerv)	
Nehézségi erő (elmozdulás)	fül (félkörös ívjáratok)	
Feszülés		izom-, ínorsók
Nyomásingadozás (víz – halaknál)	oldalvonal	
Termikus	bőr	
Hideg	Krause-test	
Meleg	Ruffini-test	
Vér hőmérséklete		hypothalamus
Kémiai		
Gáznemű anyagok	orr (szaglómező)	
Folyékony anyagok	száj (ízlelőbimbók)	
Vér: CO ₂ -, O ₂ tartalma, pH-ja		glomus caroticum
Vér: cukor-, aminosavtartalma		hypothalamus
Foto-	szem (csapok és pálcikák)	

8.2.3 Külső és belső elválasztású mirigyek

A mirigyhámok váladéktermelésre szakosodott szövetek. A külső elválasztású mirigyek a váladéktermeléshez szükséges alapanyagot a vérből kapják. Két fő részből állnak: a váladékot termelő, egyszerű vagy összetett végkamrából és a kivezető csőből, amely a végkamrák váladékát valamilyen felszínre üríti (pl. könny-, nyál-, izzadságmirigyek). Feladatuk többféle: folyadék- és sókiválasztás, felület nedvesítése, védelem. A belső elválasztású (endokrin) mirigyek szerepe más. Váladékaikat hormonoknak (görög: serkentés) nevezzük. Nincs kivezetőcsövük, és váladékukat közvetlenül a vérbe (testfolyadékba) juttatják. A hormonok a véráram útján a hatás helyére eljutva bizonyos célszervek egyes tevékenységét vagy más belsőelválasztású mirigyek működését szabályozzák.

A *sejthormon* abban a sejtben hat, ahol képződik. Ide tartoznak az egysejtűek sejthormonjai (acetilkolin, adrenalin, kolin) és a „neurohormonok” - az idegsejtek hormon termelő (neuroszekréción) tevékenysége során képződött anyagok.

A *szöveti hormonok* szintén specializálódott sejtekben termelődnek, pl. a gasztrointesztinális (tápcsatorna) hormon, a villikinin. A *mediátor anyagok* azonnal és közvetlenül hatnak a környező sejtekre, pl. az ún. hízósejtek és bazofil granulociták szívritmust fokozó hisztamint, símaizomzat összehúzódását serkentő szerotonint és váralvadást gátló heparint termelnek.

Glanduláris hormonok az endokrin mirigyek váladékai (lásd táblázat).

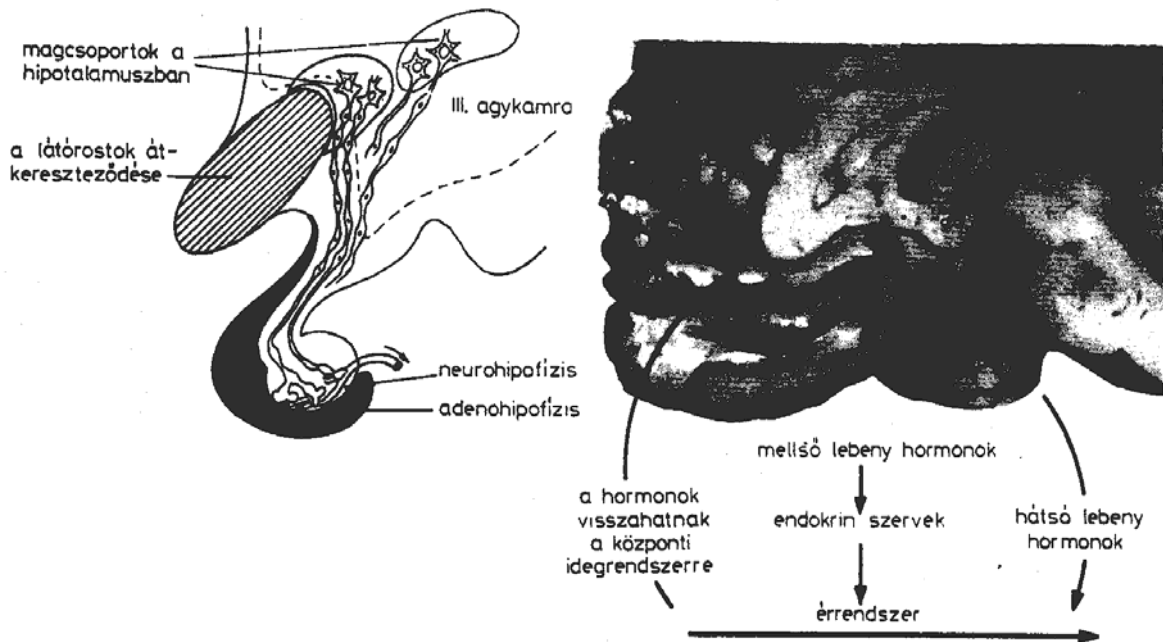
Exohormonok, feromonok a rovarok által termelt illékony váladékok, amelyek alacsony koncentrációban is hatékonyak (vonzóak vagy riasztóak), és rovarok szexuális viselkedésének kialakításában, szociális életének szervezésében (pl. méhek, hangyák, termeszek) játszanak szerepet.

A rovarok „endokrin mirigyének” váladékai pl. a vedlést elindító „vedlési hormon” (ecdyson) és a növekedési- (juvenil) hormon. A gerincesek osztályaiba tartozó fajok hormonjai egymásnak általánosan megfelelőek. Kivétel a *bursa Fabricii* mirigy által termelt hormon, amely kizárólag a madarakban található meg.

Az állati hormonok kémiai összetétel szerinti csoportosítása: α) proteo- és peptidhormonok (inzulin, glukagon, idegi és szöveti hormonok); β) aminosav-származékok (adrenalin, noradrenalin, tiroxin, trijód-tironin); γ) izoprén-származékok (rovar juvenil-hormon); δ) szteroidok (gerincesek mellékvesekéreg- és ivari hormonjai).

8.2.3.1 A neurohormonális rendszer

A hormonok a genetikai információk megvalósítását szabályozzák. Valószínűleg a sejtmembránok permeabilitása mellett az enzimrendszerek befolyásolásával fejtik ki hatásukat az anyag- és energiaforgalomra anélkül, hogy abban közvetlenül részt vennének. A pajzsmirigyhormon például 13 különböző enzimrendszert befolyásol az enzimszintézis és enzimaktiválás formájában.



51. ábra Az idegi és hormonális szabályozás kapcsolata: a hipotalamusz - hipofízis-rendszer

A rovarok és a gerincesek hormonrendszerében az idegi szabályozás mellett háromlépcsős hierarchia ismerhető fel. Az endokrin- és az idegrendszer közötti „láncszem” a közti agy része, a hipotalamusz (a vegetatív működések szabályozó központja), amelynek egyes sejtjei a gerinctelenekhez hasonlóan szekréciós sajátosságokkal rendelkeznek. A közti agyat nyél köti össze az agyalapi miriggyel (hipofízis), amin át idegrost-köteg nyomul a mirigy hátsó lebenyébe. Ez a köteg főleg a közti agy két dúcának rostjait, valamint a hipotalamusz nagyméretű neuroszekréciós sejtjeinek vazopresszin (ADH) és oxitocin tartalmú váladékát viszi a hátsó lebenybe, ahol azok átmenetileg raktározódnak. Az agyalapi mirigyben számos olyan hormon termelődik, amelyek további belsőelválasztású mirigyek hormontermelő sejtjeire hatnak. (52. ábra) Az agyalapi mirigytől függetlenül működnek azonban a mellékpajzsmirigy és a hasnyálmirigy hormontermelő sejtjei. (Ld. a Hormonok c. egyszerűsített táblázatot a 137. oldalon.)

A hipofízis összehangolja a belső elválasztású mirigyek rendszerének működését. Hátulsó lebenyében raktározódnak a hipotalamusz hormonhatású váladékai. A „trop” (más belsőelválasztású mirigyek működésére ható) hormonokat termelő elülső lebeny beidegzése szegényes, de érellátása nagyon sajátos és bőséges. Az erek a nyélben a közti agyból jövő idegrostköteg közelében futnak, itt történik a szekrétaum és egyéb, közti agy – hipotalamusz kisméretű neuroszekréciós sejtjei - által termelt serkentő és gátló anyagok leadása a rostokból a vérbe, és onnan az elülső lebenybe. Az idegrendszer a belső elválasztású mirigyek vezérlését neuroszekrétaumok és egyéb közvetítő anyagok beiktatásával, a hipofízis portális keringése útján, tehát humorális (hormonális) úton irányítja. A visszajelentés szintén humorális úton érvényesül.

A neuro-hormonális szabályozásban érvényesülő alapelvek továbbá:

- szubsztrátum-koncentráció szabályozza a hormonszintet;
- a hormonok integratív hatásmechanizmus tagjai;
- kettős biztosítás: a hormontermelő mirigyek aktivitását ideg- és vérpályák is biztosítják;
- kettős fék (kétgyeplő) elv: a hormontermelő mirigy aktivitása azonos szintre állítható be a szinergista (együttműködő) fokozott serkentő, vagy az antagonista (ellentétes) csökkentett gátló hatása alatt;
- visszacsatolás elve: egyrészt saját maguk jelentik a szabályozó nagyságot (pl. tiroxin, amelynél az anyagcsere folyamán való lebomlás új hormon termelésével egyenlítődik ki), másrészt “váltóállítók” (pl. az adrenalin anyagcsere szabályozó értéket a szervezet változó vércukor szükségletéhez a saját koncentráció ingadozásaival állítja be).

Hormonok

Endokrin mirigy	Hormon	Célszerv	Szabályozott tevékenység	"Mellék"-hatás
Hypophysis (hipofízis, agyalapi mirigy)				
neurohipofízis (HHL) (hátsó lebeny)	1. adiuretin (vazopresszin) 2. oxitocin	Vese Tejleadás, anyaméh simaizomzat	vízviasszívás fokozása	vérnyomás emelése
adenohipofízis (HEL) (elülső lebeny)	1. növekedési (szomatotrop)* 2. nemi mirigyekre ható gonadotrop** a) FSH*** b) LH(ICSH) c) LTH 3. tireotrop 4. adrenokortikotrop (ACTH)	Csontrendszer Petefészek, here Pajzsmirigy Mellékvese	növekedés tüszőérés-stimulálás sárgatest-érlelés sárgatest fenntartás	anyagcsere-serkentés tejelválasztás
(középső lebeny)	5. intermedin 6. laktotrop	Emlő	tiroxin termelés kéregállomány stimulus pigmentháztartás tejtermelés	növekedés hőszabályozás
Glandula thyreoidea (pajzsmirigy)	1. tiroxin		anyagcsere intenzitás	
Glandula parathyreoidea (mellék-pajzsmirigy)	1. parathormon	Csontrendszer vese	Ca, P anyagcsere	
Glandula suprarenalis (mellékvese) - kéreg (szteránvázas vegyületek)	1. mineralo-kortikoid 2. glükokortikoid	Vese	só-, víz-háztartás szénhidrát-háztartás szimpatikus idegrendszerhez hasonló	gyulladáscsökkentés, stressz
- velő	(3. androgén h. - enyhe nemihormon-hatás) 4. adrenalin 5. nor-adrenalin	(nemi szervek)	vérnyomás-emelés	(másodlagos nemi bélyeg)
Langerhans-szigetek (hasnyál-mirigyben)	1. inzulin 2. glükagon	Máj	vércukor-csökkentés vércukor-emelés	
Ivarmirigyek (Gonad)	♂ tesztoszteron ♀ ösztadiol (tüszősejtek) progeszteron (sárgatest)	Ivarszervek Másodl. nemi jelleg Terhességfenntartó	szexualitás	

* A "trop" hormonok neve a trophos=táplálni szóból és nem a trop=tropizmus szóból származik.

** A gonadotrop és nemi hormonok hatásáról a "Szaporodás" fejezetben bővebben lesz szó.

*** FSH=follikululus stimuláló hormon a hímekben a spermiogenezist serkenti, LH=luteinizáló hormon hímekben az ICSH-val megegyezően működik.

ICSH = intersticiális sejteket serkentő hormon, LTH=luteotrop hormon, ACTH=adrenokortikotrop hormon,

ADH=antidiuretikus hormon.

A tobozmirigy (epiphysis) és a csecsemőmirigy (thymus) hormonjait és azok hatásait még nem ismerik eléggé.

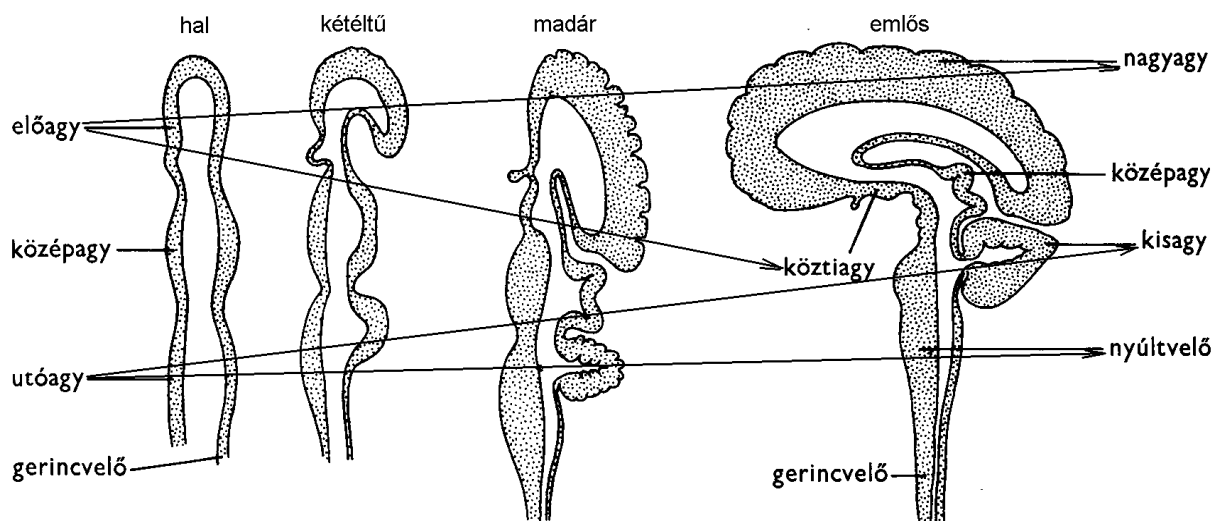
8.2.4 Idegrendszer

Az idegrendszer működésének alapját a visszajelentő szakasszal kiegészült reflexív, más kifejezéssel reflexgyűrű alkotja.

A reflexkör két fő típusa:

- a receptor és az effektor ugyanabban a szervben van (pl. térdkalács reflex, 48. ábra)
- a receptor és az effektor más-más szervben van (pl. hasreflex).

Az ingerlékenység és ingerületvezetés többé-kevésbé minden sejt sajátossága, így az egyséjtűeké is. Az idegrendszer legelső megnyilvánulási formája a szivacsok póruszáró sejtjei. A csalánzóokban elkülönültek az izom- és idegsejtek (diffúz idegrendszer). A férgek, ízeltlábúak és puhatestűek szervezetében dúcokból álló központi, és kötegek hálózatából álló környéki idegrendszer jellemző. Gerinceseknél a dúc idegrendszert cső idegrendszer váltotta fel, amely a hasi oldalról a háti oldalra került, és központi része a gerinc- és a koponyaagy.

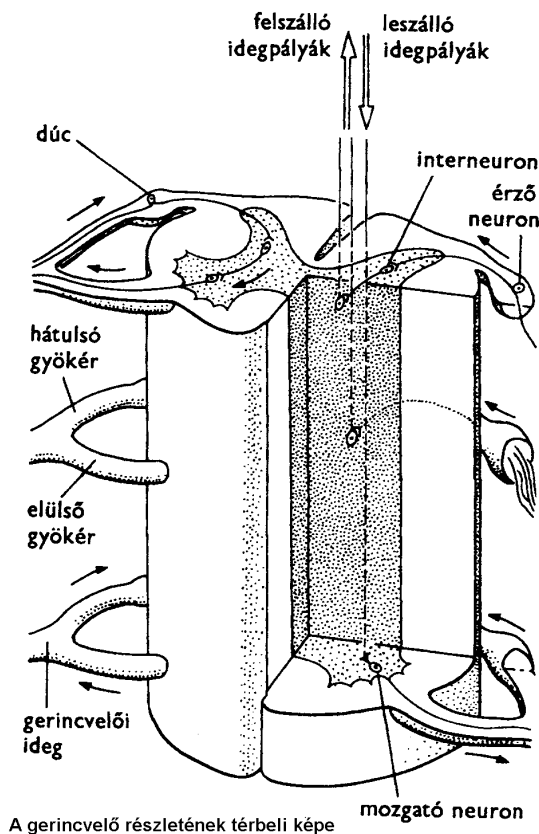
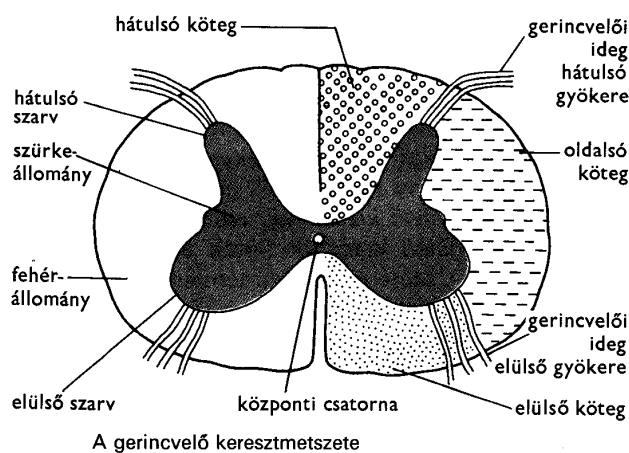


52. ábra A különböző agyrészek differenciálódása a gerincesek osztályaiban

A gerinchúr fölött az ektoderma először lemezt képez (velőlemez), a lemez barázdává mélyül (velőbarázda), a barázda csővé (velőcső) zárult, és az ektoderma alá fűződik. (v.ö.: 7.2. fejezet) A lándzsahalakban a velőcső előre túlnövi a gerinchúrt. Az agyvelőnek a gerincvelő folytatásába eső tengelyi része az agytörzs, amelynek legelső része a nyúltvelő, majd azt felfelé a híd és a középagy követi. (53. ábra)

Az egyes állatfajok agyának tömege a testtömeghez viszonyítva igen különbözően aránylik: ponty 1:860, béka 1:400, galamb 1:150, ló 1:500, juh 1:377, macska 1:128, patkány 1:130, gorilla 1:213, orángután 1:150, csimpánz 1:61, ember 1: 41. A neurológusok becslése

szerint az emberi agy kapacitásának csupán három-négy százaléka van kihasználva. A művelődéstörténészek azt állítják, hogy az evolúció egy olyan szervvel ajándékozta meg az embert, amely anatómiai értelemben az elmúlt százezer évben nem változott, és amelyet az képtelen megfelelően hasznosítani. A gondolkodás történetét áttekintve, valószínűleg ezzel magyarázható az emberiség tudáskincsének szabálytalan ugrásokban végbemenő, alapvetően irracionális fejlődése. Ha ugyanis a fejlődés folyamatos és szerves lett volna, akkor például ami ma a számelméletről és az analitikus geometriáról tudott, azt az Euklidészt követő néhány nemzedéken belül felfedezhették volna (KOESTLER).



54. ábra A gerincvelő szerkezete

A szürke színű idegsejtek alkotják a nagyagy és a kisagy kérgét (cortex), valamint a gerincvelő H-betűhöz hasonló alakú szürkeállományát. A gerinci szürkeállomány elülső szarvában vannak a gerincvelő mozgató, hátulsó szarvában az átkapcsoló neuronok. Az érző neuronok sejttestei a csigolyák közötti dúcban (ganglion spinale) foglalnak helyet. (54. ábra) Az agytörzsben a gerincvelő szürkeállományának szerkezete módosul, helyette idegrostkötegekkel elválasztott neuroncsoportok találhatóak benne. A kisagy az agytörzs mögött helyezkedik el, szerepe a mozgások összerendezésében van. A közti agy "magjai" idegsejtek tömörülései. A közti agy két fontos szabályozó területe a talamusz és a hipotalamusz. Az agytörzsi *formatio reticularis*ban a szürke- és a fehérállomány egymással váltakozva hálózatot képez. Ez a terület a központja az agyvelő spontán kezdeményező tevékenységének, egy sor vegetatív tevékenységnek, de egyben szerepet játszik a viselkedésben, emlékezésben, befolyásolja az agykéreg tevékenységét is stb.

Az emberi agyvelő legnagyobb részét a nagyagy teszi ki. Két féltekéje homlok, halánték, nyakszirt és fali lebenyekre osztható. A fehérállomány az idegrostokat tartalmazza. Az azonos tevékenységet ellátó idegek rostjai pályákat alkotnak.

1. Vetületi, projektív pályák

- felszálló, érző, hírvivő, afferens (beszállító, közelítő) rostok, amelyek a gerincvelőből vagy mélyebben fekvő agyrészletek felől hozzák az agykéregbe az információkat;
- a leszálló, mozgató, parancsvivő, efferens (elszállító, távolító) rostok az agykéreg parancsait viszik a mélyebben fekvő agyrészletekbe vagy a gerincvelőbe.

2. Az összekötő, komisszurális pályák a kétoldali félteke azonos pontjait kötik össze egymással.

3. Társító, asszociatív pályák, amelyek ugyanazon félteke hasonló működésű pontjait kötik össze egymással.

Ez a pályarendszer az emberi agyvelőben a legfejlettebb, és részben ebből származik „főlénye” az élővilág fölött. Az agykéreg működési egységeit képező függőleges oszlopok hat-hat sejtrétegében mindhárom pályarendszer végállomásait képviselő idegsejtek között összeköttetés van, amely az idegrendszer legbonyolultabb organizációját is lehetővé teszi.

A környéki idegrendszerhez tartozik a 31 pár gerincvelői ideg. Mindegyikük hátulsó érző- és elülső mozgatógyökérrel lép ki a gerincvelőből, majd egyesülve kevert idegként

hálózzák be az egész testet. Az agyvelő alapi felszínéről kilépő agyidegek közül egyesek csak érző (látó, halló, szagló), mások csak mozgató (pl. szemmozgató), néhány mindkettőt tartalmazó ún. kevert ideg (pl. a belső szerveket behálózó bolygóideg).

Az idegrendszer "akaratlagos" (testi vagy szomatikus) és "akaratunktól független" (zsigeri vagy vegetatív) működéseket (érzés és mozgás) fejt ki. Az érzőidegeket szenzoros, a mozgatókat motoros idegeknek nevezik. Ezek részben a központi (centrális) idegrendszert és részben a környéki (perifériás) idegrendszert alkotják. A szomatikus idegrendszer az állat és környezete kapcsolatát biztosítja, a vegetatív idegrendszer viszont az állat szerveinek belső tevékenységét irányítja.

A vegetatív idegrendszer minden szervet ellát szimpatikus és paraszimpatikus idegrostokkal, de hol az egyik, hol a másik túlsúlya érvényesül attól függően, hogy a szervezet erőit kell-e serkenteni, vagy sem. A szomatikus és a vegetatív idegrendszer nem választható el egymástól. A vegetatív idegrendszer is az agykéreg befolyása alatt áll. A vegetatív reflexfolyamatok elsődleges központi irányítását a gerincvelő, az agytörzs és a köztiagy hipotalamusza végzi. A szimpatikus rendszer a szervezet tartalékait mozgósítja, a paraszimpatikus rendszer az energiakészletek helyreállításával összefüggő működéseket szabályozza.

8.2.4.1 Magasabb rendű idegtevékenység

A tudat a legfejlettebb szerveződésű élő anyagnak, az idegrendszernek – az agynak - a "terméke". A tudat tükrözi vissza a külvilág jelenségeit. Ez a "visszatükrözés" a megismeréssel kapcsolatos. A tudat aktivitása az alkalmazkodást szolgáló gondolkodásra, gyakorlati cselekvésekre vezet. (Ld.: 1.4. fejezet.)

A megismerés mértéke részben az idegrendszer, részben az analizátorok (érezkszervek) fejlettségi fokától függ. A szervezetből eredő ingerek az "én képzet" kialakítását teszik lehetővé.

A világ tükröződése az idegrendszerben az érzet, az ennek nyomán az agyban indukált változás, az átélt események nyoma a nagyagykéregben az *engram*, amelyből kialakul az észlelet. A régebbi észlelet földídezésekor jön létre a képzet.

A magasabbrendűek agykérgébe jutó ingerület először szétterjed (irradáció), majd egy viszonylag körülírt területre tömörül (koncentráció). Az érzet elemzése (analízis), esetleg a

több inger hatására létrejövő ingerület-összekapcsolás a (szintézis), a megismerés folyamatának részei.

A válaszadás és az alkalmazkodás mozgással jár. A mozgás az izomrendszer fejlettségétől, az izom- és idegrendszer kapcsolatától, valamint a visszacsatolás jelenlététől vagy hiányától függ.

Az állatvilág számára már a legfejlettebb emlősök esetében is a valóságot az érzékszervek agykérgi központjait érő ingerület jelei (valaminek látása, hallása, szaglása stb.) jelentik (első jelzőrendszer). Az első jelzőrendszer alapján képződő engramok rendkívül rövid ideig maradnak meg az állatok emlékezetében.

Az emberi beszéd a külvilág jelenségeit, tárgyait elnevezte, jelekkel helyettesítette, és az így kialakult második jelzőrendszer tette lehetővé az emberre jellemző elvont gondolkodást (absztrakt fogalomalkotás).

Az emberi emlékezet rövid időtartamú és hosszú időtartamú emlékezetből tevődik össze. Másodpercenként átlagosan 16 bitnyi információt tudunk fogadni, ezt 10 másodpercig őrizzük a rövid időtartamú emlékezetünkben, és ebből kb. 1/25-nyi rész raktározódik el az emlékkarchívumban (v.ö. 1.3. fejezet).

Az emberre nemcsak a második jelzőrendszer, a tanuláson alapuló automatizmusok jellemzők, hanem az intellektuális érzelmek kialakulása is. Az intellektuális érzelmek képezik az alapját azoknak az etikai, morális, esztétikai, szociális érzelmeknek, amelyek lehetővé teszik a társadalmi együttélést.

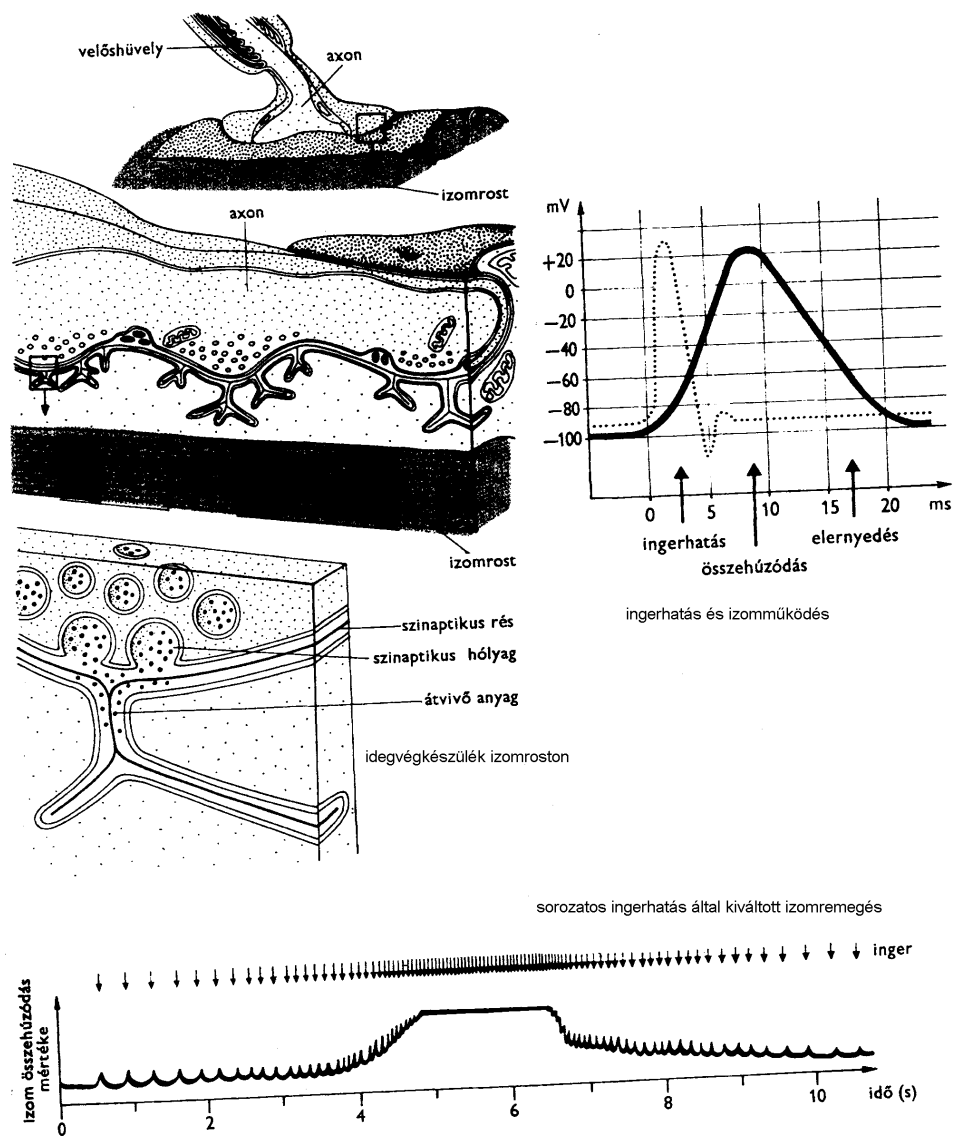
8.3 Mozgás

Az élőlények ingerre adott válasza leggyakrabban mozgásban nyilvánul meg. Ez lehet belső vagy külső, aktív vagy passzív, hely- vagy helyzetváltoztató. Az aktív mozgás a sejt anyagcseréjének megváltoztatásával jön létre.

A sejtek citoplazmájának áramlását ciklózisnak nevezzük. Az egyes sejtek külső aktív helyzet- vagy helyzetváltoztató mozgása mozgásszervekkel: állábakkal, csillókkal, ostorokkal, vagy összehúzódásra képes fehérjerostokkal jön létre.

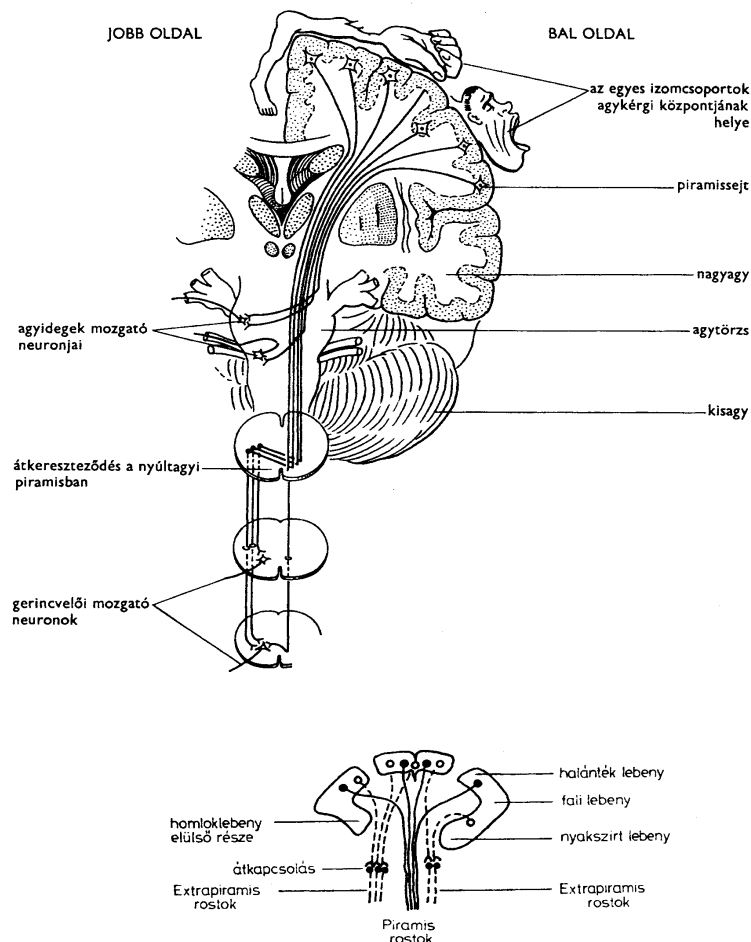
Az izommozgás a vázizomzat (harántcsíkolt-) és a zsigeri izomzat (símaizom) elemeinek összehangolt működésén alapul. Az izmok eredési és tapadási helyeken inak segítségével csatlakoznak a csontokhoz. Az izom fő működése az összehúzódás, amelynek

során megrövidül illetve megvastagodik, ezáltal két rögzülési pontja egymáshoz közeledik. A szervezet hőtermelésének fokozásában jelentős szerepe van az izomműködés fokozódásának. A fokozott izomtónus következtében kialakuló izomremegés (didergés) lényegében hőtermelő folyamat. Az izmok normál, éber állapotban sohasem ernyednek el teljesen. Bizonyos feszítettségi állapotuk mindig megfigyelhető, ez az izomtónus. Az egy ingerre adott izommozgás válasz a rángás, vagyis gyors összehúzódás és elernyedés. Az izom szakaszosan működik, vagyis az egymást követő ingerek rángások sorozatát váltják ki. Ha két inger közötti idő rövidül, az izom összehúzódtott állapotban marad, remeg. Ha az inger az előző inger által kiváltott rángás csúcspontjában éri az izmot, akkor az tartós összehúzótsági állapotba (tetanuszba – ld. hasonló hatást kiváltó bacillus neve) kerül. (55. ábra)



54. ábra Mozgató idegrost és harántcsíkolt izom közötti kapcsolat, az izom összehúzódása és a rángás diagramjai

Az izomtónus gerincvelőreflexen alapul (pl. térdreflex kiváltása, lásd: 48. ábra). A reflexes izom-összehúzódsok és elernyedések bonyolultabb, az agykéreg irányítása alá tartozó mozgási reakciók elemeiként szolgálnak. A mozgatópályák rostjai a homloklebeny hátulsó területén található agykérgi nagy piramisisejtekből indulnak. Lefutásuk alapján két nagy mozgatórendszert alkotnak. A piramisrendszer rostjainak többsége a nyúltvelő piramisában átkeresztelkedik. Tehát a test jobb oldalának mozgató beidegzése a bal oldali agyfélteke felől történik. A piramisrendszer az akaratlagos mozgások irányítója, a megtanult finom mozgások (pl. írás) gyors indítását, az ellentétes izmok összehangolását biztosítja. Az extrapiramidális rendszer pályái a nagyagy, a köztiagy, a kisagy és az agytörzsi hálózatos állomány neuroncsoportjaiban többszörösen átkapcsolódnak, és a nyúltvelő piramisát elkerülve érik el a gerincvelői mozgató idegsejteket. Az extrapiramidális rendszer irányítja a durvább mozgások, a betanult automatizmusok végrehajtását, az érzelmeket kifejező mozgásokat, és részt vesz az izomtónus szabályozásában. – A harmonikus mozgásokat a két rendszer működésének egysége biztosítja. (55. ábra)



55. ábra A nagyagykéreg mozgatóközpontjai, a piramis- és extrapiramidális pálya

A harántcsíkolt izmok összehúzódását a mozgató neuronoktól származó, a símaizmokét a vegetatív neuronok által szállított ingerület váltja ki. A szívizom összehúzódásához nem kell külső inger. A szív saját ingerképző központjai a szinuszcsomóba és a pitvar-kamrai csomóba tömörülő, kisméretű, spontán ingerképző izomsejtek.

8.3.1 Vázrendszer

Az ízeltlábúak külső, kitinkutikulából álló vázhoz belülről csatlakozó hajlító és feszítő izmokkal mozognak. A gerincesek belső váza csontokból, porcokból és kötőszöveti elemekből épül fel. A csontokat belső szivacsos, és külső tömör állomány alkotja, felszínüket erekben és idegekben gazdag kötőszövet, a csonthártya borítja, üregrendszerüket csontvelő tölti ki. A vér sejtjes elemei a vörös csontvelőben termelődnek. A csontok összeköttetése folyamatos (varratok és összenövések) vagy ízületi összekapcsolódás lehet (henger-, nyereg- és gömbízületek). A gerincoszlop a csontvázrendszer fő tengelye. A csontváz három nagy tája a fej, a törzs és a végtagok. A fej váza az arc- és az agykoponya, a törzsé a gerincoszlop és a mellkas. A végtagok a vállövvel és a medenceövvvel kapcsolódnak a törzshöz.

8.3.2 Izomzat

A gerincesek vázát mozgató vázizomzatot sokmagvú sejtekből álló izomrostok alkotják, amelyek központi részében található az összehúzódásra és elernyedésre képes fehérjeelemek. Az izmokat az általuk mozgott csontokkal ín – tömöttrostos kötőszövet – kapcsolja össze. A vázizmok gyors, nagyerejű összehúzódásra képesek, de viszonylag gyorsan fáradnak. Mozgásuk akaratlagosan irányítható, beidegzésük szomatikus jellegű.

A símaizmok a zsigeri szervek – pl. tápcsatorna, húgyivarszervek, légutak – falában fordulnak elő. Fáradás nélkül viszonylag hosszú ideig képesek összehúzódni, de lassan reagálnak, kis erő kifejtésére alkalmasak. Beidegzésük vegetatív, akaratlagosan nem mozgathatók általában. (v.ö.: 6.4.1.3. fejezet)

Az izmokat testtájanként (pl. felkar izmai, törzs izomzata, farizom, lábszár izmok), anatómiai sajátosságaik alapján (csuklyás izom, rekeszizom, kétfejű-, háromfejű izom, fűrészizom) vagy funkciójuk alapján (pl. fejbiccentő izom, hajlító izmok) különböztetjük meg.

8.4 Anyagforgalmi szervrendszer

Az anyagcsere helye a sejt. Az anyagoknak a sejtbe kerülése, illetve a sejtből kijutása az anyagforgalom. A külvilággal nem érintkező sejtek és szervek kapcsolatát egymással és a külső környezettel az anyagforgalmi szervrendszer biztosítja.

8.4.1 A fotoszintetizáló növények anyagforgalma

A zöld növényi sejtek különleges építő jellegű, energiaraktározó asszimilációs folyamata a fotoszintézis. A növények a szén-dioxidot a levegőből felvett szén-dioxid-molekulából, a hidrogént és oxigént a vízből, a többi elemet a talajból szerzik be. A fotoszintézis során elsősorban szénhidrátok, kisebb mennyiségben azonban fehérjék is keletkeznek. A növényi anyagforgalomnak jellegzetes szakasza a fotoszintézis, és az átépítési folyamatok során keletkezett asszimilátum elszállításának és raktározásának folyamata, valamint az anyagcsere káros közti termékeinek kiküszöbölése.

Az anyagcsere-termékek a növényi sejtek citoplazmájában zárványok, vakuólumok formájában raktározódhatnak. A klorofilltartalmú sejtekből az asszimilátum, különösen a szőlőcukor, oldott állapotban a levelekből a szállításra differenciálódott háncsszövet edénynyalábjain át a raktározó szervekbe jut, ahol keményítővé polimerizálódik, és a leukoplasztiszokban (színtelen színtestek) felhalmozódik.

A növényi sejtek káros anyagcsere-termékeit a sejt oldhatatlan formában kikristályosítja. A szükséges anyagok két úton jutnak el a növények sejtjeibe: a gázcserevel és az ún. transzspirációs áramlással. Ez utóbbin azt értjük, hogy az anyagcserehez szükséges tápsók a talaj vizében oldódnak, és mint meghatározott koncentrációjú sóoldat szívódnak át a növény testén. A gázcserét a levelek fonákján található két-két zárósejttel határolt légzőnyílások vagy sztómák bonyolítják le. A növényi szervezetekben az anyagforgalom fő lebonyolítója a szállítószövet edényei, a fűrészben levő tracheák és tracheidák, illetve a háncsrészben levő rostacsövek, rostasejtek. A növények „keringését” a vízforgalmat bonyolult, főleg ozmózisra és diffúzióra alapuló folyamatok, a felvevő gyökér, a szállító szár és a párologtató levél funkciói tartják fenn.

8.4.2 A heterotróf élőlények anyagforgalma

A felvett anyag eredete alapján a heterotróf élőlények növényevők (herbivora), húsevők (carnivora) vagy mindenevők (omnivora). A heterotróf élőlények lehetnek élősködők

(parazita) és korhadékfalók (szaprofita). A gombák tápcsatorna nélküli, az állatok tápcsatornával rendelkező heterotróf szervezetek.

Az állati sejtek anyagcseréjéhez tápanyagokra és oxigénre van szükség. Fontos az anyagcseretermékek eltávolítása, valamint a keletkezett széndioxid kiürítése a szervezetből. A soksejtűekben az anyagok felvételét és felszívását, a föl nem használható anyagok kiürítését bélsár formájában az emésztőrendszer végzi. Az anyagokat és az oxigént a sejtekhez – ha van – a keringés továbbítja. A légzőrendszer feladata az oxigén felvétele és a szén-dioxid leadása. A sejtektől a tüdőig a szén-dioxidot szintén a vér (testfolyadék) szállítja. Ugyancsak a vér útján jutnak el az anyagcsere sejtekben keletkezett “salakanyagai” a kiválasztószervig, a veséig.

Az egysejtű állatok tápanyagfelvétele különböző. Az amőbák a sejt egész felületén, bekebelezéssel veszik fel táplálékukat, és a salakanyag bárhol távozhat. A papucsállatka jól fejlett táplálkozási organellumokkal rendelkezik. A kiválasztás és az ozmoreguláció szerve a lüktető vakuólum.

8.4.2.1 Táplálkozási szervek

Az ősi többsejtű állatok ősbélüregre csak szájnyílással rendelkeznek. A szivacsok, csalánzók bélüregét borító hámsejtek az amőbákhoz hasonlóan fagocitálják (bekebelezik) a bélüregbe került táplálékot, és azt sejtjeiken belül emésztik meg (intracelluláris emésztés). A csalánzók a bélüregbe fehérjebontó enzimeket tartalmazó váladékot bocsátanak (sejteken kívüli emésztés). A bélüreg tartalmát a szivacsokban és a csalánzókban csillós sejtek csapkodása, a végbéllyílással rendelkező állatoknál a bőrízomtömlő préselő mozgása, majd később saját bélizomzat mozgása továbbítja. A hengeres férgek végbéllyílása van. Az élősködő bélférgek bélsatornája vakon végződik, és a táplálékot egész testfelszínükön képesek fölvenni.

Az elő-, közép- és utóbélből álló bélsatorna az ős- és az újszájúaknál egyaránt bonyolult. Az életforma és táplálkozásbeli sajátosságoknak megfelelően a táplálkozási szervek felépítése és működése nagyon változatos. Az alapelvek egységesek abban a tekintetben, hogy az emésztőváladékot termelő mirigyek (nyálmirigyek - szénhidrátbontó nyálamilázt, gyomornedvmirigyek – sósavat (pH \approx 2) és fehérjebontó pepszint, máj – zsírokat kolloidáló és zsírsavbontó enzimeket aktiváló epét, hasnyálmirigy – fehérjebontó tripszint) kivezető nyílásai nyílnak bele a tápcsatornába, melyeken keresztül bontó enzimek bele kerülnek a bélsatornába (extracelluláris emésztés), és ezek az enzimek a szénhidrátokat szőlőcukorrá, a fehérjéket aminosavakká, a zsírokat zsírsavvá és glicerinné, tehát faji jellegüket elvesztett kis

molekulákká bontják, melyek a bélcsatornából már minden további nélkül felszívódhatnak. A felszívódásra nem került anyagok távoznak a szervezetből. (Cellulózt hasznosító háziállataink az emésztőrendszerükben élő baktériumok segítségével bontatják a cellulózt.)

A szájüregben történik a tápanyag felaprítása, nyállal való keverése (a falat kialakítása). A nyelés során a nyelv a garat felé továbbítja a táplálékot, ahol a nyelés pillanatában a légyszájpadlás és a gégefedő elzárja a légcső felé vezető utat. A nyelőcső továbbító perisztaltikája (hullámszerűen végigfutó összehúzódása és elernyedése) a gyomorban erőteljes keverő mozgássá fokozódik. A vékonybél $0,5 \text{ m}^2$ -es sima felületét a hámsejtek felületéről kinyúló plazmafüggelékek 200 m^2 -esre növelik. A víz passzív transzportja mellett az ionok és a szerves építőegységek aktív transzport révén jutnak be a hajszálerekbe: a monoszacharidok a vér-, a zsírok a nyirokkeringés hajszálereibe. A vastagbél nem termel emésztőenzimeket, benne a víz és az ásványi sók felszívása, a salakanyag székké sűrítése történik.

8.4.2.2 Légzési szervek és a külső légzés

Az energiaforgalom alapvonásainak ismertetése során került megtárgyalásra a sejtlegzés (4.3. fejezet). A gerinceseknél a szervezet sejtjei és a tüdő között a gáztranszportot a vér látja el (belső légzés). A tüdőből a széndioxid leadása a légkörbe, és onnan az oxigén felvétele a légzőmozgások és a légzés szabályozása által valósul meg (külső légzés).

Az állati légzőszervek egyik típusa a szervezet egészét behálózó légjratok, légcsövek, a traheák hálózata. A vízben élő állatok kopoltyúja és a szárazföldön élők tüdeje dúsan erezett. A kétélűek tüdeje csak zsákszerű, fontos szerepe van gázcserejükben a bőrlégzésnek. A bordák, szegycsont és rekeszizom által zárt mellkas a krokodiloknál, a madaraknál és az emlősöknél fordul elő. A madarak tüdeje kivételesen nem alveoláris (léghólyagos), hanem kapilláris (léghajszálcsöves) felépítésű, továbbá a csontokba hatoló légzsákok kettős átszellőződést (hatékonyság!) és térfogattömeg csökkentést biztosítanak a repülő életmódhoz.

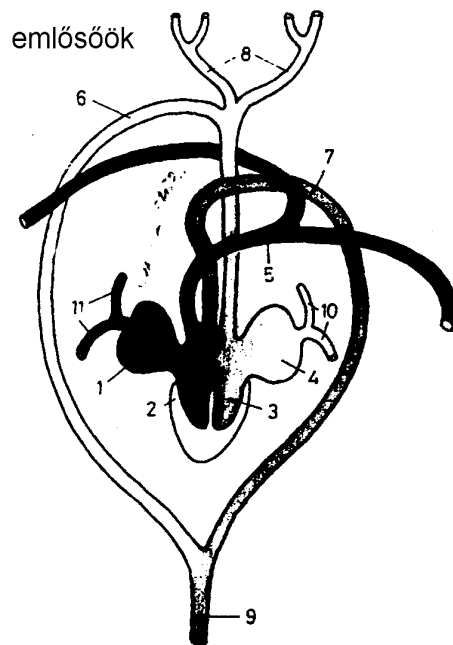
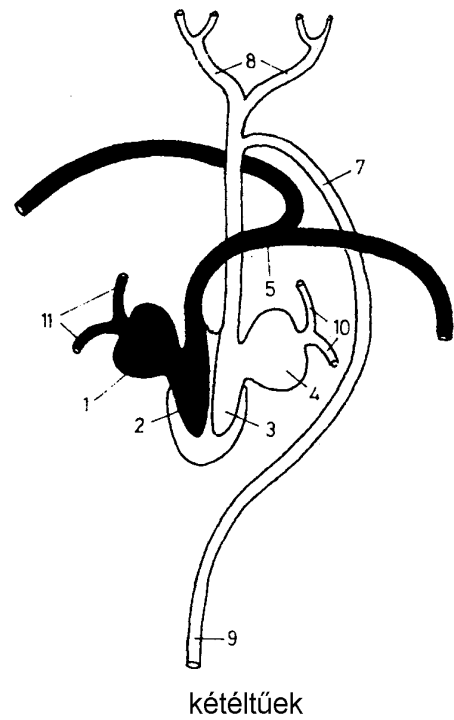
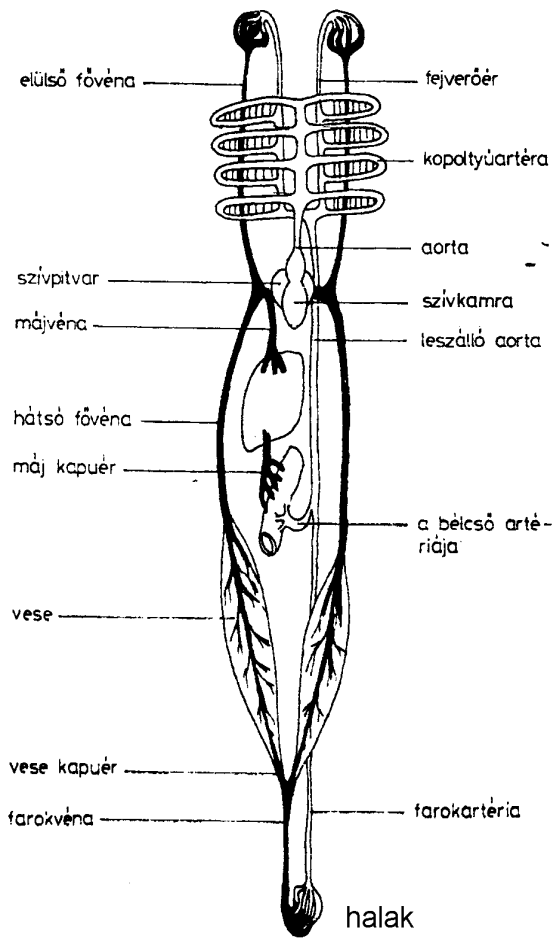
Az alveolusok (léghólyagocskák) és a vér közötti gázcserehez a tüdőt el kell látni levegővel. A felső légutakba elsősorban az orrüregen keresztül érkezik a levegő, amely innen megszűrve, felmelegedve folytatja útját a garaton át a gége felé. A porcok vázalkotta gégeben nyitott hangrésein keresztül áramlik a levegő a légcsőbe. Az alsó légutak a kétféle ágazó légcsőből és a két tüdőfél hörgőrendszeréből állnak. A legkisebb hörgők léghólyagocskáinak falát vékony hámszövet és hajszálérhálózat fogja körül. Itt történik a gázcsere. A légzőmozgásokat a rekeszizom és a bordaközi izmok végzik, a tüdő a kettős

mellhártya közvetítésével azt passzívan követi. A tüdő és a mellkas passzív tágulékonyasága attól a felületi feszültségtől is függ, amely a mintegy 100 m²-nyi alveoláris gázcsere-felületen, mint gáz/folyadék határfelületen ered. Az ember minden egyes légvétellel ún. respirációs levegőt lélegzik be és ki. Ennek egy része, az alveoláris hányad kerül érintkezésbe az alveólusokkal, a többi a holtteret tölti ki. Nyugodt körülmények között a percnkénti átlagos légzésszám 16, és egyetlen lélegzetvételre 0,5 l levegő cserélődik ki. A tüdő levegőbefogadó képességét ezen felül az erőltetett belélegzéssel felvehető 2,5-3,5 l, és az erőltetett kilégzés után is bennmaradó 1,5 l maradék levegő teszi ki. A felnőtt vitálkapacitása ezek szerint összességében 6-6,5 liter. Nyugodt állapotban kb. 0,3 l·min⁻¹ a belélegzett O₂, és 0,25 l·min⁻¹ a kilélegzett CO₂ térfogata.

8.4.2.3 Keringési szervek

Az anyagszállításban fontos szerepet játszó keringési szervrendszer legegyszerűbb formája a zsinórférgekben figyelhető meg: nyitott szövetközötti résrendszerből áll. A rovarokban nyitott, a gyűrűsférgekben és a gerincesekben teljesen zárt, azaz amíg az első esetben az erek nyitottan végződnek, és a testfolyadék a szervezet sejtjeivel közvetlen kapcsolatba kerül, addig a másodikban egyes alkotórészei a hajszálerek falain átszűrődnek illetve átlépnek. A szív és a véredények (erek) vérköröket alkotnak. A keringés fenntartója a szív, amely a gerinctelen állatokban egy- vagy kétüregű, a gerincesekben két- (halak – egy vérkörrel) három- (kétélűek, hüllők – már két vérkörrel), illetve négyüregű (hüllők közül a krokodilok, madarak, emlősök). A két vérkör a négyüregű szívvel különül el tökéletesen, és ez az állandó testhőmérsékletet is biztosítja. (57. ábra)

A négyüregű szívben két-két egymástól tökéletesen elkülönült pitvar és kamra működik. A nagy vérkörből a test gyűjtőerein (véna) át a jobb pitvarba érkező széndioxid tartalmú vér a jobb kamrába kerül. A kamra összehúzódása a verőéren (tüdő artéria) keresztül a tüdő hajszálér hálózatába juttatja ezt a vért. A tüdő levegőjéből oxigénnel telítődött, felfrissült vér a tüdő gyűjtőerein és a tüdővénán keresztül jut vissza a szív bal pitvarába, majd innen a bal kamrába. A kamra összehúzódása a test felé vezető aortába és verőerekbe (artériákba) nyomja a friss vért. A működésben lévő szerveket hajszálérhálózat látja el vérrel, míg a nem működők vérellátása közvetlen átkötések (anasztomózisok) révén takarékosabb. A szervezetben a véreloszlás szabályozása azért szükséges, mert a keringő vérfolyadék mennyisége ugyanis kevesebb, mint az edényrendszer térfogata.



1. jobb pitvar
2. jobb kamra
3. bal kamra
4. bal pitvar
5. tüdőartéria
6. bal aortaív
7. jobb aortaív
8. fejverőér
9. aorta
10. tüdővéna
11. a test fő vénái

56. ábra A halak, a kételtűek és az emlősök keringési rendszere

8.4.2.4 *A vér és szerepe az anyagcserében*

A keringésben szereplő folyadék az alacsonyabbrendűekben színtelen testnedv, a magasabbrendűeknél különböző vérfestékekkel (hemocianin, hemoglobin) megfestett "vér" amelyben a festék nincsen vagy vörösvérsejtekhez van kötve.

A gerincesek vére a folyékony vérplazmából és a benne lévő alakos (sejtes) elemekből tevődik össze. A felnőtt ember vérmennyisége kb. 5 liter, és annak fele vérplazma. A vérplazma 90-92 %-ban víz és 8-10 %-ban oldott ionok (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} illetve Cl^- és HCO_3^-) és kisebb szerves molekulák (glükóz, aminosavak, karbamid és húgysav). A vérplazma egy részéből képződik a nyirok, a szövetek közötti nedv, amely a véredények és a sejthártyák közötti tereket tölti ki (un. intersticiális folyadék). A plazmafehérjék közül az albuminok a vér ozmózis jelenségeit szabályozzák, és a zsírsavak, epesavak szállításában vesznek részt, a globulinok a szervezet védekező működésében, a fibrinogén a véralvadásban játszik szerepet. Az alakos elemek a vörösvérsejtek (vörösvértestek), a fehérvérsejtek (granulociták, limfociták, monociták) és a vérlemezkék. A vörösvérsejtek a vörös csontvelőben keletkeznek. A vérbe került érett sejtek már sejtmag nélküliek (vörösvértestek), és mennyiségük átlagosan 5 millió mm^{-3} . A sejtplazmában lévő összetett fehérje, a hemoglobin szállítja a légzési gázokat. A fehérvérsejtek alakjukat és működésüket tekintve különbözőek, átlagos mennyiségük a vérben 5-8000 mm^{-3} . A granulociták falósejtek, a szervezet önálló mozgásra képes vérsejtjei. A behatoló baktériumokat vagy szennyeződések bekebelezik, lebontják, miközben maguk is elpusztulnak és genny keletkezik. A monociták rövid ideig tartózkodnak a vérben, majd amőboid mozgással a szövetekbe jutnak, és ott endocitózissal védekező, méregtelenítő szerepük van. A limfociták a nyirokszervekben (nyirokcsomók, lép) keletkeznek, egy-egy idegen anyag felismerésére és hatástalanítására szolgálnak (ld.: 8.1.2. fejezet: immunrendszer).

A védő funkció (kórokozók és idegen anyagok elleni védekezés, véralvadás) mellett a vér legfontosabb feladata az anyagcseretermékek, légzési gázok szállítása (gáztranszport). A keringés és a légzés szorosan összefüggenek egymással. A szív jobb kamrája ugyanannyi vért pumpál a tüdőbe (végezetül a tüdőkapillárisokba), mint amennyit a bal kamra juttat a nagy vérkörbe.

Az anyagfelvétel és leadás passzív és aktív transzportfolyamatait a 4.2. fejezetben tekintettük át, ahol különösen sokat foglalkoztunk a diffúzióval. Nagyobb távolságokra való transzportra a diffúzió az élővilágban csak korlátozottan alkalmas. A gázoknál a diffúziós együtthatók két nagyságrenddel nagyobbak, mint a folyadékoknál. A növények gázcseréjének

fontos kiegészítő része az egész szervezetüket átszelő, levegővel telt intercelluláris (sejtközötti) járatrendszer és szellőztető szövet. Ez egyrészt az apoplasztban (sejtfal) folytatódik, másrészt a felálló üreges szármaradványok (pl. aratott nád), a gázcsereváltások és a paraszemölcsök üregrendszere következtében, a légmozgás (szél) a torlónyomásváltozás révén segíti a légkörtől elzárt szervek átszellőztetését. A növények másik nagy távolsági szállítórendszere az edénnyalábokban meglévő folyadékoszlop (háncsrészben asszimilátumok, fárészben víz és oldott ásványi anyagok szállítása). Az egysejtűeknél, az állatoknál, a férgeknek, a kétélűeknek kizárólagos vagy nagy jelentőségű az el nem szarusodó laphám jellegű bőr diffúziós szerepe. A bőrlégzés azonban a legtöbb esetben nem elegendő. Ha az ember oxigén-felvétele kizárólag a bőrön (elszarusodó, többrétegű laphám) keresztül történne, a szövet O_2 -felhasználása miatt már 0,3 mm rétegmélység alatt egyre fokozódó O_2 -hiány lépne fel. A nagyobb távolságokat áthidaló transzport áramlás (konvekció) útján valósul meg: a folyadék (vér) együtt mozog a benne található anyagokkal. A szervezetben a szén-dioxid transzportja során a diffúzió és a konvekció váltakozik: szövetekből a vérbe – diffúzió, vérrel a szövetekből a tüdőbe – konvekció, vérből az alveoláris légterbe – diffúzió, alveolusokból levegővel a szabadba – konvekció.

A vér (testfolyadék) és a légkör (alveolusok belső, gáztere) közötti O_2 és CO_2 gázcsere alapja a szabad transzport, vagyis a diffúzió, amikor a gázmolekulák koncentrációgradiens mentén történő áthaladása alapvetően hőmozgásuk függvénye. A részecskéknek diffúzióval megtett útja az idő négyzetgyökével arányos, de mivel transzmembrán jelenségekről van szó, a koncentráció-kiegyenlítődést a membránok lassítják = *permeáció* (gátolt diffúzió). Ezért ez a transzportjelenség csak sejt dimenzióban jelentős, ahol egyébként meglehetősen gyorsnak számít. (Egy glükózmolekula a sejtet 1 s alatt szeli át ilyen úton.) Az alveolusok gáztere és a vörösvértestek intracelluláris (belső) tere közötti kontaktus idő 0,75 s, és ezen a 1-2 μ m-es úton többszörös transzmembrán jelenségek következnek be. Az O_2 és CO_2 permeációt számos tankönyv és lexikon diffúziónak nevezi, és hajtóerejét a gázok parciális nyomásviszonyaiként fejezi ki, mert ha több mint egy molekulafajta van jelen az oldatban, akkor a DALTON-törvénynek megfelelően a parciális nyomásokat kell alkalmazni.

A sejttanyagcsere végterméke, a CO_2 a mitokondriumokból a sejtekbe fizikailag oldott állapotba kerül, de a vérben nagyobb hányada kémiaiilag kötődik, majd mennyiségének az átlagos vénás szintre emelkedése miatt a vérplazmában ismét megnő a fizikailag oldott hányada, és végül legnagyobb része azonnal a vörösvértestekbe hatol. A vörösvértestekben a

CO₂ kémiai kötésekre is kerül (HCO₃⁻ és karbamino-hemoglobin). A HCO₃⁻ háromnegyed része Cl⁻ ionokkal kicserélődve elhagyja a vörösvértesteket, kötéséből felszabadulva az alveolusokba permeál és kilégzéssel a szabadba jut.

Az oxigén a fejletlenebb állatok vérében fizikailag oldott, a gerincesek vérében pedig a vörösvértestek festékanyagához (hemoglobinhoz, Hb) kémiaiilag kötött. A hemoglobin négy pirrol-gyűrűs alegységből áll, amelyek mindegyike egy hem-csoportot (Fe(II)-tartalmú porfirin-komplexet) tartalmaz. Mind a négy Fe(II) egy-egy O₂ molekulát képes megkötni. A vér teljes oxigén tartalma gyakorlatilag azonos a hemoglobinhoz kötött oxigén mennyiségével. A perifériás testszövetek viszonylag alacsony pH-ja és CO₂ gazdagsága fokozza a Hb O₂-leadását. Ezzel ellentétes folyamat játszódik le a tüdőkapillárisokban, ahol a pH emelkedése lehetővé teszi az O₂ fokozott felvételét. Az izmok "prompt" O₂ raktára a mioglobin nevű festékanyag. Ha a Hb-ban a normálisan kétértékű vas három értékűvé oxidálódik, akkor methemoglobin keletkezik, amely már nem képes O₂-kötésre, és a szervezetben részleges vagy teljes oxigén hiányos állapot (hypoxia, illetve anoxia) alakul ki, és az O₂ végső felhasználóiban, a mitokondriumokban az oxigén parciális nyomása kritikus szint alá csökken. A cianózis az ajkak és a körömágy kékeslila színeződése. Az agy különösen érzékeny az O₂-hiányra: már 15 s anoxia eszméletvesztést okoz, három percnél tovább pedig helyrehozhatatlan károsodások következnek be. CO-mérgezés során a Hb funkcióképtelen lesz. A hidrogén-cianid (HCN) sejtméreg, és a citokrómozidáz bénítása révén bénítja meg a sejt oxidatív anyagcseréjét.

8.4.2.5 Kiválasztási szervek

A szivacsok, tömlősbelűek, tüskésbőrűek nem rendelkeznek kiválasztó szervrendszerrel. A férgekben a testüregbe nyúló elővesécske és a szelvényenként ismétlődő vesécske jellemző. Az ízeltlábú rovaroknak ún. MALPIGHI-edényeik vannak. A gerincesekben az elővese (halak), az ősvese (halak és kétéltűek), majd a maradandó utóvese (hüllők, madarak, emlősök) alakult ki.

Az emberi vesét nefronok építik fel, amelyek végei egy-egy tokként (tubulus) hajszálérgomolyagokat vesznek körül, és azokból a szűrlet az elvezető csatornába kerül. A folyamat egy sajátos transzportjelenségen, a filtráción (szűrés) alapul, amikor a nyomáskülönbség hatására a vér alkotórészei átpréselődnek a hajszálerek falain. Az érgomolyagok a vérből és a testnedvből (extracelluláris – sejten kívüli – folyadékából választják ki a salakanyagot, majd a szűrlet hosszú elvezető csatornákon való áthaladása közben szívódnak vissza a szervezet

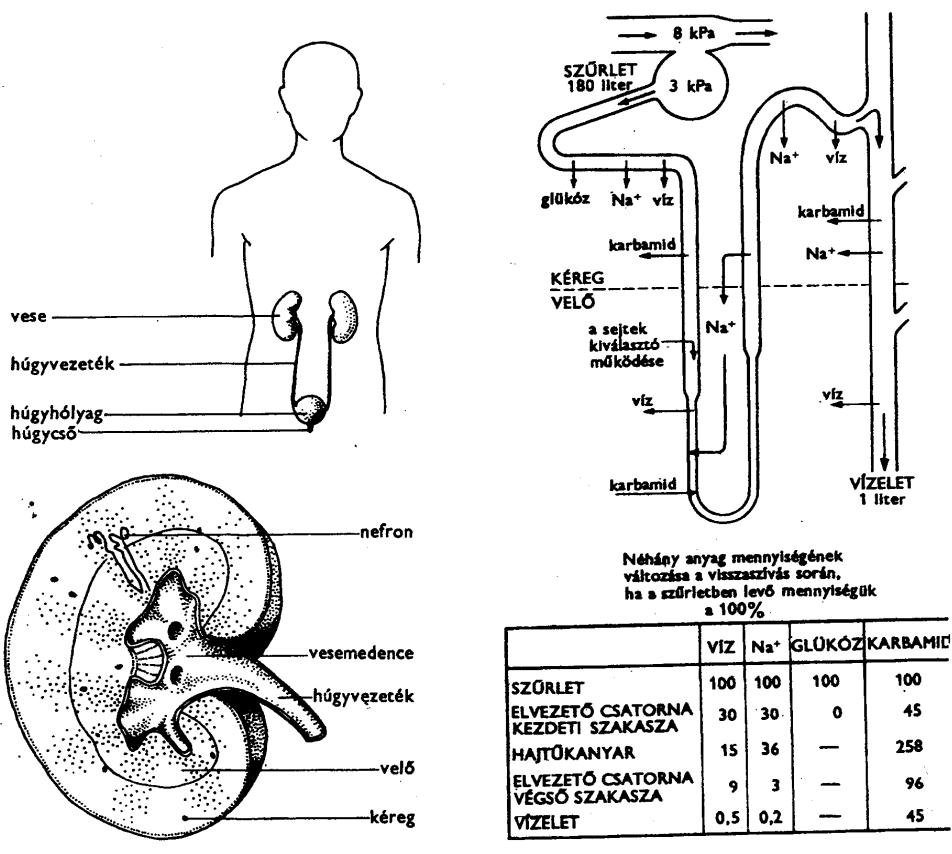
számára még használható anyagok. A maradék vizelet formájában ürül ki a szervezetből. A szűrlet gyakorlatilag fehérjementes vérplazma, napi mennyisége 180 liter. Az egészséges szervezetből távozó vizelet glükóz- és fehérjementes, csak karbamidot és nátriumiont tartalmaz, napi mennyisége 1-1,5 liter. Ez azt jelenti, hogy az extracelluláris folyadéknak megfelelő folyadéktérfogat naponta több mint 10-szer, a vérplazma (kb. 3,2 l) pedig naponta majdnem 60-szor halad át a vesetubulusokon, és a szűrlet 99 %-a reabszorpció útján visszajut az extracelluláris térbe. (58. ábra)

Az emberi testtömeg (1,0) vízhányada 0,46-0,75 között változik nemtől és életkortól függően (legmagasabb csecsemőkorban, majd az idősődéssel általában csökken), de emellett messzemenően állandó, ami kiegyensúlyozott vízmérleg eredménye. Az átlagos napi vízforgalom felnőttél a testtömeg 1/30-ad része, amellyel 70 kg-s testtömeg mellett a kb. 2,5 liter napi átlagos vízszükséglet kielégítése egyensúlyt tud tartani. A vízleadás elemei a vizelet, a kilélegzett levegő páratartalma, a bőrfelületről leadott és a bélsárral távozó víz.

8.5 A szervezet homeosztázisa

A 19. század második felében C. BERNARD mutatott rá, hogy az élőlények belső környezete (*milieu intérieur*) nem változhat, bár külső környezetük állandóan változik: ez a szabad, független élet feltétele. Fél évszázad múlva W. B. CANNON javasolta, hogy “azok a koordinált folyamatok, amelyek a szervezetben uralkodó állandó viszonyok többségének fenntartását biztosítják”, együttesen a *homeosztázis* (gör.: homoiosz = állandó, sztásisz = helyzet) elnevezést kapják, a statikus, változatlan állapot megőrzése képességének kifejezésére.

A megfelelő szabályozási rendszerek a külső környezet változásaival szemben ellentétes irányban ható folyamatokat indítanak meg a szervezetben. Tehát a homeosztázis az élő (biológiai és beleértve ökológiai) rendszerek azon képessége, hogy a külső és belső zavarok (környezeti változások) ellenére egyensúlyi állapotban maradnak. SCHRÖDINGER viszonylag tágan értelmezi az entrópiát (v.ö.: 1.2. fejezet), és ilyen szempontból az élő szervezet állandósága hasonlít a stacionárius egyensúlyhoz, de valójában részfolyamatok rendszereinek dinamikus egyensúlyain alapul.



57. ábra Az ember kiválasztó szervrendszere a nefron felépítésének és működésének vázlatával

A homeosztázis fenntartása az élet kritériuma, tehát az élővilág nagy alakgazdagságára való tekintettel roppant változékony megoldásokat mutat. Alapvetően a növényeknél a víz- és az állatoknál a hőháztartási típusokra vezethető vissza. Az önálló vízháztartási rendszerrel rendelkező és az önálló hőgazdálkodású (állandó testhőmérsékletű) élőlények többé-kevésbé

eredményesen függetleníteni tudják magukat környezetük vízállapotától és hőmérsékleti viszonyaitól.

Az állati szervezet homeosztázisának komponensei közé tartoznak a fentiekhez értelemszerűen rendelve a testnedvek, a testfolyadék mennyisége, nyomása, keringetése, szén-dioxid-, oxigén-, cukor-, aminosav- és ionkoncentrációja, pH-ja, folyadékterenkénti megoszlása, az ozmotikus viszonyok, a testhőmérséklet, a hormonkoncentrációk. Az emberi szervezet belső egyensúlyát biztosítják azok az interoreceptorok (ld. 8.2. fejezet), amelyek a vér vagy a testnedvek nyomására, hőmérsékletére, szén-dioxid-, oxigén-, cukor-, aminosav-tartalmára, illetve pH-jára érzékenyek. Ezek a receptorok részben a hipotalamusz idegsejtjei maguk, részben a nyaki verőér (arteria carotis communis – glomus caroticum) és részben egyéb artériák (főleg az aorta) falában helyezkednek el.

Az élő szervezetekhez hasonlóan populáció, biocönózis és a bioszféra (ld. 11.3.2. fejezet) is rendelkezik öfenntartó és önszabályozó képességgel. A *stabilitás* a biológiai (és beleértve ökológiai) rendszerek azon képessége, hogy kisebb mértékű zavarok után ismét egy egyensúlyi állapotba kerülnek. A *reziliencia* (lat. visszaugrik) pedig az, hogy nagyobb mértékű zavarok után is képesek visszanyerni integritásukat rendszerük megváltoz(tat)ásával.

8.5.1 A sztrezz

A szervezetet érő, és a külvilágból származó különböző (fizikai, kémiai, pszichológiai jellegű) megterhelések, amelyekre a szervezet azonos módon reagál, a sztrezz kiváltó tényezők (sztrezzorok). A sztrezz (stressz; angol stress = nyomás, feszültség, megterhelés) a szervezet nem fajlagos válasza a különböző külső ártalmakra (SELYE). A sztrezz(-sorozat) folyamán jelentkező tünetek összefoglaló neve a generális adaptációs szindróma (általános alkalmazkodási tünetegyüttes, GAS), amelynek szakaszai a (CANNON-féle) vészreakció, a rezisztencia és a kimerülési stádium. Később SELYE a káros vagy kellemetlen sztrezzre az eredeti, ófrancia – középanyol szóalakot (distress = baj, nehézség, szorult helyzet) vezette be, ugyanis a negatív hatásokhoz hasonlóan a pozitív élmények is sztrezzhelyzetet váltanak ki. A testi (fizikai megpróbáltatás, zajártalom) vagy pszichés (alkotás öröme, sportsiker, konfrontáció, reménytelenség) sztrezz- (vész-) helyzetben a mellékvesevelőben felszabaduló katekolamin vegyületek fokozzák az adrenokortikotrop hormon és azzal együtt a glükokortikoidok elválasztását (ld.: 8.2.3. fejezet), mobilizálják a tárolt kémiai energiát (lipolízis, glikogénolízis), glikogénlebontást és tejsavsintézist serkentő enzimeket aktiválnak,

és végül a hipotalamuszban olyan hormonok elválasztását indukálják, amelyek megindítják a kiürült energiaraktárak feltöltését. Ezeknek a hormonoknak a szintje a vészreakció után négy órával a legmagasabb. Nem szűnő sztresszorok, különösen kondicionáló tényezők (öröklött hajlam, nem, életkor, táplálkozási tényezők, külső feltételek) esetében az egyébként könnyen elviselhető szorongás is veszélyessé válhat, és “adaptációs betegségeket” okozhat, amelyek a szervezetnek egy kiválasztott, kóros elváltozásra hajlamos részét érintik.

Sztresszhatások hiányával párhuzamosan a hormontermelés, az ösztönös viselkedés is megváltozik, sőt anatómiai változások is bekövetkeznek (pl. a sertés agyának visszafejlődése háziiasítás során). Ugyanakkor a háziállatok szorongástűrő képessége változó, amelynek gazdasági következményei vannak (pl. tartási, szállítási, vágóhídi körülmények hatása a sertéshús feldolgozóipari minőségére). A kedvezőtlen körülmények közé került növényeknél is beszélnek szorongásról.

A “nem specifikus alkalmazkodás” társadalmi vetületei akkor kerülnek előtérbe, ha a humán kultúra elvei ütköznek az ember filogenetikai örökségével. A *Homo sapiens* környezethez való alkalmazkodásában előtérbe került a nagyagykéreg kritikai működése, de ez ütközik az ősi alkalmazkodásnak az őserdők törvényeihez kialakult mintázataival. A probléma az esztéták szerint állítólag akkor kezdődött, amikor ősünk felismerve és negatív előítélettel kezelve a másságot, először használta a “barom” kifejezést embertársára. Ha a mai kor emberét éri méltánytalan, megalázó támadás, az alkalmazkodás során a szimpatikus idegrendszer extrém ingerülete, a mellékvese-velőállomány hormonjainak mobilizálása révén a szív működés és a légzés fokozása, vérnyomásemelkedés, az izmok és az idegrendszer bővebb vérellátása (összefoglalóan CANNON-féle vészreakció) biztosítja a védekezéshez, a meneküléshez az optimális teljesítőképességet. Ha primitív – rendszerint agresszív – reakció jön létre, akkor a szervezet visszatérhet egyensúlyi helyzetébe. Ha neveléssel kiépített gátlás megakadályozza ezt a természetes környezetben magától értetődő reakciót, akkor megfelelő válasz híján, a feszültségek nem oldódnak, összeadódnak, és - súlyosabb esetben az alkoholtól, nikotintól megmérgezett – szervezet egyensúlya felbomlik. Hasonló helyzetbe kerülhetnek az igen ingergazdag társadalmi, gazdasági környezetnek kitett, de konfliktus helyzeteket nehezen megoldani tudó vezető beosztású egyének (u.n. menedzser betegség alakul ki). A szorongás által okozott betegségek közül jónéhányat civilizációs betegségnek tartanak.

8.6 A növekedés

Az állati és emberi lét, a gomba- és mikrobavilág anyag- és energiaforrása végső soron a fotoszintézis, a fotoautotróf növények által megkötött, a napsugárzásból – a földi élet forrásából – eredő energia. A élőlények szervesanyag-termelésének tömegbeli, minőségi és energetikai változásai a produkcióbiológia tárgyát képezik (produktivitás = termelőképeség, produkció = termelés, produktum = termék). Az élőlények termelőképesége (produktivitása) genetikailag meghatározott tulajdonság, amelynek alapján - adott környezeti tényezők között - megvalósul a biológiai anyagtermelés (produkció). A keletkezett szervesanyag-termék (produktum) általában élő- vagy száraz tömegben kerül kifejezésre, és felhalmozódása az asszimiláció és disszimiláció viszonyától függ:

bruttó termék - légzési anyagfelhasználás = nettó termék.

A nettó termék testtömeg, testfelület, sejtszám, szervméret, stb. gyarapodásban megnyilvánuló felhalmozódása jelenti a növekedést. E gyarapodás bizonyos mérték meghaladása után új minőség megjelenésének feltételeit biztosítja, ami a fejlődés életjelenségének alapja. A tárgykörrel a növekedés- és fejlődésélettan foglalkozik, de az ökológiának, a mezőgazdaság- és társadalom-tudománynak is fontos részét képezi. Az egészséges emberi életmód, a növénytermesztés központi kérdéseiben és a környezetvédelem legsúlyosabb problémáinak megoldásában - természetes erőforrások felhasználásában, tiszta technológiák kifejlesztésében, a szaporodó népesség élelmezésében, romló környezeti feltételek közötti termék-előállításban, a termelés gazdaságosságában, a fenntartható fejlődés megvalósításában - a produkcióbiológiai ismeretek nélkülözhetetlenek.

A biomassa a bioszféra egységnyi térfogatában, adott időpontban élő szervezeteinek tömege, melynek egy-egy része a fito-, zoo-, stb. biomassa. A növények esetében a fitomassa fogalma az élő és az elhalt tömegeket foglalja magába. A fitomassa, illetve fito-biomassa meghatározható a talajban lévő és a talaj felszíne fölötti növényi részekre, valamint valamennyi növényi szervre (pl. gyökértömeg, levéltömeg, szártömeg, szemtömeg stb). A növénytermesztésben a terméket szűkebb értelmezésben, mint terményt tekintjük, vagyis azt a termést, amely érdekében a gazdasági termelési folyamat zajlik. Biológiai értelmezésben az egész fitomassa a termék, melynek komponensei a közékük tartozó terménnyel kompetitív viszonyban vannak vagy éppen elősegítik annak képződését. Az állattenyésztésben a hús-, zsír-, tej- vagy méztermelés eredményessége az egyik fő, központi kérdés. A szupraindividuális biológiában a populációk egyedszám illetve

sűrűségváltozása, elsősorban a populációnövekedés és korlátjai jelentik a humán és természetvédelmi problémákat lokálisan és globálisan egyaránt.

A szervesanyag-produkció időfüggvényű folyamat, melynek meghatározása során az időegység alatt keletkező biomasszát (élőtömeget) terület-, esetleg térfogategységre vonatkoztatjuk absolute vagy relative. Termesztett növényeink 1 kg szárazanyag megtermeléséhez 300-800 l vizet használnak fel (transzspirációs együttható). A transzspiráció produktivitása pedig 1-8 g szárazanyag 1 liter víz elpárologtatása révén.

8.6.1 A növekedés mennyiségi elemzése

A produkció tömeg, minőség (beltartalmi-) és a növényeknél az asszimiláló felület változásainak időalapú elemzése a növekedés-analízis. A növekedés-analízis eredeti értelmezésében és hagyományos módszereivel roppant munka és időigényes vizsgálati sorozat, ezért teret enged a becsléseknek, a közvetett észleléseknek, továbbá, mivel minduntalan az egyedi változékonysággal találkozunk, nem nélkülözheti a biostatistikai, biomatematikai értékelési eljárásokat sem. Leíró és modellező értéke mellett prediktív is, vagyis előrejelzésekre („termésbecslés”, népséggyarapodás, stb.) alkalmas.

A mért alapadatok idősoraiból (pl. tömeg, levélterület) differenciál- és integrál számítással a pillanatnyi és a közepes (átlagos) növekedési jellemző értékek számíthatók ki a hagyományos (klasszikus, standard) növekedés analízis körében. Lehetséges azonban, hogy azonos növekedési paraméter érték két, különböző növekedési folyamathoz tartozik. Az alapadatok függvényekkel való illesztése után a növekedés időbeli, irreverzibilis mennyiségi jellege növekedési görbékkel szemléltethető.

A növekedési paraméterek és a növekedési függvények közös kiindulópontja az biomassa adott időtartam alatt végbement átlagos abszolút vagy átlagos relatív felhalmozódási aránya, és az ezek idő szerinti differenciálásával kapott pillanatnyi abszolút vagy pillanatnyi relatív felhalmozódási sebessége:

	<i>átlagos</i>	<i>pillanatnyi</i>
<i>abszolút</i>	$\frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$	$\frac{d W}{d t}$
<i>relatív</i>	$\frac{W_2 - W_1}{W_1}$	$\frac{1}{W_1} = \frac{d W}{d t}$
	<i>(arány)</i>	<i>(sebesség)</i>

8.6.1.1 Növekedési jellemzők

A relatív növekedési sebesség szervesanyag felhalmozódásának ütemét fejezi ki egységnyi időre és a már elért egységnyi tömegre (G, Relative Growth Rate):

$$RGR = \frac{dG}{dt}; \quad RGR = \frac{\ln G_2 - \ln G_1}{t_2 - t_1} \left[g \ g^{-1} \ d^{-1} \right]$$

A növényeknél a levélterület relatív gyarapodási sebességét számítják (RLGR, Relative Leaf Area Growth Rate):

$$RLGR = \frac{1}{A} \cdot \frac{dA}{dt}; \quad RLGR = \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1} \left[cm^2 \ cm^{-2} \ d^{-1} \right]$$

A nettó asszimiláció sebessége (hatékonysági rátája az egységnyi levélterületre vonatkoztatott száraztömeg növekedés sebessége időegység alatt (NAR, Net Assimilation Rate):

$$NAR = \frac{1}{A} \cdot \frac{dG}{dt} \quad NAR = \frac{G_2 - G_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{A_2 - A_1} \left[g \ cm^{-2} \ d^{-1} \right]$$

A terméknövekedési arány a biomassza gyarapodási sebessége egységnyi fölterületen (F), meghatározott időegységre vonatkoztatva (CGR, Crop Growth Rate):

$$CGR = \frac{G_2 - G_1}{F(t_2 - t_1)} \left[g \ m^{-2} \ d^{-1} \right]$$

8.6.1.2 A növekedési függvények

A növekedési függvények a természettudományoknak a gyakorlathoz való kapcsolódásának egyik felületét képezik.

A főbb alkalmazási területek:

- a fejlődés kutatása (fejlődési fázisok meghatározása, fejlődési folyamatok megformulálásának lehetősége,
- a növekedés kutatása konstans feltételek között (általános logisztikus függvények) változó feltételek között (path-analízis),
- hatás-függvények: optimum-görbék, hatásfelületek

A növekedés kapcsolata az idővel általában nem lineáris. A logisztikus növekedési függvények a biológia egyik legáltalánosabb és legfontosabb törvényszerűségét fejezik ki. A függvények szigmoid, "S" alakú görbéi szemléltetik, hogy a növekedés első szakasza a nyugvó

fázisból a gyorsuló növekedésbe való átmenet, a második szakasza pedig a lassuló, a nyugvó fázisba való visszatérés. Amennyiben az első szakaszt exponenciális függvénnyel jellemezzük, a másodikat pedig a telítődési függvénnyel, ebben az esetben a szűkebben értelmezett (autokatalitikus) logisztikus függvényt kapjuk, pl. tömeggyarapodásra:

$$G = \frac{M}{1 + be^{-kt}} = M(1 + be^{kt})^{-1}$$

A be^{kt} kifejezés megmutatja, hogy a már elért G értékének hányszorosa van még hátra az M maximális értékig ("telítettség"), a K a relatív növekedési sebesség.

A görbék különböző mértékben illeszkednek az adatkészlethez. Igen jó illeszkedés esetén nem biztos, hogy az eredmény biológiailag maradéktalanul értelmezhető.

8.6.1.3 Energia átalakító képesség

A növények energia átalakító képessége, efficienciája a fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR 400-700 nm hullámhosszúságú tartomány) energiája és a napi, energiában kifejezett (joule) biomassza gyarapodás alapján számolható ki. A fotoszintetikus efficiencia lehetséges maximuma 20 % (kvantumefficiencia). A növények átlagos efficienciáját azonban csak 2-5 %-ra értékelik. A hatékonyság csökkenését több egyéb között a leveleknek a teljes napfény 10-20 %-ánál bekövetkező fényteltődése okozza. E fényintenzitás fölött ugyanis már nem növekszik tovább a fotoszintetikus ráta.

Néhány fontosabb kultúrnövényünk fénykihasználási együtthatója: búza 2,6 , rozs 2,4, zab 2,7, burgonya 2,3, vöröshere 2,1, búkköny 1,9, takarmányrépa 1,9, len 3,6 csillagfürt 4,8. A mérsékelt égövi gyepek fotoszintetikus efficienciájának becslésére kb. 20000 (12000-40000)J/g átlagos növényi energiatartalom érték alkalmas. (V.ö.: 1.2.7. fejezet.)

8.6.1.4 A növekedés allometrikus jellege

Ugyanazon szervezet különböző részeinek eltérő mértékben és ütemben való növekedése a testarányok megváltozását, működését, működésük módosulását eredményezi. A méretek (két szerv tömege, pl. W_s és W_L növekedési sebessége közötti arányt az allometria fejezi ki:

$$W_s = bW_L .$$

Az allometrikus együttható 1-nél kisebb értéke W_L lassabb növekedését, 1-nél nagyobb értéke W_s lassabb növekedését jelzi; = 1 esetén a két tulajdonság növekedési sebessége azonos (izometrikus).

Az allometrikus növekedés a kultúrnövényekre vad őseikkel szemben különösen jellemző: cukorrépa répatestje, nemes alma gyümölcse, kukoricacső mérete). A vizsgálat nem csak ugyanazon növény különböző tulajdonságaira, de különböző változatok, fajok azonos tulajdonságaira is vonatkozhat (85. ábra). Az allometrikus növekedés végigkíséri az egyedfejlődést.

8.6.2 A növekedés hormonális és vegyszeres szabályozása

Az állati szervezet növekedésének hormonális szabályozását a 8.2. fejezetben tanulmányoztuk. A növények hormonrendszerének tagjai antagonisztikusan (ellentétesen) vagy szinergizálva (támogatóan) befolyásolják egymást, nem annyira abszolút koncentrációik, hanem mennyiségi viszonyaik alapján.

Auxinok összefoglaló névvel jelzik a sejtek osztódását, illetve megnyúlását serkentő vagy gátló indolvegyületeket. A növényekbe legáltalánosabban előforduló triptofán aminosavból származó β -indolil-ecetsav (IES) a hosszanti növekedés és a sejtek osztódása mellett a gyökérkezdemények iniciálásában és a rügyképződésben szerepel. A sejtfalet tekintik az auxinhatás fő helyének. Pillangósok gyökerében rhizobium "fertőzés" utáni gümőképződéskor nagyobb az IES koncentráció. A gyakorlatban gyökereztetésre használják.

A **gibberellinek** serkentik a hosszanti növekedést, feloldják a kitartóképletek (pl. áttelelőszervek) nyugalmi állapotát, fokozzák a csírázás ütemét, siettetik a virágzást, segítik partenokarp termések kialakulását. A már egy tucatnál többféle gibberellin mellett szaporodik a gibberellinszerű anyagok száma. Génaktiváló szerepük is igazolódott.

Citokinineknek nevezik a sejtosztódást serkentő anyagokat (kinetin, zeatin). Valószínűleg a nukleinsav-anyagcserével kapcsolatos a keletkezésük. Gátolják az öregedési folyamatokat. A növényi szervek egyoldalú megvilágítása auxingrádiens eredményez, az auxin a hajtások árnyékos oldalán koncentrálódik és a növekedést ott serkenti.

Belső (endogén) **növekedésgátló** az "öregedéshormon", az abszcizinsav, amely levélhullást, klorofillbomlást, turgorsökkenést idéz elő. Az etilén gáz halmazállapotú növényi anyagcsereterméként többféle serkentő, szabályozó hatással rendelkezik.

A hőmérsékletnek a növekedésre gyakorolt hatása optimumgörbével fejezhető ki. A fényhiány kiváltotta fotomorfózis az etioláltság (ld. sötétben csírázó burgonyagumó). A fény a polaritást indukálja, spektrumának vörös sávjában hat a fitokrom-rendszerre, a megvilágítás erőssége befolyásolja a levél mezofillumok szerveződését, periodicitása a növényi fejlődés ciklikus jellegének egyik alapja.

A növekedési gátlásban szerepet játszhatnak **toxikus anyagcseretermékek**, illó olajok, szerves savak (pl. fahéjsav, benzoésav) vagy lakton természetű anyagok pl. kumarin). Inhibitorok veszik körül a tökfélék magvait. Tartalmazhatnak gátló hatású anyagokat a levelek is (dió - juglon, üröm - abszintin).

A növényi eredetű, de hatásaikat más növényeken kifejtő vegyületek az **allelokemikáliák**. Az allelopátia az élő vagy elpusztult növényi szövetekben termelődő vegyületeknek a szomszédos növény növekedését zavaró hatása. Szerepük lehet a szukcesszióban, a növénytársulások kialakulásában, a talajuntság problémájában. A gátlóanyagokat kolinoknak (magasabbrendű → magasabbrendű), marazminoknak (magasabbrendű → mikroorganizmus), fitoncidoknak (mikroorganizmus → magasabbrendű) és antibiotikumoknak (gomba → egyéb mikroorganizmus) nevezik. Gyomirtásban való alkalmazásukat keresik. A növekedést **hormonszerűen** serkentő vagy gátló szabályozóanyagok a burgonyagumók téli tárolásánál használt α -naftilecetsav, virágképzés, termékenyülést befolyásoló 2,3,5-trijód-benzoésav és a termésfejlődésre ható indolvajsav és a naftilecetsav.

A **növekedésgátló** vegyületek (retardánsok) leginkább a szár megnyúlásos növekedését gátolják a gibberellinszintézis blokkolásával (mezőgazdaságban használatosak az AMO 1618, a CCC - gabonafélék megdőlése ellen).

A szelektív hatású **herbicidek** (gyomirtó) anyagok közül (pl. a 2,4 D diklórfenoxi-ecetsav vagy Dikonirt, MCPA stb.) általános növekedési zavarokat idéznek elő a nukleinsav anyagcsere és a fehérjeszintézist befolyásolva. A fotoszintézist gátló herbicidek közül az s-triazinok a II.-es fotoszisztéma elektron áramlását gátolják, aminek következménye a víz fotólízisének megszűnése. Hasonló tüneteket idéznek elő a karbamid- és a karbamát-származékok. A bipirillidum vegyületek hatására mérgező peroxidok keletkeznek.

A karbamátok és tio-karbamátok csírázásgátló hatását a sejtmagosztódás zavarásával fejtik ki.

A légezést mérgező herbicidekre (pl. DNOC, dinitro-orto-krezol) az élőlények csaknem egyformán érzékenyek (oxidatív foszforiláló egységessége miatt).

A dalapon (2,2-diklór-propionsav) és a TPA (triklór-fenoxiecetsav) a sejtek fehérjéit kicsapja, az első a leveleken a második a gyökereken keresztül hatol be a növényekbe.

A gyomirtószer hatására a vegetáció összetétele jelentősen megváltozik. Szubletális adagok hatására rezisztens mutációk jönnek létre és állandósulnak. A szermaradványok és a származékok a táplálkozási láncban további egészségkárosodásokat okoznak, a szervezetekben kumulálódnak.

9 Szaporodás és elterjesztés

Szaporodás az az életjelenség, amelynek során az élőlények önmagukhoz hasonló utódokat hoznak létre, és így a faj folytonosságát fenntartják, egyedeinek számát megsokszorozzák. A szaporodás általában az ivarérettség korában indul el. A reproduktív szervek termelte hormonok hatása a vegetatív szervekre (azok alakjára, működésére) eredményezi a nemiséget. A nemiség elmosódott a vegetatív szaporodó vagy hímnős egyedekben, és alaktanilag, élettanilag, viselkedéstanilag nagyon kifejezett a váltivarúakban.

9.1 Az egysejtűek szaporodása

Az egysejtűek igen nagy számú generációt magábafooglaló életciklusában haploid és diploid stádium különböztethető meg. Ivartalanul, számtartó osztódással keletkező generációk után egy-egy "ivaros szakasz" lép be. Az egysejtűek "vegetatív" alakjainak a kromoszómaszáma fele a "generatív" alakokénak. A diploid alakok létrejötte két egysejtű egyesülése (kopuláció) során következik be. Ez a forma rövid életű. A kétféle magvú egysejtűek átmeneti egyesülése a konjugáció. (V.ö.: 3.2.4. és 5.2.2. fejezetekkel.)

9.2 A soksejtűek szaporodása

A soksejtű szervezetben a vegetatív és a generatív fejlődési szakasz elkülönül, a diploid állapot stabilizálódik a vegetatív sejtekben, és a meiózis "előbbre helyeződik" a megtermékenyítés előtti időszakra. Aszerint, hogy az egyedfejlődés során a testet felépítő sejtek milyen magállapotúak, megkülönböztethetők haplonta (diploid állapot a megtermékenyítést követően igen rövid, vagy csak az első osztódásig tart), haplodiplonta

(haploid és diploid életszakasz alaktanilag és fejlődéstanilag határozottan elkülönül) és diplonta (haploid állapot csupán az ivarsejtekre korlátozódik) fejlődésmeneteket (életciklusokat).

A soksejtű élőlények szaporodásának egyszerűbb módja az, amikor az utód a szülőszervezet bármely sejtjeiből, illetve sejtcsoportjából kialakulhat. Ez a szaporodási mód az ivartalan vagy vegetatív szaporodás. Az ivartalan szaporodásnak három fő formája ismeretes:

- kettéosztódás: a szervezet kisebb-nagyobb része lefűződik, leválik, majd a hiányzó rész regenerálódik;
- bimbózás: a szülőszervezeten bimbószerű kinövések keletkeznek, amelyek le is válhatnak, de a szülőn rajta is maradhatnak.
- vegetatív úton történő szaporítás: a dugványozás, a tőosztás stb.

A vegetatív szaporodási mód mindig a hiányzó részek regenerációjával jár együtt. A földi giliszta (gyűrűsférgék) vagy a laposférgék jól regenerálódnak (klónképzés).

Az ivaros szaporodás (generatio sexualis) során az utód a szülőszervezet meghatározott sejtjéből (sejtjeiből), az ivarsejtekből alakul ki (citogén szaporodás).

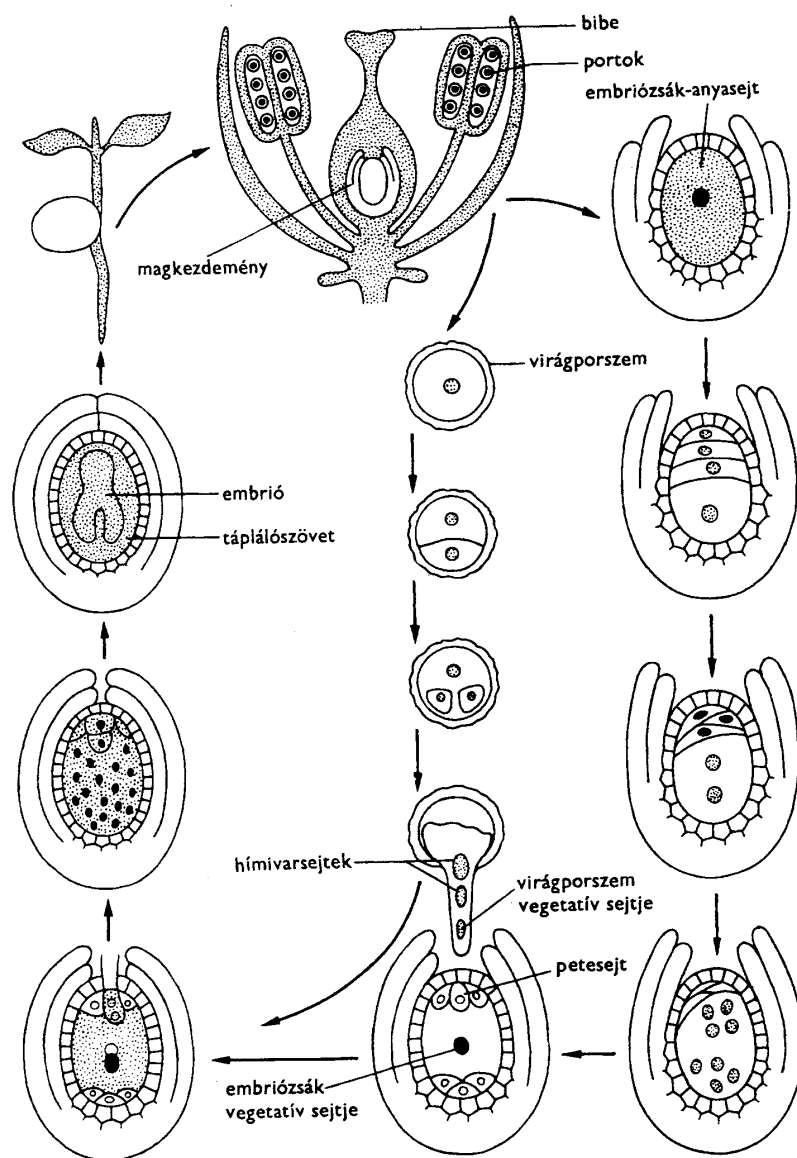
Az utód létrejöhét két ivarsejt egyesülésével (gamogonia), megtermékenyítéssel vagy anélkül, szűznemzéssel (partenogenezis), ritkán hímivarsejtből (androgenezis), gyakrabban petesejtből (gynogenezis).

9.2.1 A magasabbrendű növények szaporodása

Az ivaros szaporodásnak két fő szakasza van. A megporzás(1) során a virágpor a bibére kerül. A közvetítés módja szerint ez leggyakrabban rovar- vagy szélmegporzás lehet. Önmegporzás esetén a virágzó egyed saját virágpora kerül a bibére. Ennek az eredménye öntermékenyülés(2a). Idegentermékenyülés(2b) szomszédos vagy távoli egyedek között következik be. A virágpor a porzóknak a portok részében termelődik. A bibe a termő része, amely a bibeszállal kapcsolódik a magházhoz. A virágporszem (a pollen) kétsejtű: a vegetatív sejt diploid és pollentömlőt fejleszt, a reproduktív sejtéből meiosis révén két hímivarsejt jön létre. A pollentömlő a magházban elhelyezkedő embriózsákba vezeti a hímivarsejteket. Az embriózsákban általában nyolc haploid sejt van. Az egyik hímivarsejt megtermékenyíti a petesejtet, ebből lesz az utód, az embrió. A másik hímivarsejt a kettős központi maggal egyesül, és ebből triploid tápszövet keletkezik. Az embrió két pólusú, vagyis osztódó szövetei a rügyecskében (ún. hajtástenyészőkúp) és a gyököcskében (gyökértenyészőkúp) tömörülnek. A csíratengelyen tapadnak a sziklevelek. Az egészet magháj veszi körül, és magnak nevezzük.

(59. ábra) A magvak szerepe a szaporítás és az elterjesztés. A magvakat tartalmazó szaporító és elterjesztő képlet a termés. A kifejlett növénynek vegetatív (gyökér, szárból és levélből álló hajtás) és reprodukzív (virág, virágzat, mag, termés) szervei vannak. Kétivarú virágnak termője és porzója egyaránt van, vagyis hímnős. Az egyivarú virág lehet termős vagy porzós. Ha a termős és a porzós virágok egy növényen vannak, akkor az egylaki; ha nem, akkor kétlaki.

Öntermékenyülés genetikai szempontból homozigotizmusra vezet. Ennek eredménye bizonyos tulajdonságok elmélyülése és a beltenyésztés, amely recesszív letális gének esetében az utód ivarérés előtti pusztulását eredményezi. Ez idegentermékenyülés a heterozigotizmust, a genetikai változékonyságot, a tulajdonságok gazdag rekombinálódását eredményezi. Az irányított (mesterséges) termékenyítést a növény- és állatnemesítésben egyaránt alkalmazzák.



58. ábra A zárvatermő növények fejlődési ciklusa

A növények embrionális fejlődése a csíra képződéséig, a mag éréséig és nyugalmi állapotáig tart. A posztembrionális fejlődés a csírázással veszi kezdetét. Vannak egyéves, kétéves, valamint lágy- vagy fásszárú egyszer virágzó többéves és többször virágzó többéves (évelő) növényfajok.

A növénybiotechnológia széles körben alkalmazza a mezőgazdasági szempontból jelentős fajok haploid indukciójának lehetőségeit (in vitro andro- illetve ginogenézis = gör. férfi ill. nő) a fejlődő pollen és a termékenyítetlen virágkezdemény felhasználásával (portok-, mikrospóra-kultúra, illetve ovárium-, ovulum-kultúra), az embrió-kultúrát (tenyészetet) pedig rendszertanilag vagy származásilag távoli keresztezésekhez.

9.2.2 A magasabbrendű állatok szaporodása

A megtermékenyítés (kopuláció, amfimixis) helye lehet az anyaszervezeten kívül (külső megtermékenyítés), vagy az anya szervezetében (belső megtermékenyítés). A nemi szervek részben a testen belül helyezkednek el (belső nemiszervek), részben a testen kívül (külső nemi szervek).

Hímnős (hermafrodita) szervezetek ugyanazonon egyede termeli a pete- és hímivarsejteket, a váltivarúak esetében külön egyedek termelik a női és a hím gamétákat. A nemi jelleg elsődleges meghatározója az, hogy az illető egyed hím vagy női ivarsejteket termel-e. Az állatvilágban az ivarsejtek termelése az ivarmirigyekben (gonád) történik. Ha petesejtet termel (ovium, ovulum), a gonádot petefészkeknek (ovarium), ha hímivarsejteket (spermium), akkor herének (testis) nevezzük. A gonádok és a nemi szervek képezik az elsődleges nemi bélyegeket.

A here az ivarérettség elérésétől folyamatosan termel hímivarsejteket, és másodlagos hím nemi jelleget meghatározó hormonokat (androszteron). Az agyalapi mirigy elülső lebenyének gonadotrop hormonjai közül a tüszőérését stimuláló hormon (FSH) a spermiumok termelődését, a luteinizáló hormon (LH) a hormontermelést segíti. A prosztatata hormonszerű termékei a proszttaglandinok.

A petesejtek a petefészkek őssejtjeiből keletkeznek a magzati élet első hónapjaiban. Ezen diploid sejtek meiózisa is megindul, de az ivarérettségig szünetel, majd –az ember esetében 28 napos ciklusonként – következik be egy-egy petesejt meiózisének befejezése. A női nemi működés ciklusossága a petesejtek érésével együtt a nemi hormonok termelődésében és a méhnyálkahártya szöveti változásaiban is megnyilvánul. A petesejtek egy-egy tüszőben

érnek be, ahonnan kilökődnek (ovuláció). A tüsző sejtjei főleg ösztrogén hormont termelnek. Az ovulációt követően a tüsző sárgatestté alakul, amelynek hormonja a progeszteron. A két hormonnak a női nemi szervek fejlődésében és a normális nemi működés fenntartásában van szerepe. A méh nyálkahártyája rendszeresen felkészül a megtermékenyített petesejt befogadására, és – progeszteron hatására – a terhességet fenntartja. Amennyiben a megtermékenyítés nem következik be, akkor a méhnyálkahártya elhalt felső része leválik, majd a következő ciklusban újra felépül. Az agyalapi mirigy tüszőérlelő hormonja (FSH) közvetlenül serkenti a petefészek tüszőinek érését, ezzel ösztrogének termelését segíti elő. A luteinizáló hormon (LH) a sárgatest kialakulását segíti. Megtermékenyítés esetén a méhnyálkahártya hormontermelését a méhlepény veszi át, s a progeszteron termelése az LH-termelést gátolja, s ezzel a menstruációs ciklust lehetetlenné teszi (terhesség).

Környezet- és egészségvédelmi szempontból veszélyes az, hogy nők szervezete által kiválasztott ösztrogén eljut a szennyvízhálózatba, majd előbb-utóbb a felszíni vizekbe és más ivóvíz bázisokba kerül. Női nemi hormonok képesek bizonyos fajú halhívek nemének megváltoztatására. Az emberi táplálkozási láncba visszaforgatott víz ösztrogén tartalma pedig károsan hat a férfi termékenységre és kapcsolatba hozható a hererák megbetegedések számának növekedésével. Már ismeretes az a kémiai analízisen alapuló eljárás, amely képes alacsony koncentrációban is jelenlévő természetes eredetű és szintetikus hormon kimutatására.

Egyedfejlődés és növekedés az ivarsejtek összeolvadásakor (kopuláció), vagy szűznemzés esetén az ivarsejt barázdálódása kezdetén indul, esetleg akkor, amikor a bimbó a szülő szervezetéről leválik. Az egyed élete minőségi és mennyiségi változások sorozatából áll. A minőségi változásokat fejlődésnek, a mennyiségi változásokat növekedésnek nevezzük. A növekedés során az élőlény eléri a fajára jellemző testméretet. A két folyamat előfeltétele és egyben következménye is egymásnak.

Az egyedfejlődés (biomorfozisz) áll:

- A) embrionális stádiumból – metamorfozissal (átalakulás – pl. pete – lárva – báb – imágó, illetve átváltozás – pl. szitakötő), metamorfozisz nélkül (kifejlés – pl. egyenesszárnyúak) és
- B) posztembrionális stádiumból.

A növények növekedése elvileg folyamatos, indeterminált (élettartam, környezeti tényezők befolyásolják), ezzel szemben az állatok növekedése meghatározott, determinált. Pl. a gerincesek a csöves csontok végeinek elcsontosodására érik el jellemző faji méreteiket. Legtöbbjük az adult korra, a tenyészeretté, felnőtté válás korára fejezi be a növekedést.

9.2.3 A klón és a klónozás

A klón egyetlen szülői szervezettől vagy sejtől ivartalan úton származó utódok (sejtek vagy szervezetek, esetleg DNS) csoportja („sejtvonal”). Genetikai anyaga a szülőével megegyező, homogén.

A klónozás biológiai alapja és története elsősorban a növények testi szöveteivel végzett regenerációra és reprodukcióra nyúlik vissza. A **szomaklónok** a diploid növények zigóta eredetű testi szöveteiből származnak. A szomatikus szövetekből regenerált növények ivaros utódai között kimutatható genetikai különbségeket szomaklonális változékonyságnak nevezik. A **gametoklónok** az ivarsejtekből származó haploid, vagy rediploidizációt követően kapott kettős (doubled) haploid (DH) diploid növények.

Újabban kidolgoztak olyan sejtmag izolálási módszereket, amelyek biztosítják a maghártya megmaradását, és így a sejtmagok átvihetővé válnak egy másik sejtbe. A közvélemény által nagy érdeklődéssel kísért eféle állati, emberi klónozás során a donor élőlény egy sejtjének – embrionális őssejtjének – a magját egy sejtmagjától (így örökítő anyagának legjelentősebb részétől is) megfosztott petesejtbe ültetik („Dolly-technika”). Az eljárás transzplantációs célra alkalmas, vagyis jól használhatók a sejtterápiában, de továbbszaporítás (reprodukció) esetén vetéléshez, életképtelen vagy rendellenes utódok létrejöttéhez vezet. A klónozott állatok genetikai rendellenességekkel küszködnek. Klónozott marhák X kromoszómáinak 90 %-a hibás. A klónozási eljárás fejletlensége miatt a beültetésre kerülő maganyag instabillá válik, ami az örökítő anyag átadását negatívan befolyásolja. Ezen kívül a sejtosztódás során az utód génállományában drámai változásokat eredményező genetikai rendellenességek lépnek fel. Ennek ellenére számos embrió ki képes fejlődni, ám a fennmaradó enyhébb rendellenességek miatt gyakoriak a légzési, keringési problémák. (Dolly, a klónozott birka megszületéséhez 227 petesejtre volt szükség, és hízekonysága rendellenesen nagy, hét évet élt és betegségben pusztult el.) Az “ember-klónozásra” törekvő kísérletek különösen veszélyesek és bioetikai alapon elfogadhatatlanok. A sikeres ember-klónozásnak nincsenek meg a tudományos feltételei. Becslések szerint a klónozott emberi magzatok 99 %-a elhal a születés előtt, a fennmaradó 1 százalék röviddel a születés után halhat meg, vagy súlyos rendellenességek várhatnak rá. Ennek ellenére több orvos és biotechnológiai vállalat vezetője határozott nyilatkozatot tett az ember klónozásának megoldására, és az első klónozott bébi világrajöttéről felröppentek a hírek. Ha igazak, akkor a gyermek sokkal rosszabb eséllyel indul neki az életnek, mint természetes úton született társai.

– Az ember és az állatok génkészletének kombinálása, illetve a módszer ismerete hasznos lehet – hangsúlyozzák, de a kutatások, amelyekre a hibrideket létrehozó tudósok szabadalmi eljárásai kapcsán derült fény, rémisztőek. Az eddigi ember-szarvasmarha, ember-disznó hibrideket néhány nap múltán elpusztították. 1996-ban egy tudós ugyanígy saját szájnyalakahártyájának kenetéből nyert fehérvérsejt DNS-mintáit ültette örökítő anyagától megfosztott marhapetesejbe. A klón leginkább emberre hasonlíthatott volna, bár a karakterét meghatározó sejtek némelyike csekély mértékben eltért volna a megszokottól, valószínűleg a citoplazmális DNS miatt, ám sejtjei szarvasmarha mitokondriumait és mitokondriális DNS-eit hordozták volna. Valójában ma már számos ilyen jellegű kutatás folyik. Az USA korlátozza, 2001-ben az Egyesült Királyság, 2004-ben Dél-Korea engedélyezte emberi embrió klónozását őssejtek előállítására céljából. Az ember és a csimpánz génkészlete 95-98 %-ban megegyezik. Közeli rokon fajok hibridizálása több mint lehetséges. Az emberek és az állatok génkészletének kombinálása során felmerül a hátborzongató kérdés, hogy az emberi génkészlet hány százalékát kell a hibridnek hordoznia ahhoz, hogy emberi jogok illessék meg? Mivel az embernek nem csak embertársaival, hanem az állatokkal szemben is vannak kötelezettségei, bioetikai alaptörvény az, hogy ne tegyen meg mindent, amire képes. Az állatvédők is tartanak az efféle kegyetlenkedésektől, például comb- vagy mell- klóncsirkék gyártásától. 2004 óta veszélyeztetett fajok (pl. panda, jávai szarvasmarha, afrikai vadmacska) megmentésére szövetmintákat gyűjtenek klónozás végett. Célszerűbb lenne fennmaradásuk érdekében élőhelyeik védelme. Egy másik klónozási eljárás szerint 2000-ben nyolcsejtes rhesusmajom szedercsírát „szeleteltek” fel négyszer kétféle, genetikailag teljesen azonos utódokra.

Az emberklónozás társadalmi visszhangja a publicisztika területén is visszaverődik. Umberto ECO (1997) élesen fogalmaz: *“A technika új, de az emberklónozás csak ugyanazt próbálná ki ismét, amivel annak idején a nácik próbálkoztak... A klónozás körüli tudományos-fantasztikus csűrés-csavarást valami együgyűen materialista determinizmus lengi be, amely szerint az ember sorsa csakis az öröklött génállománytól függ. Mintha mit sem számítana a nevelés, a környezet, a véletlenek alakulása, a táplálkozás, a testi aktivitás... Emberi lényeket klónozni csakis nagyon rossz beruházás lehet. Ki az a nagy ember, aki szívesen kockáztatná, hogy karikatúraként él tovább? Szóval mégiscsak tanácsosabb a régi módszerrel gyereket csinálni...”*

10 Öröklődés és változékonyság

Az öröklékenység és változékonyság minden élőlény azon alapvető sajátossága, hogy elődeitől tulajdonságokat örököl, és ezeket utódaira képes átadni, így megőrizni, konzerválni tudja a faj sajátosságait (konzervativizmus), ugyanakkor az adott környezeti tényezőkhöz alkalmazkodva (adaptáció), megváltozott környezet hatására új tulajdonságokat szerez, vagy régieket elveszít, tehát változékonny (variabilitás). A DNS molekulában tárolt információk a szaporodás folyamatában egyik nemzedékről a másikra öröklődnek. A környezeti kényszerfeltételek a nem alkalmazkodó variánsok szelekcióját eredményezik. Az örökléstan tudománya, a genetika, gyakorlatilag MENDEL 1854-től kezdve végzett minőségi tulajdonságok öröklődésére irányuló vizsgálatain alapul, amelyek jelentőségét csak halála után, 1900-ban ismerték fel.

MORGAN *kromoszóma-elmélete* szerint minden ivaros szaporodás útján létrejött egyed kromoszómáinak felét az anyjától, felét az apjától kapja (pl. az ember 46 kromoszómájából 23 anyai, 23 apai eredetű). Ha tehát egyenlőség jelet tennénk egy mendeli "tényező" és egy kromoszóma között, majd figyelembe vennénk, hogy az diploid úton két haploid ivarsejt összeolvadásából jön létre, megmagyarázható lenne az első két MENDEL-szabály (uniformitás, tulajdonságok hasadása), de nem magyarázható meg a harmadik (szabad rekombináció – ld. a köv. fejezetben). Az egy tényező = egy kromoszóma feltételezése túlhaladott, az összefüggés nem lehetséges.

JOHANNSEN *génélméletének* eredeti megfogalmazása szerint a kromoszómákon belül lévő apró, kb. kromomérákkal analóg részek száma sokszorosán meghaladja a kromoszómák számát és megegyezhet a tulajdonságok számával (ebben az esetben 1 gén = 1 "fén"). A gének működésének következtében adott környezeti feltételek között kialakult egyedi külső megjelenés a fenotípus, a megfigyelhető tulajdonságokhoz tartozó genetikai háttér a genotípus.

A genetika *információs elmélete* (ld. 5. fejezet) szerint egy gén a DNS molekulalánc olyan hosszú szakasza (több száz DNS triplet), amely egy polipeptid lánc képzéséhez szükséges információkat hordozza. A gének (lokuszok = pontok) a kromoszómákon lineárisan helyezkednek el. Bizonyos tulajdonságok öröklődése egymással kapcsolatos (kapcsolt tulajdonságok). A diploid szervezetekben minden génből kettő található, amelyek az anyai és az apai kromoszóma ugyanazon helyén helyezkednek el. A részben anyai, részben apai eredetű génváltozatokat, amelyek az egyed valamely tulajdonságát meghatározzák, alléleknek nevezzük. A "vad allél" az a természetes, változatlan génpár, amely nem ment át mutáción,

szemben a mutált alléllal. A populációkban egy-egy gén alléljainak száma $10^2 - 10^3$ lehet, ezzel szemben haploid sejtekben minden génnek csak egyik vagy csak másik, diploid sejtben pedig csak két allélja lehet jelen. Egy gerinces faj egyedében a gének száma több tízezer, és ezeknek számtalan allélja fordulhat elő. Így minden egyed teljesen egyéni génkészlettel rendelkezik. A genotípusok óriási változatossága eredményezi a fajon belüli fenotípusos változatosságot. A szülőktől örökölt tulajdonságok esetén két lehetőség áll fenn. Az allél mindkét tagja azonos tulajdonság információját hozza – homozigóta. Az allél egyik tagja a másiktól eltérő információt továbbít – heterozigóta vagy hibrid. Az élőlények nagy része polihibrid.

10.1 Minőségi bélyegek öröklése

A **gaméták (ivarsejtek) tisztaságának elve** azt jelenti, hogy az ivarsejtek - redukciós magosztódással keletkezvén - csak valamely tulajdonságpár egyikét meghatározó gént hordozzák. Az egyik gén adott esetben lehet a másik - a recesszív - fölött domináns az öröklődés során. Az **uniformitás szabálya** azt mondja ki, hogy a homozigóta szülők keresztezéséből származó F1 utódnemzedék minden tagja genotípusosan és fenotípusosan egyforma; és vagy a domináns szülő tulajdonságát mutatja, vagy köztes jellegű annak megfelelően, hogy domináns-recesszív vagy intermedier öröklésmenetről van szó. A **szegregáció (hasadás, mendelezés) szabálya** szerint a tulajdonságok nem olvadnak össze az F1 nemzedék heterozigóta egyedeiben, hanem az F2 utódgenerációban változás nélkül megjelennek, és meghatározott számarány szerint hasadnak. A hasadás aránya genotípus tekintetében eltér a fenotípusos megjelenés alapján tapasztalható aránytól. A **szabad kombináció szabálya** szerint az F2 nemzedékben az eredeti szülői formáktól eltérő kombinációk is megjelennek, és a tulajdonságok a további utódnemzedékekben már egymástól függetlenül öröklődnek és kombinálódnak. A függetlenül öröklődő tulajdonságok mellett vannak együttesen öröklődő jellegek is, amelyeket a kromoszómák meghatározott szakaszain, közel szomszédságban lévő *kapcsolt gének* okoznak.

A **rekombináció** a meiózis jelensége, és az élőlények genetikai változékonyságának egyik alapja. A homológ kromoszómák egy-egy kromatidájukkal átkereszteződve bizonyos szakaszaikat kicserélik egymással (*génkicserélődés*).

A gének egymáshoz viszonyított átörökítő szerepe és hatásaiknak megnyilvánulása határozza meg az **öröklésmenetet**. Ha az allél egyik génjének “átörökítő ereje” nagyobb, akkor domináló lesz ez a tulajdonság, és a másik gén által hozott tulajdonság rejtve marad. Ezt

nevezzük eltérő erejű, *domináns-recesszív* vagy heterodinám öröklésmenetnek. Jellegzetes változata a *kodominancia* (pl az emberi ABO vércsoport rendszer létrejöttét három allél (a domináns I^A és I^B , a recesszív i) határozza meg. (A genomban levő domináns bélyegeket latin nagybetűvel (A), a recesszíveket latin kisbetűvel (a), a plazmában levőket – ld. később – görög betűvel (α) szokás jelölni).

Ha az allél két génje egyforma átörökítő erejű, akkor jön létre az *intermedier*, köztes vagy homodinám öröklésmenet. A természetben előfordul az is, hogy egyetlen tulajdonság kialakításában több allélpár vesz részt (pl. házityúk tarajformák), vagy egy allélpár egynél több tulajdonság kialakítását végzi.

A homo-, illetve heterozigótáság, ha "egészséges" génekről van szó, közömbös lehet, de nem az, ha a gének betegséget hordoznak. Ilyen esetekben a homozigótáság előnytelen, de a heterozigótáság előnyös lehet. A homozigótáság előnyteleniségének mértéke különböző fokú:

- ha az utódok 100 %-a még a születés előtt elpusztul, letális (halálos) faktorról szokás beszélni.
- ha az utódok 50 %-a pusztul el születés előtt, és 50 %-a hosszabb-rövidebb idő múlva születés után, szubletális faktorról van szó.

Az egyik legismertebb letálfaktor a vérzékenység, a hemofília: a véralvadás tényezője az X nemi kromoszómához kötött. A betegséget a nőnemű egyed viszi át anélkül, hogy maga megbetegednék. A betegség csak férfiakban alakul ki. Az X kromoszómához kötött tulajdonságok összességét *nemhez kötött* öröklődésnek nevezzük.

10.2 Mennyiségi bélyegek öröklése

A mennyiségi bélyegekre a MENDEL-szabályok nem mindig érvényesek, mert kialakulásukat nem egy, hanem nagyon sok gén közös működése határozza meg.. Ha egy mennyiségi bélyeget veszünk figyelembe, az F_1 generáció nagyon sok tagjának értékeit átlagot képezve kell elfogadni. Adott populáció (sokaság) egyéni egyedi teljesítményeit grafikusán ábrázolva ún. GAUSS-görbét kapunk.

10.3 Extranukleáris öröklés

A citoplazmában elhanyagolható mennyiségű szabad DNS van, de található DNS, a mitokondriumokban, a színtestekben, a citocentrumban, a blefáropasztban.

A DNS-en kívül bizonyos informatív képességgel az RNS, főleg az mRNS is rendelkezik. Ennek a plazmában levő mRNS-nek rendkívül döntő szerepe van az egyedfejlődésben. Mivel a spermiumok plazmomerje gyakorlatilag mRNS mentes, de a petesejt plazmája tartalmaz gátolt mRNS-t, minden olyan bélyeget, amely ennek az mRNS-nek a közreműködésével jön létre, anyai öröklésűnek nevezzünk. A plazmában található gének összességükben alkotják a plazmont.

10.4 Változékonyság (variabilitás)

10.4.1 Mutáció

Modifikációnak nevezzük a környezeti hatásra időlegesen fellépő, nem öröklődő változásokat. **Mutáció**nak nevezzük azt a folyamatot, amelynek során ugrásszerűen lépnek fel olyan új tulajdonságok, amelyek átöröklődnek. A mutációk a sejtmag DNS állományában bekövetkező változások eredményei.

A mutáció folyamán bekövetkező változások lehetnek:

- pontmutáció,
- kromoszómamutáció,
- genommutáció.

A mutáció helye lehet: az ivarsejt (gamétamutáció) és valamelyik testi sejt (szomatikus mutáció); létrejöhet: beavatkozásra (indukált) vagy "spontán", beavatkozás nélkül.

A mutációk valószínűségét a *mutációs rátával* fejezzük ki. Nem minden pontmutáció jelent a DNS-molekulán helyrehozhatatlan sérülést. Vannak olyan enzimek, amelyek a sérült DNS-szakaszt kiiktatják, és a hiányt pótolják (reparációs enzimek).

A kromoszómamutációk a deléción, multiplikáción, inverzió, transzlokáción (kiesés, megsokszorozódás, megfordulás, áthelyeződés). A genommutáció a kromoszómaszám megváltozása (megtöbbszöröződés - poliploidia, kromoszóma többlet vagy hiány – aneuploidia), amelynek következménye eltérő, beteg, esetleg életképtelen utód, vagy öregedő, esetleg daganatos szervezet.

A tulajdonságok kialakításában részben genetikai sajátosságok, részben környezeti tényezők játszanak szerepet. Annak megítélésére, hogy egy bélyeg kialakításában mennyi része

van az öröklésnek és mennyi a környezetnek, az *örökölhetőségi együttható* (hereditabilitási koefficiens, h^2) használható:

$$h^2 = \frac{\sigma^2 G}{\sigma^2 P}$$

$\sigma^2 G$ = genotípusban levő eltérés

$\sigma^2 P$ = fenotípusban levő eltérés.

A h^2 értéke 0 → 1-ig terjedhet. A 0 közelében levő értékek meghatározásában a környezeté a döntő szó. 1 közelében a bélyeg kialakításáért döntő mértékben az öröklődés a felelős.

11 A populációbiológia és az evolúció

11.1 Populációdinamika

A populációkat nem egymástól időben elkülönülő, hanem együttélő, átfedő nemzedékek alkotják, ezért jellemző rájuk a *korcsoport összetétel*. A *korfa* a korcsoport összetételt szemlélteti a nemek bontásában. A populáció fejlődő, stabil vagy elöregedő (kihaló) jellege a *szaporodási* és a *halálozásai rátától* függ (egyedszámra viszonyított éves születések illetve halálozások aránya). Befolyásolja a *termékenységi program* (a nőivarú egyedek milyen korban és hány utódot hoznak létre) és a *túlélési program* (az utódlást követően a szülőpopuláció meddig él együtt az utódokkal).

A populáció létszámnövekedése *exponenciális* vagy *logisztikus* (S-függvény). Az *r-stratégista* élőlények nagy szaporodási rátával, hatványozott létszámnövekedéssel érik el a környezeti források eltartóképességének határát. Ezt követően összeomlanak, vagy más élőhelyekre terjednek át [(járvány – epidémia (lokális), pandémia (transzkontinentális vagy globális); gradáció (váratlanul gyors, tömeges elszaporodás), invázió (tömeges meghódítás)]. A *K-stratégista* élőlények populációi kezdetben exponenciális növekedési ütemben, majd a környezet eltartóképességétől függő arányban csökkenő ütemben (vö. telítődési görbe) növekednek az eltartóképesség határáig.

11.2 Populációgenetika

A populáció génállományának fennmaradásához az egyedek szaporodásuk során, génjeik átadásával hozzájárulnak. A génállomány a populációban lévő allélok összessége,

amely megoszlik a populációt alkotó egyedek között. A *géngyakoriság* kiszámítása az allélok relatív gyakorisága alapján egyszerű matematikai egyenlet segítségével elvégezhető. Amennyiben a populáció külső hatástól, gén ki- és bevándorlástól mentes, egyedszáma nagy, egyedei párválasztási preferencia nélkül szaporodnak, akkor kizárólag rekombináció útján az allélgyakoriság az egymást követő nemzedékek során nem változik meg (HARDY-WEINBERG szabály):

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1. \quad \text{Az A allél relatív gyakorisága } p, \text{ az a allél relatív gyakorisága } q.$$

(Emlékeztetőül, az F1 nemzedékre a $p + q = 1$ összefüggés érvényes!)

Ezzel szemben új *mutánsok* gyakori megjelenése, tartós *genetikai sodródás*, erős *alapító hatás*, rendszeres *génáramlás* megváltoztatja a géngyakorisági arányokat. A populáció egyedeinek nem azonosak a túlélési esélyei sem. A faj fennmaradása szempontjából legelőnyösebb allélok szelekció révén válogatódnak ki és terjednek el a populációban. Az illető allélnak a populációban történő sikeres elszaporodása a *rátermettség*, annak valószínűsége, hogy egy adott genotípus megjelenik a következő nemzedékben.

A mutációval keletkező allélok közül elsősorban azok maradnak meg, amelyeknek *adaptív értékük* van, vagyis hozzájárulnak a populáció környezetbe illeszkedéséhez. Az adaptáció *természetes szelekcióval* valósul meg, amelyhez a mutáció teremti meg a „választékot”. A természetes szelekciónak *stabilizáló*, *szétválasztó* és *irányító* típusai vannak.

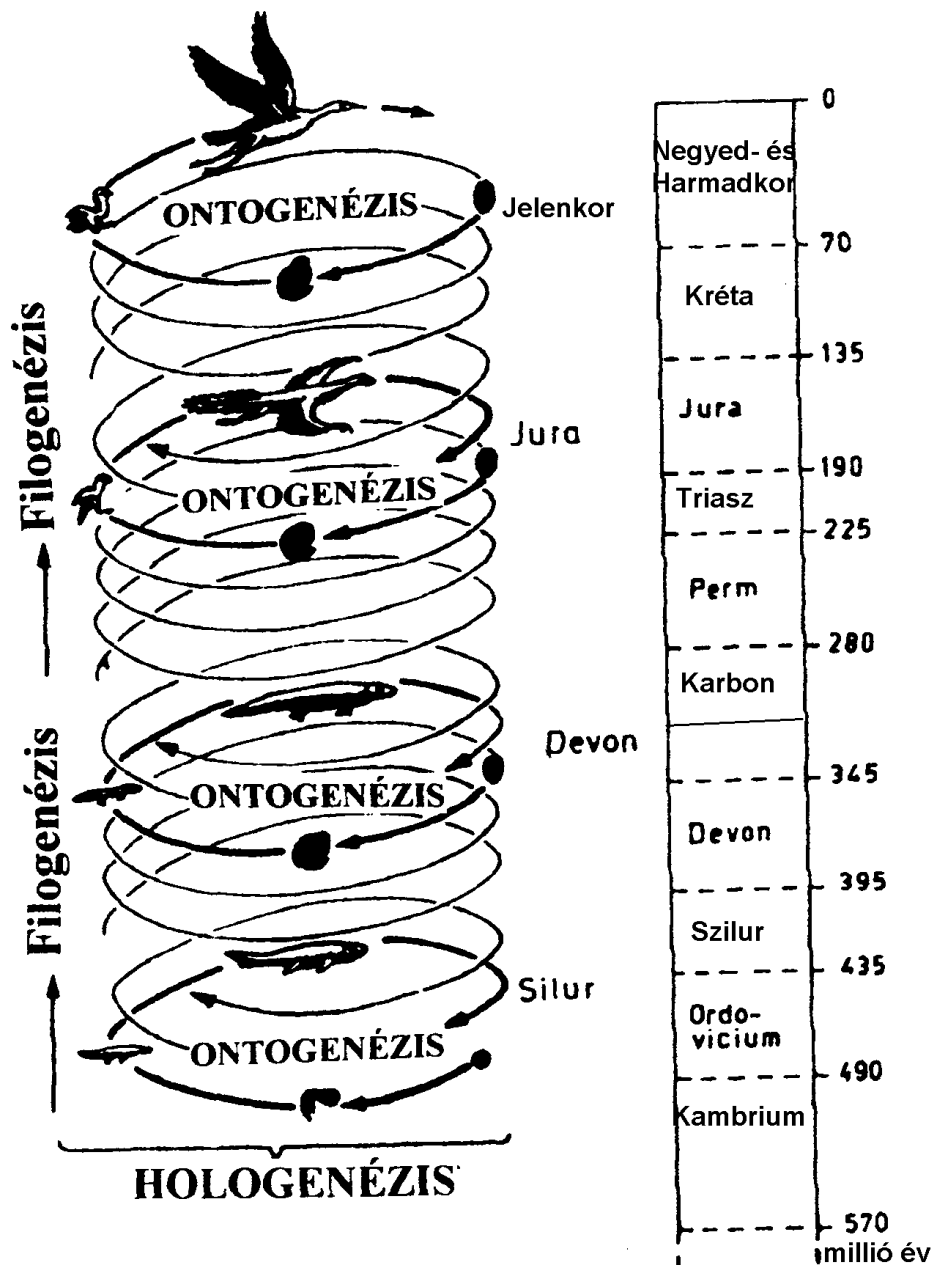
11.3 Evolúció – biotikus evolúció

Az evolúció (lat.) alapjelentése előgörgetés, kibontás, kibontakozás. A filozófiában fokozatos, ugrás nélküli változást jelent. Társadalmi értelemben is egy a fokozatos, egyenletes, lassú fejlődéssel, szembenállítva a revolúcióval, azaz a gyors, forradalmi, gyökeres átalakulással.

Az *evolúciós spirál* a szellem önfejlődésére vonatkozó hégeli triada materiális értelmezése (60. ábra). Biológiai értelmezés szerint az élővilág fejlődése a természetes kiválasztódás és a fajok fokozatos átalakulása alapján. A fajok az egyedfejlődésük embrionális szakaszában mintegy rövidítve megjárják a törzsfajlásuk során megtett „utat”. A fejlődés előremutató; „visszafajlás” nincs. Az egyes részfolyamatokat minden esetben az adott evolúciós szituációban kell értelmezni – pl. a csökevényesedés (rudimentalizáció), egyszerűsödés, bonyolultabbá válás jelenségeit. A törzsfajlás során egyszer elveszített

tulajdonságok általában nem térnek vissza, analóg megoldások helyettesíthetik azokat. A különböző jellegek törzsfejlődése során ugyanakkor homológ jelenségek is érvényesülnek.

A biotikus evolúció tehát a fajok folyamatos változása, egymást követő generációinak, leszármazási vonalainak genetikai átalakulása, amelynek során az élőlények szervezetségi (organizációs) foka és alkalmazkodó képessége változik, és mindez új faj képződéséhez (speciáció) vezet. (Ld. 5. fejezet)



59. ábra Az egyedfejlődés és a törzsfejlődés folyama

A mikroevolúciós folyamat, a több nemzedéken keresztül ható, állandó genetikai változások sorozata, a fajok átalakulásának és a fajkeletkezésnek az alapja. A populációk rekombinációval kialakult géngyakoriságát a mutáció és a génáramlás megváltoztatja. A természetes szelekció a legrátermettebb egyedek elterjedésén keresztül segíti a populáció és a környezet közötti adaptációt. A legtöbb faj populációi azonban kisebb-nagyobb mértékben különböznek egymástól. Ez egyrészt a faj adaptációs képességét, másrészt az illető populációk elszigetelődését eredményezi. Megindul a speciáció, a fajkeletkezés folyamata. Az elszigetelődés, a populációk közötti szabad génáramlás és a kereszteződés megszűnése, lehet földrajzi eredetű (kontinensek vándorlása, hegyvonulat...) vagy biológiai (anatómiai, ivarzási különbségek) *izoláció* kialakulása. Ezt követheti az *adaptív irradiáció*, a populációk szétterjedése új élőhelyekre, és fokozatos alkalmazkodása az új környezethez. A közös ősből származó fajok egyre nagyobb mértékben térhetnek el egymástól. Ez a *divergencia*, eltávolodó irányba tartó fejlődés jelensége, amellyel a legkülönbözőbb ökológiai szerepek betöltésére válhatnak alkalmassá a szétváló fajok. A fajkeletkezés lehetséges módja a fajkereszteződés is.

A fajok környezeti alkalmazkodását LAMARCK helyezte előtérbe (*korai evolucionizmus*). A DARWIN-féle *szelekciós elmélet* (1859) a legrátermettebb, a legalkalmazkodóképesebb túlélését feltételezi. A *neodarwinizmus* képviselői (1900-1930) alapozták meg az evolúció genetikai elméletét embriológiai, citológiai és genetikai alapokon. Az *evolúció szintetikus elmélete* (1935-1960) tartalmazza a populációgenetika, a populáció-ökológia és az etológiai (viselkedéstan) elemeit, egyed feletti viszonyítási tartományban. Az *evolúció rendszerelméletének* fejlődése 1975-től kezdődött.

Az evolúciós változások egyik lényeges feltétele a sokféleség, változatosság (a diverzitás) megléte. Az uniformitás evolúciós zsákutca, amely rövid távon előnyökkel szolgálhat, de hosszú távon kipusztulásra van ítélve. Az evolúció tudományát ugyanígy a sokféleség jellemzi. Az evolúciós elmélet a földfelszín, a légkör kialakulására, az első élő rendszerek megjelenésére, a szellemi, társadalmi fejlődésre, és a bioszféra fejlődésére egyaránt alkalmazható.

11.3.1 A szellemi evolúció

Az emberiség társadalmi fejlődését cikk-cakk vonalas grafikonnal szokták szemléltetni, a haladás és a katasztrófák okozta felemelkedések és visszaesések miatt. A görbe meredeksége az evolúció vagy a revolúció hatására változó. A tudományos és technikai fejlődést pedig úgy

képzelik el, hogy a múlt örökségét minden korszak lépésről-lépésre új adatokkal, új eredményekkel gazdagítja az emberiség ismereteinek tárára. A szerves növekedés fogalmi szerinti civilizáció az őskor hiedelemvilágától jutott el a mai tudásalapú társadalmakig, ahol a korábban uralkodó mítosz és mágia a racionalitással szemben háttérbe szorul. Azonban a tudomány, és ezen belül a természetfilozófia fejlődése sem egyenletes. Az agyvelő idegsejtjei tízmilliárdjainak hálózatában potenciálisan benne rejtezik a teljes matematika. Európa a 15. században kevesebbet tudott a geometriáról, mint ARKHIMÉDÉSZ idején, vagy kevesebbet az orvostudományról, mint a hozzá legközelebb élő arab civilizáció. A felfedezések története taláalomra tett eredményes expedícióknak tűnik. Az evolúciós genetika nagy feladata megmagyarázni azt, hogy az ember hogyan válhatott a biológiailag többé-kevésbé változatlan barlanglakóból úrutazóvá. (V.ö. 8.4.2. fejezettel.)

A természetes kiválogatódásnak meg lehet a párhuzama a mentális evolúció világában. Az új elgondolások oly váratlanul bukkannak fel, mint a mutációk. Fennmaradásukért állandó, ádáz harc folyik, többségük arra esélytelen. Az új gondolatok sokaságából csak azok maradnak meg, amelyek a kor szellemi milliójéhez alkalmazkodnak, amelyek környezetükkel megfelelő viszonyt alakítanak ki, és a hozott eredmények jelzik elszaporodásukat. Vannak olyan "eszmei mutációk", amelyek csak jóval később bizonyulnak hasznosnak, és vannak olyanok, amelyek eredeti funkciójukat elvesztett evolúciós emlékekké válnak: *"a modern tudomány történetében is bőszegesen akadnak féregnyúlványok és elcsökevényesedett majomfarkak"*.

A biológiai evolúció és a gondolkodás története egyaránt rendelkezik átmeneti korszakokkal és válságperiódusokkal. A földtörténeti katasztrófák nagy, drámai kihalásokat eredményeztek. Máskor a fejlődés robbanásszerűen ágazott szét minden irányban, vagy egy élőlény(csoport) vált egyeduralkodóvá időlegesen. A gondolkodástörténet kritikus periódusainak tekintik a Krisztus előtti hatodik és a Krisztus utáni 17. századot. Az adaptív radiáció szakaszában a gondolatok képlékenyek, alakíthatók. Az újonnan kijelölt irányok mentén bekövetkezik a stabilizáció, és ha a specializáció túlzott, a folyamat zsákutcába torkollhat, bármely gondolat dogmává merevedhet.

Az evolúciós folyamat a szerkezet differenciálódásaként és a funkciók integrációjaként értelmezhető. Az egész nem részeinek összegeként, hanem a részei közötti összefüggések mintázataként definiálható. Új szintézis sohasem keletkezik az evolúció különböző, teljesen kifejlődött vonalainak összevonásával. Új evolúciós utak csak a fejlődés korábbi szakaszainak túlspecializálódott, megmerevedett struktúráinak lerombolása után kezdődhetnek. A tett, ami

kiragad egy dolgot vagy eszmét megszokott összefüggéseiből, és új viszonylatokba helyezi azt, egyszerre teremt és rombol. Például a kémia és a fizika akkor válhatott eggyé, amikor a fizika szakított a klasszikus anyagfelfogással, azaz lemondott az atom oszthatatlanságának és áthatolhatatlanságának elvéről, a kémia pedig feladta a végső és változtathatatlan elemek doktrínáját.

11.3.2 A bioszféra evolúciója és a Gea-hipotézis

Radiometriás kormeghatározási módszerek szerint a meteoritok mintegy 4,6 milliárd évesek lehetnek. Amennyiben naprendszerünk bolygói, a meteoritok és a naptörmelékek egy ősi kozmikus ködből nagyjából egyidőben keletkeztek, úgy Földünk 4,6 milliárd éves lenne. A bolygó keletkezése és a – mintegy 600 millió évvel ezelőtt kezdődött – prekambium korszak között eltelt időszakról nem sokat tudni, s ez különösen érvényes a kémiai evolúció tekintetében. A hatvanas évek végéig úgy tartották, hogy az élet első bizonyítékai a Dél-Zimbabweban feltárt 2,7 milliárd éves stromatolitok, fotoszintetizáló sejtes szervezetek maradványait tartalmazó mészkő kőületek. Azóta már 3,2-3,8 milliárd éves életre utaló molekuláris és mikrokőületekre bukkantak. A Föld lehülését követően legősibb kőzeteinek keletkezését 3,98 milliárd évre teszik.

WÖHLER 1828-ban állított elő karbamidot, majd azt követően nagyszámú szerves vegyületet szintetizált. Ezzel megszüntette a szervetlen és a szerves világ közötti határvonalat. Az élet keletkezésére vonatkozóan PASTEUR (1864) rombolta le a heterogenezis mítoszát (azt, hogy elhalt szerves anyagból élőlények keletkezzenek – tehát pl. fűrészporból bolhák, döghúsból méhek). OPARIN vetette fel 1924-ben, hogy a bonyolult molekularendszerek és az élő szervezetek működései a korai és élettelen Földön létező egyszerűbb molekulákból fejlődtek ki. Ezzel az abiogenezis elmélete erősödött meg, és a kémiai evolúció szerepére irányult a kutatók figyelme. HALDANE 1928-ban tanulmányt tett közzé, miszerint az ibolyántúli sugárzásnak a Korai földi légkörre gyakorolt hatása nyomán egyre növekvő koncentrációban képződtek cukrok és aminosavak az ósóceán vizében. (Az élet végső soron ebből az őslevesből keletkezett.) BERNALL munkája 1947-ben az elképzelés kidolgozottabb változatához vezetett. UREY későbbi feltételezése szerint a korai Föld légköre redukzív atmoszféra volt, amely később, az evolúció során vált oxidatívává, az szolgáltatott mind kedvezőbb feltételeket a szerves molekulák szintéziséhez. 1953-ban – amikor WATSON és CRICK javasolta a DNS kettős spirál szerkezetére napvilágot látott – megjelent MILLER beszámolója, a prebiotikus

evolúcióról, a biológiai evolúciót megelőző fejlődési mechanizmusról, vagyis a kémiai evolúcióról.

PRIGOGINE és munkatársai (1972) az egyensúlyi termodinamika alapján (v.ö.: 1.2. fejezet) annak valószínűségét, hogy az élet spontán a jelenlegi formájában alakult volna ki, elenyészően kicsinek, sőt valószínűtlennek tartják.. A kémiai evolúció modern elméletét, amely a 20. század második felében túlsúlyba került, OPARIN, HALDANE, BERNAL és UREY alapvetése nyomán dolgozták ki. A korai Földről szerzett ismereteink gyarapodásával azonban a kémiai evolúció elmélete is jelentős változásokon ment át. Az evolúciós elméletekben a legfeltűnőbb változások egyike az, hogy az abiogén szintézis becsült időigénye megrövidült. PONNAMPERUMA és WOESE (1979) szerint meglehet, hogy az élet a Földdel egyidős, sőt eredete a bolygó születésének velejárója is lehetett. Ma Naprendszerünk bolygóin keresik az élet jeleit.

*Áldjon, Uram, mi Földanya-nénénk,
ki tart és táplál minket, hogy megélnénk
ki füvet hajt és gyümölcsöt terem és sok színes
virággal élénk*
Assisi Szent Ferenc: Canticum di Frate Sole
Dsida Jenő ford.

LOVELOCK angol kémikus, biológus és feltaláló, akinek nevéhez fűződik többek között az electron capture detector bevezetése, az 1970-es évek elején tette közzé a **Gea-hipotézist**. Az a lényege, hogy Földünk nem tehető az élő és élettelen alkotórészek additív konglomerátumának, hanem a négy milliárd éves evolúció alatt az inorganikus és az organikus szféra integrálódott, s az új képződmény önálló élőlény sajátosságait mutatja (v.ö. 1. fejezet).

(Energiafelvétel és növekedés) A napfény energiája a növényeken keresztül beépül a földi bioszférába. A mintegy 3,5 évmilliárd év folyamán megtermelt biomassza a föld tektonikus cirkulációja következtében a földkéreg mélyebb rétegeibe is eljutott, vagyis az abiotikus szervesanyag beépült az inorganikus földkéregbe (szén-, kőolaj- és földgázkészletek), a bio- és az inorganikus szféra közötti határ elmosódott. Keletkezése óta a Föld az anyag egyre rendezettebb formáit mutatja, vagyis a környezetből való energiafelvétel és ezzel kapcsolatos növekedés és entrópia-csökkenés tekintetében élőlénynek látszik.

(Környezethez való alkalmazkodás) A Föld keletkezése óta a napsugárzás intenzitása kb. 30 %-kal növekedett. Ennek ellenére a Föld hőmérséklete nagyjából állandó maradt. Az oxigéndús, széndioxidban szegény atmoszféra kifejlődése adaptív válasz volt, ami lehetővé teszi a földi élet túlélését és a bioszféra további növekedését. A Föld élő és élettelen komponensei önszabályozó rendszert alkotnak, amely a Föld homeosztázisát (ld. 8.2.3. fejezet) biztosítja. Ebben kulcsszerepet játszik az atmoszféra, legfőképpen az atmoszférikus széndioxid-koncentráció egy negatív visszacsatolású szabályozó rendszer elemeként. Újabban bebizonyosodott a dimetilszulfid (DMS) és más vegyületek, szilárd részecskék regulátor szerepe is.

(Proliferáció) Az osztódóképesség valószínűtlen, élettelen égitestek kolonizációja a Földről egyelőre a tudományos fantasztikus irodalom (science-fiction) tárgya. Elvileg a Naprendszer valamelyik bolygójának Gea-szerű kolonizálása nem megoldhatatlan. Előfeltétele a kozmikus mentalitás kialakítása.

Ma még azonban a környezetünk védelmének térbeli “gondolkodj globálisan és cselekedj lokálisan” és időbeli “a Földet unokáinktól kaptuk kölcsön” elveit sem vagyunk képesek betartani. Féltő, hogy e nemes gondolatok közhelyekké silányulnak.

KOESTLER – akinek gondolataival sokszor találkoztunk e jegyzet lapjain – az 1950-es évek közepén írta: *“A belátható jövőben tehát az ember megsemmisítheti önmagát – vagy elérheti a csillagokat. Kétséges, hogy a végső elhatározásban játszhat-e szerepet bármiféle észérv, de ha igen, a jelen veszélyhelyzethez vezető eszmék evolúciójának világosabb ismerete tehet bizonyos jó szolgálatokat.”* HARDIN még keményebben fogalmaz: *“Az ember végzete sok komponensből áll, de talán legtragikomikusabb az a közömbös értetlenség, amellyel a társadalom zöme bután és mindig másra figyelve tapasztalja azoknak a hatalmas erőknek a működését, amelyek immár bármikor az emberiség végét okozhatják.”*

Mielőtt véglegesen elkeserednénk, merítsünk erőt SZENTGYÖRGYI Albert megrendítően fenséges *Psalmus Humanus*ának negyedik és ötödik zsoltárjaiból!

12 Felhasznált és ajánlott irodalom, az ábrák forrásai (*)

- Csányi Vilmos 1970: Sejtbiológia. Gondolat, Budapest (*)
- Eco, Umberto 2001: Gyufalevelek. Európa, Budapest
- Gánti Tibor 1971: Az élet princípiuma. Gondolat, Budapest
- Koestler, Arthur 1996: Alvajárók. Európa Könyvkiadó, Budapest
- Láng Ferenc (szerk.) 1977: Biológiai stúdium. Tankönyvkiadó, Budapest (*)
- Lénárd Gábor 1994: Biológia IV. 6. kiadás Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (*)
- Lénárd Gábor 1995: Biológia III. 7. kiadás Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (*)
- Libbert, Eike 1991: Allgemeine Biologie. 7. Aufl. UTB G. Fischer, Jena (*)
- Lorenz, Konrad 1994: A civilizált emberiség nyolc halálos bűne. Ikva, Budapest.
- Szathmáry Eörs - Maynard Smith, John 1997: A földi élet regénye. Tudomány – Egyetem, Vince Kiadó, Budapest
- Szabó István 2000: Növényökológia. In Turcsányi S. (szerk.): Mezőgazdasági növénytan. 4. kiadás. Mezőgazdasági Szaktudás. Budapest
- Szabó T. E. Attila 1975: Szerkezetek és rendszerek a növényvilágban. Kriterion, Bukarest (*)
- Szent-Györgyi Albert 1973: Az élő állapot. Válogatott írások. Kriterion, Bukarest
- Szent-Györgyi Albert 1989: Az örült majom. Gyorsuló idő. Magvető Kiadó, Budapest
- Thraxton, Charles B. – Bradley, Walter L. – Olsen, Roger L. 1997: Az élet eredetének rejtélye. A kortárs elméletek újraértékelése. Harmat, Budapest
- Watson, James D. 1970: A kettős spirál. Gondolat, Budapest