



BAUER ZITA
BIHARINÉ DR. KREKÓ ILONA
FÜLÖP VERONIKA
KANCZLER GYULÁNÉ DR.
DR. SZURDOKI ERZSÉBET
DR. VITÁLYOS GÁBOR ÁRON

TERMÉSZETISMERET

az ELTE TÓK hallgatóinak

B I O L Ó G I A

TERMÉSZETISMERET II.

BIOLÓGIA
az ELTE TÓK hallgatóinak

ELTE Tanító- és Óvóképző Kar

TERMÉSZETISMERET II.

BIOLÓGIA

az ELTE TÓK hallgatóinak

Írta:

Bauer Zita, Bihariné dr. Krekó Ilona, Fülöp Veronika,
Kanczler Gyuláné dr., dr. Szurdoki Erzsébet Piroska,
dr. Vitályos Gábor Áron

Szerkesztette:

dr. Szurdoki Erzsébet

Lektorálta:

B. dr. Zsoffay Klára

Ábrákat készítette:

Bärnkopf Zsolt

Budapest, 2021

A kiadvány az ELTE tankönyv- és jegyzettámogatási pályázatán elnyert forrás felhasználásával készült.

Szerzők:

BAUER ZITA

ORCID-kód: 0000-0003-0777-4562

tudományterületi besorolás: 1.0. Természettudomány (Natural sciences) 1.6. Biológiai tudományok (Biological sciences) 1.6.28. Egyéb biológiai területek (Other natural sciences); 5.0. Társadalomtudományok (Social sciences) 5.3. Neveléstudományok (Educational sciences) 5.3.1. Általános neveléstudomány, benne képzés, pedagógia, didaktika (Education, general – including training, pedagogy, didactics)

BIHARINÉ DR. KREKÓ ILONA

ORCID-kód: 0000-0002-2098-8357

tudományterületi besorolás: 1.0. Természettudomány (Natural sciences) 1.6. Biológiai tudományok (Biological sciences) 1.6.28. Egyéb biológiai területek (Other natural sciences); 5.0. Társadalomtudományok (Social sciences) 5.3. Neveléstudományok (Educational sciences) 5.3.1. Általános neveléstudomány, benne képzés, pedagógia, didaktika (Education, general – including training, pedagogy, didactics)

FÜLÖP VERONIKA

ORCID-kód: 0000-0001-7683-9791

tudományterületi besorolás: 1.0. Természettudomány (Natural sciences) 1.6. Biológiai tudományok (Biological sciences) 1.6.28. Egyéb biológiai területek (Other natural sciences)

KANCZLER GYULÁNÉ DR.

ORCID-kód: 0000-0003-4517-9043

tudományterületi besorolás: 1.0. Természettudomány (Natural sciences) 1.6. Biológiai tudományok (Biological sciences) 1.6.28. Egyéb biológiai területek (Other natural sciences); 1.5. Föld- és környezettudományok (Earth and related Environmental sciences) 1.5.1. Multidiszciplináris földtudományok (Geosciences, multidisciplinary)

DR. SZURDOKI ERZSÉBET

ORCID-kód: 0000-0003-4595-9090

tudományterületi besorolás: 1.0. Természettudomány (Natural sciences) 1.6. Biológiai tudományok (Biological sciences) 1.6.28. Egyéb biológiai területek (Other natural sciences)

DR. VITÁLYOS GÁBOR ÁRON

ORCID-kód: 0000-0002-3965-0719

tudományterületi besorolás: 1.0. Természettudomány (Natural sciences) 1.6. Biológiai tudományok (Biological sciences) 1.6.28. Egyéb biológiai területek (Other natural sciences); 1.5. Föld- és környezettudományok (Earth and related Environmental sciences) 1.5.8. Környezettudományok (Environmental sciences)

Lektorálta: B. dr. Zsófay Klára

Ábrákat készítette: Bärnkopf Zsolt

Szerkesztette: dr. Szurdoki Erzsébet

Minden jog fenntartva, beleértve a kiadvány egészének vagy egy részének bármilyen formában történő sokszorosítását.

© Szerzők, Szerkesztő, 2021

ISBN 978-963-489-400-1



www.eotvoskiado.hu



ELTE | TÓK
TANÍTÓ- ÉS ÓVÓKÉPZŐ KAR

Felelős kiadó: az ELTE Tanító- és Óvóképző Kar dékánja

Felelős szerkesztő: Tihanyi Katalin

Tördelés: Balázs Andrea

Borító: Csele Kmotrik Ildikó

TARTALOMJEGYZÉK

ELŐSZÓ	9
I. NÖVÉNYTANI ÉS ÁLLATTANI ISMERETEK	11
1. Az élet fogalma, kritériumai, keletkezése	11
2. Az élet keletkezésére vonatkozó elméletek	12
3. Az élő rendszerek kialakulása a Földön az evolúciós elméletek szerint	13
I/A A BIOLÓGIAI SZERVEZŐDÉS SZINTJEI	15
I/A 1. EGYED ALATTI SZERVEZŐDÉSI SZINTEK	16
1. Biogén elemek, vegyületek	16
2. A sejt szerződés szintje	21
2.1. Eukarióta sejtek sejt szervecskéi	22
2.2. Növényi sejt	24
2.3. Sejt osztódása	27
2.3.1. Prokarióta sejtek osztódása	28
2.3.2. Eukarióta sejtek sejtciklusa és osztódása	28
2.3.2.1. Amitózis	29
2.3.2.2. Mitózis	29
2.3.3. Meiózis, számfelező osztódás	29
3. A szöveti szerveződés szintje	30
3.1. Növényi szövetek	30
3.1.1. Bőrszövet	31
3.1.2. Szállítószövet	32
3.1.3. Alapszövet	33
3.1.3.1. Valódi alapszövet	33
3.1.3.2. Mechanikai vagy szilárdító alapszövet	33
3.1.3.3. Kiválasztó és váladéktartó alapszövetek	34
3.2. Állati szövetek	34
3.2.1. Hámszövet	34
3.2.1.1. Fedőhám	34
3.2.1.2. Mirigyhám	39
3.2.1.3. Érzékham	39
3.2.2. Kötő- és támasztószövetek	39
3.2.3. Izomszövet	40
3.2.3.1. Simaizomszövet	40
3.2.3.2. Harántcsíkolt izomszövet	40
3.2.3.3. Szívizomszövet	40
3.2.4. Idegszövet	40

TARTALOMJEGYZÉK

4. A szervek szerveződési szintje	41
4.1. A gyökér	41
4.2. A szár	43
4.3. A levél	44
4.4. A hajtás élettartama	47
4.5. A virág	48
4.6. A termés	49
4.6.1. Egyszerű száraz, felnyíló termések	50
4.6.2. Egyszerű száraz, zárt termések	50
4.6.3. Egyszerű húsos termések	51
I/A 2. AZ EGYED SZERVEZŐDÉSI SZINTJE	52
I/B AZ ÉLŐVILÁG RENDSZERE	53
1. A gombák országa	53
2. A növények rendszere	54
2.1. Zuzmók	54
2.2. Mohák	54
2.3. Hajtásos növények	55
2.3.1. Harasztok	55
2.3.2. Magvas vagy virágos növények	56
2.3.2.1. Nyitvatermők	56
2.3.2.2. Zárwatermők	56
3. Az állatok országa	64
I/C ALAPVETŐ ÉLETTANI JELENSÉGEK A NÖVÉNYEK ÉS AZ ÁLLATOK VILÁGÁBAN	71
1. Az anyagcsere	71
1.1. A növények, növényrészek anyagcsere-folyamatainak megfigyelése (hallgatók által elvégzendő kísérletek)	74
1.1.1. A rügyek légzése	74
1.1.2. A csírázó magvak légzése	75
1.1.3. Az asszimiláció egyik termékének (O ₂) kimutatása	75
2. A növekedés és fejlődés	75
2.1. A csírázás folyamatának és feltételeinek megfigyelése (hallgatói, otthon is elvégzendő kísérletek)	78
2.1.1. A csírázás folyamata	78
2.1.2. A csírázás külső feltételeinek vizsgálata	79
2.1.3. A csírázás belső feltételeinek vizsgálata	80
2.2. Növényrészek hajtatásának megfigyelése (hallgatói, tanórán és otthon elvégzendő kísérletek)	82
2.2.1. Vékony gyökerű növények hajtatása	82
2.2.2. Hagymás növények hajtatása	82

TARTALOMJEGYZÉK

2.2.3. Egyéb évelők hajtatása	83
2.2.4. Fák és cserjék hajtatása	83
3. A mozgás	85
4. A növények ingerlékenysége	87
4.1. A növények helyzetváltoztató mozgásainak megfigyelése (hallgatói, tanórán elvégzendő kísérletek)	88
4.1.1. Pozitív és negatív geotropizmusok megfigyelése	88
4.1.2. A fototropizmus megfigyelése	89
4.1.3. A tigmotropizmus megfigyelése	89
4.1.4. A foto- és a termonasztia megfigyelése	89
II. GENETIKA	91
1. Genetikai fogalmak	91
2. Genetikai kód	94
3. A génműködés szabályozása	95
4. Öröklődéstípusok	97
4.1. Domináns-recesszív öröklésmenet	97
4.2. Intermedier öröklésmenet	98
4.3. Mennyiségi – minőségi tulajdonságok öröklése	98
4.4. Kodominancia	99
5. Mendeli öröklődés törvényei	99
5.1. Uniformitás törvénye	99
5.2. Hasadás törvénye	100
5.3. Szabad kombinálódás törvénye	100
6. Kromoszómához kötött megbetegedések	100
6.1. Pontmutáció esetén	100
6.2. Genommutáció	101
6.3. Nemhez kötött öröklődés	101
6.4. Számbeli nemi kromoszóma rendellenességek	102
III. ETOLÓGIAI ALAPISMERETEK	103
1. Az állatok létfenntartási viselkedése	105
1.1. Tájékozódás	105
1.2. Táplálkozás	106
1.3. Támadó és védekező (menekülés) magatartás	109
1.4. Pihenés és alvás	110
1.5. Komfortmozgás	110
2. Az állatok társas viselkedése	110
2.1. Csoportszerveződés	111
2.2. Agresszió	111
2.3. Kommunikáció	112

TARTALOMJEGYZÉK

2.4. Altruizmus	113
2.5. Együttműködés a fajtársakkal	113
2.6. Szaporodási viselkedés	113
IV. ETOLÓGIAI FOGALOM- ÉS PÉLDATÁR	117
V. EVOLÚCIÓ	123
1. Evolúció fogalma	123
2. Evolúciós elméletek	123
3. Az evolúció szintjei: mikroevolúció és makroevolúció	125
4. Mikroevolúciós változások	125
5. Fajok keletkezése	127
6. Az evolúció bizonyítékai	128
7. Az élet kialakulása a Földön	129
7.1. Fizikai és kémiai evolúció, prebiológiai evolúció	129
7.2. Biológiai evolúció	131
7.3. Az élővilág fejlődésének áttekintése időrendben	136
7.3.1. Prekambrium - Ősidő (Archaikum) vége /Hajnalidő (Proterozoikum)	136
7.3.2. Óidő (Paleozoikum)	137
7.3.3. Középidő (Mezozoikum)	138
7.3.4. Újidő (Kainozoikum)	139
8. Az ember makro- és mikroevolúciója	139
8.1. Az ember eredete és fejlődése	139
8.2. A főemlősök evolúciója	140
8.3. Az ember makroevolúciója	143
8.4. Az ember mikroevolúciója	146
FELHASZNÁLT IRODALOM	147

ELŐSZÓ

A külső világ tevékeny **megismerésére nevelés** fontos szerepet tölt be a **környezeti kultúrára való**, tehát a **környezeti nevelésben**. Szoros és sokoldalú kapcsolatban van más tevékenységi formákkal. A társadalmi és a természeti környezetnek a gyermekek számára érdekes és lényeges vonásait valóságként, a 3–12 éves gyerek fejlettségi szintjének megfelelően tárja fel. A környezet megismertetése, az élőkhöz és az emberi alkotásokhoz való pozitív attitűd alakítása, a gyermek világszemléletének, világképének formálása csak úgy lehetséges, ha szűkebb és tágabb környezetéről sokféle módon és rendszeresen szerez tapasztalatot, ha lehetősége van a folyamatos és alkalomszerű megfigyelésre, aktív kerti és természetsarokbeli munkára, különböző gyűjtőtevékenységekre, egyszerű vizsgálódások, „kísérletek” elvégzésére.

Ahhoz, hogy az óvodai és iskolai nevelés folyamatában a felsoroltakat sikeresen valósítsa meg úgy az óvodapedagógus, mint a tanító, fontos, hogy kielégítő válaszokat tudjon adni a gyerekeknek a környezetükre vonatkozó ezernyi kérdésére, ezért pontos tárgyi tudással is rendelkeznie kell a természetismeret területéről.

Ez az egyetemi jegyzet a természeti környezetben való eligazodáshoz, a természeti jelenségek okainak feltárásához, a pontos fogalomalkotáshoz, tehát a természettudományos ismeretek elmélyítéséhez nyújt segítséget. A középiskolában tanult biológiai, földrajzi, fizikai és részben kémiai tananyagra épül. Az ott elsajátított ismereteket (pl. az élet fogalma, az élő anyagi rendszerek keletkezése, az anyagcserén belül az élő szervezet energiaszolgáltató folyamatai) nem ismétli, hanem az óvodai és iskolai környezeti nevelés természeti témaköreiben foglaltak – évszakok, növények, állatok – figyelembevételével összefoglalja, bővíti, rendszerezi, csoportosítja, és fejleszti azokat tovább.

Az előbbieken felsorolt tantárgyak keretében már részletesen tárgyalt és a vonatkozó jegyzetekben publikált (pl. állati /emberi/ szövetek, szervek, szervrendszerek), illetve a következő félévekben tárgyalásra kerülő témák (pl.: hazánk környezeti állapota, lokális és globális környezeti problémák és azok megoldása) természetesen szintén nem jelennek meg ebben a jegyzetben.¹ A *Növény- és állatismeret* c. összeállításban (https://www.eltereader.hu/media/2018/05/Novenytan_READER.pdf) 262 faj rendszertani besorolása és jellemzői, tulajdonságai olvashatók, így e jegyzetnek az ide tartozó része csak a törzsre, osztályra és ahol szükséges, ott a rendre vonatkozó lényeges ismereteket tartalmazza.

Az **irodalomjegyzék** egyrészt a különböző témákban való elmélyülést, másrészt az óvodai és iskolai környezeti nevelésre való közvetlen felkészülést szolgálja.

A szövegben lévő idegen szavak, illetve ismeretlen fogalmak értelmezését, magyarázatát **csak azok első előfordulásakor** tüntettük fel.

¹ Vö. DARVAY S. – HILL K. – VITÁLYOS G.Á. (2017): *Összeállítás a Funkcionális anatómia tantárgyhoz csecsemő- és kisgyermeknevelő, óvodapedagógus és tanító szakos hallgatók részére*. ELTE TÖK, Budapest; BIHARINÉ KREKÓ I. – KANCZLER Gy. (2017): *Ökológiai alapismeretek az ELTE TÖK hallgatóinak*. ELTE TÖK, Budapest.

A jegyzet felépítése „formabontó”, eltér az eddig megszokottól. Egyes részeknél ***Olvasnivaló...*** címszó alatt a témára vonatkozó érdekességek találhatók. Ezek figyelemfelhívó jellegűek, illetve az ajánlott szakirodalom tanulmányozására ösztönöznek.

I. NÖVÉNYTANI ÉS ÁLLATTANI ISMERETEK

1. Az élet fogalma, kritériumai, keletkezése

Az élet lényegének megértése a természettudományok egyik legnehezebb feladata, mely már az ókor óta foglalkoztatja a tudósokat. Az elmúlt évszázadok során – kezdve Arisztotelésszel – az élet fogalmát számtalan módon definiálták. Napjainkban Gánti Tibor megfogalmazása alapján élőnek általában azt tekintjük, ami együttesen mutatja az anyagcsere-folyamatokra visszavezethető életjelenségeket: a mozgást, a táplálkozást, a növekedést, a szaporodást és az ingerlékenységet. Röviden megfogalmazva azt mondhatjuk, hogy egy rendszer csak akkor tekinthető élőnek, ha benne sajátosan összetett folyamatok, életfolyamatok mennek végbe.

Az élő rendszerek rendelkeznek néhány közös ismervvel, sajátossággal, melyek az élettelen rendszerekre nem jellemzőek, csak az élővilágban fordulnak elő. Ezek az ún. **életkritériumok**, melyeket Gánti Tibor értelmezése alapján tekintünk át.

Gánti az életkritériumokat két csoportra osztotta, azokra, melyek valamennyi egyed létének feltételei, ezek az abszolút vagy reális életkritériumok, illetve a potenciális életkritériumokra, melyek az élővilág fennmaradásához elengedhetetlenek.

Az **abszolút életkritériumok** tehát azok, melyek kivétel nélkül minden egyes élőlény életéhez szükségesek. Ezek a következők:

- ♦ **Az élő rendszer inherens (belső sajátosságaiból fakadó) egység.** Minden élőlény, kezdve a legkisebb sejtől, mindig több, mint az őt felépítő elemeinek (pl. sejtalkotóknak, sejteknek, szöveteknek, szerveknek, szervrendszereknek) az összessége. Ez azt jelenti, hogy a részek önmagukban nem mutatják a rendszerre jellemző tulajdonságok mindegyikét, ezekkel a jellemzővel csak a teljes rendszer rendelkezik, így részeinél magasabb szervezetségi szintet képvisel.
- ♦ **Az élő rendszer anyagcserét folytat.** Az élőlények anyagcseréjük során a környezetből anyagokat és energiát vesznek fel, majd ezeket átalakítják, beépítik szervezetükbe, biztosítva a megfelelő működést és növekedést. A kémiai folyamatok során keletkezett bomlástermékek ismét a környezetbe kerülnek. Mivel az élő rendszerek egyaránt képesek környezetükkel anyagot és energiát cserélni, nyílt termodinamikai rendszernek tekinthetők, szemben a zárt rendszerekkel, melyekben csak energiacsere figyelhető meg.
- ♦ **Az élő rendszer inherensen stabil.** A stabilitás úgy értendő, hogy a rendszer a változó környezetben is meg tudja őrizni belső stabilitását, állandóságát (homeosztázis), szervezetségét. Ehhez szükséges,

hogy a rendszer állandó kölcsönhatás során képes legyen reagálni környezetének változásaira, így jellemző rá az ingerlékenység (reagálóképesség) is. A változások ellenére a rendszer nem változik meg, ugyanaz marad. Az egyensúly fenntartásához, a fennmaradáshoz és a továbbfejlődéshez egyaránt elengedhetetlen az élő rendszernek az alkalmazkodási képessége.

- ♦ **Az élő rendszer információhordozó alrendszer(ek)kel rendelkezik.** Minden létező hordozza a saját felépítésére, működésére vonatkozó információkat. Az élőlények szervezetében több helyen is találkozhattunk ilyen alrendszerekkel. Jelentős információt hordoz a genetikai állomány, de a hormonális szabályozó rendszer és az idegrendszer is szolgáltat információkat az élőlény számára.
- ♦ **Az élő rendszerekben végbemenő folyamatok szabályozottak és vezéreltek.** Az élőlényekben zajló folyamatok nem működhetnek összevissza, a működésnek megfelelő rendben kell történnie. A folyamatok irányítása kétféleképp valósulhat meg. Vezérlés esetén egy fölérendelt központ ellenőrzi a zavartalan működést, ez esetben a folyamatok irányított eleme nem hat vissza az irányítóra. Szabályozás esetén a zárt rendszerben körfolyamat játszódik le, az irányított elem folyamatos visszajelzései, visszacsatolásai (*feedback*) alapján megfelelő változások jönnek létre.

Az ún. **potenciális életkritériumok** az élő rendszereknek olyan jellemzői, amelyek az élővilág fennmaradása szempontjából ugyan elengedhetetlenek, de nem feltétlen velejárói egy-egy egyed élő állapotának. Ezek a következők:

- ♦ **Az élő rendszerek növekedésre és szaporodásra képesek.** Mindkettő valóban fontos és alapvető életjelenség. Az élővilág létezése szempontjából meglétük lényeges kritérium, attól azonban még az élővilág létének feltételei, hogy az egyedek egy része nem képes növekedésre, illetve nem szaporodóképes, vagy nem éli meg a szaporodóképességhez szükséges növekedési stádiumot (pl. őszvér, dugványozással történő szaporítás stb.).
- ♦ **Az élő rendszerek rendelkeznek az öröklődő változásra való képességgel és az evolúció képességével.** A szaporodás során az utódokban olyan tulajdonságok is megjelenhetnek, melyeket az utód tovább örökíthet. Ez a képesség adja az élővilág kialakulásának, változásának alapját, azonban az egyes egyedek életének nem kritériuma.
- ♦ **Az élő rendszerek halandók.** Az élőlények halála fontos az élővilág szempontjából, mert ez biztosítja a szerves anyag körforgását a természetben. Nem feltétele viszont az egyedi életnek, mely akár megszűnhet az egyed halála nélkül is (például egysejtűek kettéosztódása; hidrák, giliszták kettévágás utáni regenerálódása, növények vegetatív szaporodása).

2. Az élet keletkezésére vonatkozó elméletek

Az élet keletkezéséről számtalan elmélet látott, s lát napjainkban is napvilágot. Amióta létezik a természet-fölöttiben való hit, azóta léteznek a különböző vallásokhoz kötődő **teremtés**tanok.

Az ókortól egészen a 19. századig állt fenn a nézet, miszerint az élet spontán módon, az életerő beköltözésével (*vis vitalis*) élettelen anyagokból is keletkezhetett, amennyiben megfelelőek voltak a környezeti viszonyok. Ez az ún. **ősnemzéstán**, melynek kiváló példája az ókori Egyiptom, ahol úgy gondolták, hogy a Nílus áradása után megjelenő békák, kígyók, egerek stb. a Nílus iszapjából keletkeztek. Arisztotelész szerint aktív szellemi életelv költözik be az addig passzív anyagba. Az élőlények ősnemzéssel való szaporodását a tudományos kutatások cáfolták. Lassanként, főleg az élővilág sejtes felépítésének felfedezése után, teret hódított az új elképzelés, miszerint minden élőlénynek egy másiktól kell származnia, tehát sejt csak egy korábbi sejt osztódásával alakulhat ki: minden **sejt sejtéből jön létre**. A végleges bizonyítékokat Louis Pasteur szolgáltatta 1861-ben, aki kimutatta, hogy a külvilágtól elzárt, sterilizált, tápanyagokban gazdag táptalajban soha nem jelennek meg baktériumok vagy gombák, így semmiféle élettelen anyagból nem keletkezhet élet.

Az ősnemzéstán elméletének megdöntése után is több alternatív válasz maradt a földi élet keletkezésére vonatkozóan. Ezek között szerepelnek azok, melyek az élet örökkévalóságát, **öröktől való létezését** hangsúlyozzák. Ezen elméleteket a radioaktív kormeghatározás cáfolta, mely szerint a Föld kora csupán 4,6 milliárd év.

Az úgynevezett **pánspermia-elmélet** szerint az élet csírái egy másik bolygóról kerültek a Földre. Ezt a nézetet egyelőre nem tudják egyértelműen sem bizonyítani, sem cáfolni, bár jelenlegi ismereteink szerint viszonylagos közelségben nem található olyan bolygó, amelyen élet létezik. Továbbra is jelen van a földi élet eredetére vonatkozó nézetek között a vallásos megközelítés, a **természetfölötti által való teremtetés** alternatívája.

A korszerű **evolúciós nézetek**, fejlődéstudományok szerint az élő rendszerek kialakulására a Földön a jelenkori állapotoktól eltérő körülmények közt került sor. A mai élőlények hosszú fejlődési folyamat során alakultak ki.

3. Az élő rendszerek kialakulása a Földön az evolúciós elméletek szerint

A Tejútrendszer, benne a Naprendszer és az Ősföld 4,5–5 milliárd évvel ezelőtti kialakulása jelenti az anyagi rendszerek fejlődésének ún. **fizikai evolúciós** szakaszának kezdetét. (Ennek folyamatával, valamint a leginkább elfogadott ún. ősrobbanás-elmélettel (*Big Bang Theory*) részletesen foglalkoztak már földrajzi tanulmányaik során.)

A Föld anyaga a világűrben származó por- és meteoritrészecskék sűrűsödéséből, tömörüléséből keletkezett. Eközben a benne lévő gázok felszabadultak. A kis atom- és molekulatömegű anyagokat tartalmazó, valószínűleg hidrogénből, héliumból, metánból, ammóniából és vízgőzből álló, ún. elsődleges ősléggel a Föld tömegvonzása nem tudta megtartani, így alkotóinak nagy része a világűrbe távozott.

A tömörülő részek gravitációs energiája hő formájában sugárzódott ki, illetve jelentős volt a radioaktivitás is. Az így megnövekedett hőmérséklet az Ősföld anyagának megolvadását vonta maga után. A radioaktivitás csökkenésével kezdődött meg a Föld anyagának lehűlése, majd kb. 4–4,2 milliárd évvel ezelőtt kialakult az olvadék felületén a szilárd kéreg. A folyamatos lehűlés és a kéreget jellemző tektonikus mozgások következtében az Ősföld belsejéből, kőzeteiből számos gáz, illetve nagy mennyiségű gőz szabadult fel. Ezekből származik Földünk vízburka, illetve légköre.

Az élő rendszerek kialakulásának szempontjából az ún. másodlagos őslégkör (redukáló légkör) megjelenése 3,9 milliárd évvel ezelőttre tehető. Legvalószínűbb, hogy vízgőzt, szén-monoxidot, szén-dioxidot, hidrogént, metánt, nitrogént, ammóniát és kén-hidrogént tartalmazott. Ez a légkör nem, vagy csupán minimális mértékben tartalmazhatott oxigént (oxidok formájában lekötött állapotban), valamint a redukáló elemek túlsúlya jellemezte, ezért redukáló légkörnek is nevezik. Az őslégkör és a kéreg folyamatos lehűlésének következtében kb. 11 km magasságban egy kb. $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os „hidegcsapda” jött létre, melynek hatására az ósatoszférában lévő vízgőz lecsapódásával, hatalmas esőzések során kialakult a Föld vízburka.

Az élet kialakulásának következő szakasza a **kémiai evolúció**, mely az Ösföldet alkotó szervesetlen vegyületek képződésétől az egyszerűbb szerves molekulák kialakulásáig tartó időszak volt.

Szerves vegyületek nélkül az élet elképzelhetetlen. A szervesetlen molekulákból az egyszerűbb szerves molekulák szintézise 3,8–4 milliárd évvel ezelőtt, a redukáló légkörben és a fokozatosan szilárduló kéreg felszínén spontán módon indult meg. A reakciók bekövetkezését segítette a nagy mennyiségű UV-sugárzás, a magas hőmérséklet, a különböző sugárzó energiák, az elektromos kisülések.

Az 1950-es években **Stanley Lloyd Miller** és **Harold C. Urey** (amerikai tudósok) az általuk épített kísérleti berendezésben olyan körülményeket állítottak elő, melyek az őslégkörre voltak jellemzőek. A készülékben vizet melegítettek (óceánt helyettesítő folyadék), a víz fölötti légtérben pedig metánból, ammóniából, hidrogénből és – a melegített víz párolgásából származó – vízgőzökből álló gázelegyet hoztak létre. $35\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérsékleten a gázkeveréket elektromos kisüléseknek vetették alá (modellezve az őslégkör villámai által biztosított energiát). Ezután a vízgőzt folyamatos hűtssel cseppfolyós vízzé alakították. A keletkező anyagok a vízben összegyűltek. Ebből az oldatból mintát véve kimutatták számos aminosav, aldehidek és zsír keletkezését.

Az egyszerűbb szerves molekulákból – valószínűleg spontán módon – jöttek létre a szerves makromolekulák, így az élő rendszerek mindegyikében megtalálható fehérjék, nukleinsavak. (Ezt bizonyítják többek között Sydney W. Fox amerikai kutató kísérletei.)

A kémiai evolúciót követő **prebiológiai evolúció** időszakában a szerves makromolekulákból mikrostruktúrák szerveződtek, amelyek azután ún. koacervátum-cseppekké alakultak át. Végül kialakultak az első prokarióta élőlények. A **koacervátumok** jelentőségét **Alexander Oparin** (szovjet biokémikus) és **Fox** kísérletei is alátámasztják.

A mikroszkopikus méretű, vízburokkal rendelkező koacervátumok, bár egyes tulajdonságaikban már az élet kritériumaival rendelkeznek, még nem tekinthetők élőlényeknek, hiszen életjelenségeket még nem mutatnak. Jellemzőjük, hogy elkülönülnek a környezetüktől, bennük újszerű rendezettség figyelhető meg, képek anyagok felvételére és leadására, növekedésre, sokszorozódásra.

A prebiológiai evolúció további lépéseit, az első prokarióta élőlények kialakulásához vezető utat egyelőre kísérleti bizonyítékok nem támasztják elő. **Eigen** és **Gánti** (*chemoton*-elmélet) feltételezései szerint a kémiai körfolyamatok egymással összefüggő szerveződése jelentette az élővé válás lényegét.

I/A A BIOLÓGIAI SZERVEZŐDÉS SZINTJEI

Jelenlegi ismereteink szerint az anyag fejlődésének (evolúció) kérdése már nem minősül hipotézisnek. Nemcsak az élő anyag, hanem a ma előforduló növény- és állatfajok is hosszú ideig tartó evolúció során alakultak ki. A biológiai evolúcióban az idő igen lényeges, meghatározó faktor. Az élők az élettelen természet rendszereinél bonyolultabb anyagi rendszerek.

„Az élővilág felépítése és működése meghatározott törvényszerűségeket mutat. Az életjelenségek és más biológiai történések sokféle tér- és idődimenzióban, szervezeten, rendezetten, összehangoltan zajlanak. (...) Az élővilág különböző tér-idő dimenziójú organizált egységei rendszerként működnek. Bennük a különböző struktúrákhoz és funkciókhoz kötött szabályozási mechanizmusok tartják fenn a megfelelő állapotokat, illetve vezérlési mechanizmusok teszik lehetővé a különböző állapotokba való átmeneteket. A szabályozás és a vezérlés ellentétes folyamatait az irányítás koordinálja. A **biológiai rendszerek organizáltsága** tehát irányítottságukban, szabályozottságukban, vezéreltségükben nyilvánul meg.”²

Az élők különböző organizációs szintű rendszerek. Vannak alacsonyabb szintű, vagyis kezdetlegesebb és magasabb szintű, vagyis bonyolultabb szervezettségűek. Az előbbiekhez tartoznak pl.: a gombák, a mohák, a gyűrűsférgesek, a puhatestűek; az utóbbiakhoz pl.: a zárvatermők, a madarak, az emlősök.

Az élővilágban **hierarchikusan** (lépcsőzetesen) **egymásra épülő** szerveződési szintek figyelhetők meg, amelyek rész-egész kapcsolatot alkotnak. A **biológiai szerveződés szintjeit** általában **egyed alatti** (infraindividuális), **egyedire** (individuális) és **egyed felettire** (szupraindividuális) különítik el. **Egyed alatti** szintek a **molekuláris**, a **sejtes**, a **szöveti** és a **szervek** szerveződési szintjei. Az **egyedi** a **szervezetek** (organizmusok) szintje; **egyed felettiek** a **populációk**, az **életközösségek** (társulások, biocönózisok) és a **bioszféra** szerveződési szintjei. A felsorolt szerveződési szintek mindegyike más-más alkotórészekkel, kapcsolatokkal, mozgásformákkal és azok törvényszerűségeivel jellemezhető. A magasabb szintek magukban foglalják az alacsonyabbakat, ami minőségileg új tulajdonságok megjelenését hozza, bonyolultabb szabályozó tevékenységet, növekvő komplexitást biztosít.

A jegyzetnek ebben a fejezetében a sejtes szint, a szöveti szint, a (növényi) szervek és a szervezet szerveződési szintjei kerülnek tárgyalásra. Ezen belül azok a jelenségek, felépítés- és működésbeli sajátosságok kapnak hangsúlyt, amelyek a pedagógiai környezeti nevelőmunkában is megjelennek. A gyerekek elsősorban az élőlények külső jegyeit, illetve azoknak és az élettelen tényezőknek a változásait, és esetenként a köztük lévő összefüggéseket figyelik meg. A pedagógusnak azonban tudnia kell azt is, hogy a külső megjelenésnek, a különböző tulajdonságoknak milyen belső okai vannak, azok milyen fizikai, kémiai, biológiai folyamatokon alapulnak, mely szövethez, szervhez stb. kapcsolódnak, melyek módosulásából jöttek létre stb.

² Környezetvédelmi lexikon. I. kötet. Akadémiai Kiadó 1993. p. 129.

I/A 1. EGYED ALATTI SZERVEZŐDÉSI SZINTEK

1. Biogén elemek, vegyületek

Az élőlényeket és az élettelen anyagokat ugyanazon elemek építik fel. A környezetünket felépítő több száz kémiai elem közül azokat, melyek az élő szervezetekben is megtalálhatóak és biológiai szereppel rendelkeznek, **biogén elemeknek** nevezzük.

Ezek közül a legfontosabbak az ún. **elsődleges biogén elemek**: a szén (C), az oxigén (O), a hidrogén (H) és a nitrogén (N), melyek atomjai az élő szervezetek fő építőelemeit jelentik, tömegük 98-99%-át adják. A szén jelentősége kiemelkedő, mert minden szerves anyag alapját adja. A szénatomok egymással szinte korlátlan számban képesek összekapcsolódni, olyan szerves molekulákat hozva létre, melyek biológiai szempontból fontosak. Ezekben a szén mellett a leggyakoribb elem a hidrogén, melynek jelentős szerepe van az energiatermelő folyamatokban. Az élőlények nagy része ugyanis a szerves molekulák hidrogénjét vízzel oxidálja, és az eközben felszabaduló energiát hasznosítja életfolyamataihoz. A folyamathoz szükséges oxigént a levegőből vagy a vízből veszik fel. Az oxigén emellett számos biológiailag fontos szénvegyület alkotóeleme. A nitrogén a biológiailag jelentős makromolekulák, a fehérjék és a nukleinsavak felépítéséhez nélkülözhetetlen.

A biogén elemek közül vannak olyanok, melyek kisebb – mintegy 1,5-2%-os – mennyiségben vannak jelen az élő szervezetben, de nélkülözhetetlenek. Ezek a **másodlagos biogén elemek**: a nátrium (Na), a kálium (K), a klór (Cl), a kén (S), a foszfor (P), a kalcium (Ca), a vas (Fe) és a magnézium (Mg).

A nátrium (Na) és a kálium (K) a sejtek (pl. vérplazma) kationjai, de nagy szerepet játszanak az idegsejtek ingerületi folyamataiban is (ún. nátrium–kálium pumpa). A kálium emellett a növények vízfelvételében is jelentős, elősegíti a sejtosztódást, a fotoszintetikus és a légzési folyamatokat, valamint a sejtfalképzést. A klór (Cl) a sejtekben és a sejteken kívül is megtalálható anion, de részt vesz az ingerfolyamatokban is. A kén (S) a fehérjék és egyes vitaminok, míg a foszfor (P) a nukleinsavak felépítője, valamint ez utóbbi megtalálható a csontok sejt közötti állományában. A sejtekben a lebontó folyamatok során keletkező, a sejtek számára könnyen hozzáférhető energia szintén foszforvegyületek (pl. ATP) formájában raktározódik. A növények esetében a foszfor hatással van a virág- és termésképzésen kívül a mag érési folyamataira is.

A kalcium (Ca) az állatvilágban és az emberi szervezetben egyaránt a csontok sejtközi állományának alkotója, emellett szerepe van az izom-összehúzódásban és a vérárvadásban is. A növények esetében a sejtfal fejlődéséhez, valamint a termésképzéshez is szükséges, számos növény pedig kalcium-karbonát vagy kalcium-oxalát formájában választja ki a feleslegessé vált szerves savakat. Sok egysejtű és puhatestű faj külső vázának alkotója CaCO_3 (kalcium-karbonát) formájában.

A vas (Fe) a hemoglobin alkotóelemeként a légzési gázok szállításában vesz részt. Számos biológiai katalizátor (enzim) részét is képezi, így szerepe van pl. a sejtlégzésben vagy a fotoszintézisben.

A magnézium (Mg) a kalciumhoz hasonlóan a csontok sejt közötti állományának alkotója, emellett fontos szerepe van az izom-összehúzódnásban. A növényeknél a zöld színanyag, a klorofill alkotórésze, emellett a sejtfejlődésben és a növények vízforgalmában is szerepet játszik.

A biogén elemek közül mindazokat, melyek csak csekély, 1%-nál kisebb mennyiségben fordulnak elő az élő sejtekben, de jelenlétük a vegyületek felépítésében nélkülözhetetlen, vagy egy-egy folyamathoz specifikusan szükségesek, **nyomelemeknek**, vagy **mikroelemeknek** nevezzük. Egyes mikroelemek az élőlények legtöbbjének, mások csak egy-egy csoportjának fontosak.

Nyomelem például a szilícium (Si), a mangán (Mn), a réz (Cu), a cink (Zn), a kobalt (Co) a jód (I), a bór (B), a fluor (F), a króm (Cr), a szelén (Se), molibdén (Mo). Szerepüket az 1. táblázat mutatja.

Kémiai elem neve	Vegyjele	Szerepe az élő szervezetben
Szilícium	Si	Néhány moszat- és szivacs faj kovavázának, valamint a zsurlók sejtfalának alkotója.
Mangán	Mn	Létfontosságú enzimek alkotórésze, aktivátora; a csontok fejlődéséhez szükséges.
Réz	Cu	Egyes enzimek alkotója; a vérvérvzésben és a sejtlegzésben fontos; a puhatestűek oxigénszállító molekulájának alkotóeleme.
Cink	Zn	Egyes enzimek alkotója és aktivátora; szükséges a nukleinsavak szerkezetének kialakításához, a látási folyamatokhoz. Növényeknél a rügyfakadáshoz, hajtásnövekedéshez, zöld szintestek megfelelő szintéziséhez nélkülözhetetlen.
Jód	I	Pajzsmirigyhormon alkotója. Fokozza a barnamoszatok légzését, a növények növekedését.
Fluor	F	Az emlősök fogzománcának alkotója.
Króm	Cr	A szénhidrátok anyagcseréjében fontos.
Kobalt	Co	B-vitaminok (pl. B-12) alkotóeleme; a nitrogényűjtő baktériumok számára a nitrogén megkötéséhez szükséges.
Szelén	Se	Egyes enzimek alkotója; a pajzsmirigy hormontermeléséhez szükséges.
Molibdén	Mo	Egyes enzimek alkotója; a fogszuvasodás gátlója.
Bór	B	Számos növény fejlődéséhez, a sejtfejl stabilitásához szükséges. A sejtek differenciálódásához (kambiumból fa- illetve hancselemmé alakulásához) elengedhetetlen.

1. táblázat. Nyomelemek és szerepük az élő szervezetben

Az elemekből szervetlen, illetve szerves vegyületek épülnek fel. A **szervetlen vegyületek** közül az élővilág számára ez az egyik legjelentősebb szervetlen vegyület a **víz** (H_2O), mely a sejtek tömegének átlagosan 65–75%-át adja. (A száraz magvakban aránya 15–20%, a húsos termésekben 80–90%, a medúzák testének

több mint 90%-át teszi ki, de az emberi test tömegében is jelentős; férfiaknál értéke 60%, nőknél 50%, csecsemőknél 75%). A víz jelenléte nélkül elképzelhetetlen az élet. Sajátos szerkezete, valamint jellemző tulajdonságai miatt univerzális oldószer, reakcióközeg, vegyi reakciók kiinduló- és végterméke, szállítóközeg, hőstabilizátor. A víz tehát számos anyag kiváló oldószere. A sejteket felépítő anyagi rendszerek legtöbbje ezért vizes oldat, melyben különböző biokémiai átalakulások zajlanak. A víz nemcsak közege a sejtekben lejátszódó kémiai reakcióknak, hanem fontos résztvevője is, így például a fotoszintézis egyik kiindulási anyaga. Egyes folyamatok során víz keletkezik, ilyen például a sejtlégzés. Nagy felületi feszültsége miatt képes határhártyák kialakítására, nagy fajlagos hőkapacitása miatt pedig az élő szervezetekben jelentős hőmérséklet-kiegyenlítő szerepe is ellát.

A sejtekben előforduló szervetlen vegyületek közül a víz mellett jelentősek még az ún. **ionvegyületek**. Vizes közegben ezek általában ionjaik formájában, hidrátburokkal körülvéve fordulnak elő. Ionvegyületek például az ásványi sók, melyek vagy kristályos formában, vagy vizes oldatok formájában fordulnak elő az élő szervezetben. Ezek közül az egyik legfontosabb a konyhasó, mely a szervezet számára nélkülözhetetlen ásványi só, nátriumvegyület.

Egyes gerinctelenek (pl. csigák, kagylók) külső vázanyagában, illetve a gerincesek csontszövetének sejtközi állományában található ionvegyület a kalcium-karbonát, szilárd anyagában pedig kalcium-foszfát található.

A **szerves vegyületek** adják a sejtek tömegének 20–25%-át. Ezeket négy nagy csoportba soroljuk, melyek: a szénhidrátok, a fehérjék, a lipidek és a nukleinsavak.

A **szénhidrátok** (cukrok, szacharidok) a szervezet energiatartalékaiként jelentősek. Felépítésükben három elem, a C, a H és az O atomjai vesznek részt.

Összetételük alapján beszélhetünk egyszerű szénhidrátokról (monoszacharidok), diszacharidokról, illetve poliszacharidokról. Az egyszerű szénhidrátok részecskéi egyetlen cukormolekulából állnak, 3–7 szénatomot tartalmaznak. Édesek, vízben jól oldódnak. A pentózok öt szénatomos monoszacharidok, melyek a nukleinsavak alkotórészeiként jelentősek. A ribóz a ribonukleinsavakban (RNS), a dezoxiribóz a dezoxiribonukleinsavakban (DNS) tölt be szerepet. A hat szénatomos szénhidrátok a hexózok. Közülük a leggyakoribbak a szőlőcukor (glükóz) és gyümölcscukor (fruktóz). Az élővilág számára alapvető fontosságú glükóz (összegképlete: $C_6H_{12}O_6$) szabad állapotban megtalálható a sejtekben és a sejtközi járatokban; nagy mennyiségben fordul elő a növények termésében, az állati és az emberi vérben. Fotoszintézis során is glükóz keletkezik, valamint a poliszacharidok többsége is belőle képződik. A glükóznál édesebb ízű fruktóz található meg a gyümölcsök nedvében és a mézben. Az összetett szénhidrátok két vagy több cukormolekula összekapcsolódásával, vízkilépés során keletkeznek. A két monoszacharidból álló diszacharidok szintén édes, vízben jól oldódó molekulák. Számunkra jelentős a szacharóz, azaz a répacukor vagy a nádcukor, melyet egyaránt fogyasztunk kristály, por- vagy kockacukor formájában. Az emlősök tejében előforduló diszacharid a tejcukor, vagy laktóz. Maltóz (malátacukor) a keményítő lebontási folyamatának köztes termékeként jön létre, megtalálható például a burgonyafélék, vagy a gabonafélék csírájában, friss hajtásokban.

A poliszacharidok több száz, vagy akár több ezer egyszerű cukor összekapcsolódásával, vízkilépéssel létrejövő óriásmolekulák. Vízben nem oldódnak. Biológiai szempontból két nagy csoportra oszthatók: egy részük tartalék szénhidrát a sejtekben, másik csoportjuk a sejtek falában található szilárdító vázanyag. A tartaléktápanyagok közül a növényekben a fotoszintézis során termelődő keményítő a leggyakoribb. Vízben oldhatatlan szemcséket, zárványokat képez a sejtekben. Főként gumókban, gyökerekben és magvakban halmozódik fel, innen kerül a szervezet igényeinek megfelelően a felhasználás helyére. Az emberi és az állati szervezetben a keményítő egy másik formája, a glikogén található meg, a májban és az izmokban raktározott tartaléktápanyag formájában.

A cellulóz szálas, rostos szerkezetű, kémiaiag nagyon ellenálló poliszacharid, a növényi sejtek falának vázanyaga. Bontására csak egyes baktériumfajok képesek.

A kitin nitrogéntartalmú poliszacharid, mely az ízeltlábúak vázának szilárdító anyaga, emellett a gombák sejtfalának alkotója is.

A **fehérjék**, melyek a sejtek szárazanyagának kb. 50%-át teszik ki, rendkívül sokféle feladatot látnak el a sejtekben. Nincs olyan biológiai jelenség, amely valamilyen módon ne lenne kapcsolatba hozható velük. A fehérjék alapvető építőegységei az aminosavak. Szerkezetük kialakításában 20-féle aminosav vesz részt, melyek közül a legtöbbet szervezetünk szintetizálja. Az emberi szervezet 9 aminosavat – az ún. esszenciális aminosavakat – nem képes előállítani, ezeket táplálékunknak kell tartalmaznia. Ide tartozik a metionin, a treonin, a lizin, az izoleucin, a valin, a leucin, a fenil-alanin, a triptofán és a hisztidin.

A fehérjék, sokféle feladatuknak megfelelően, igen változatos felépítésűek. A fehérjemolekulák makromolekulák, melyekben legalább 50–60, de legtöbbször 150–200 aminosav kapcsolódik vízkilépés közben egymáshoz ún. peptidkötéssel. Az egyszerű fehérjéket (proteinek) csak aminosavak építik fel (pl. a tojásban található albumin), míg az összetett fehérjékben (proteidek) a polipeptidlánchoz más, nem fehérjetermészetű rész is kapcsolódik (pl. a tejben található kazein).

Az aminosavak kapcsolódási sorrendjét a fehérjék elsődleges szerkezetének is nevezzük. Ahhoz azonban, hogy a fehérje el tudja látni feladatát, megfelelő térszerkezetet kell felvennie. Felvehetnek ún. α -helix szerkezetet, melyben a polipeptidlánc egy csavartmenet vonulatát követi, vagy lehetnek β -redő szerkezetűek, ahol a polipeptidlánc-szakaszok fekszenek egymás mellett. A polipeptidlánc α -helix- vagy β -redő-hajtogatottsága adja a fehérjék másodlagos szerkezetét.

A fehérjét alkotó lánc teljes térbeli elrendeződése jelenti a fehérjék harmadlagos szerkezetét.

A fehérjék változatos szerepüket tekintve lehetnek szerkezetfelépítők (a keratin alkotóinak, a kromoszómáknak, valamint a kötő és támasztószövetekben a kollagénnak a felépítője); az élő szervezetek kémiai folyamatainak gyorsítói, katalizátorai (enzimek); receptorok (ingerfelvétel a sejtmembránban); transzportfehérjék (hemoglobin); az immunbiológiai folyamatokban védőfehérjék (más fajba jutva ellenanyagképzést indítanak

meg – immunglobulinok); hormonok (növekedési hormon, inzulin); tartaléktápanyagok (kazein a tojásban, szójában); toxinok (baktériumokban, kígyók mérgeiben), mozgatófehérjék (izmokban: aktin, miozin).

A fehérjék igen érzékenyen reagálhatnak a környezet változásaira. Ha a hőmérséklet nő, ha a környezet pH-értéke nő vagy csökken, ha a közegbe idegen anyagok (például nehézfémek) kerülnek, szerkezetük sok esetben irreverzibilisen felbomlik, denaturálódnak. Ez gyakran együtt jár azzal, hogy a fehérje kicsapódik. Az említetteken kívül erős rázás vagy ütés is kicsaphatja a fehérjét.

A **lipidek**, vagy zsírszerű anyagok közös tulajdonsága, hogy vízben nem, csak apoláris oldószerekben oldódnak. A természetben a lipidek növényekben és állatokban egyaránt megtalálhatóak. A lipidek csoportjába tartoznak például a neutrális zsírok, a foszfolipidek, a glikolipidek, a szteroidok és a karotinoidok.

A **neutrális zsírok** (trigliceridek), köznapi nevükön zsírok vagy olajok, a természetben leggyakrabban előforduló lipidek. Különféle zsírsavakból és glicerinnél épülnek fel. A szobahőmérsékleten folyékony halmazállapotú zsírok az olajok. A zsírok lehetnek magas energiatartalmú, raktározott tartaléktápanyagok (faggyú, zsír), melyek az állati szervezetekben a zsírszövet sejtjeiben halmozódnak fel nagyobb mennyiségben, de elláthatnak hőszigetelő vagy mechanikai védelmet biztosító funkciót is. A zsírban oldódó vitaminok (A, D, E, K) számára oldószer. A hosszú ideig levegőn álló zsírok kémiai megváltoznak, telítetlen kötéseik megkötik a levegő oxigénjét. Ez a folyamat az avasodás.

A növények magvaiban vagy a termések húsos falában lévő növényi olajok (pl. olajfa, napraforgó, repce, szója, len, mák, dió) is a zsírok közé tartoznak.

Szintén zsírok a **viaszok**, melyek a növények esetében felületi védőréteggént (vízlepergető, párolgáscsökkentő funkció) és egyes állatok (pl. rovarok) kültakaróján találhatók meg.

A **foszfolipidek** (foszfatidok) zsírsavakat tartalmazó része apoláris, többi része poláris jellegű. E tulajdonságuknak köszönhetően kiválóan alkalmasak membrán kettősrétegek képzésére, így a sejtek határoló hártyáinak, a membránoknak (sejthártya, sejtalkotók membránjai) a kialakítására. A glikolipidek, hasonló felépítésük miatt, szintén részt vesznek a membránok kialakításában.

A lipidek közé soroljuk a **szteroidokat** is. Fontosak a sejthártya szerkezeti elemeinek felépítésében (koleszterin). Ide tartoznak többek között a koleszterinnél képződő epesavak, melyek a zsírokat kisebb, kolloid részecskékké alakítják át, elősegítve ezzel emésztésüket. A szteroidok között vannak nemi hormonok (pl. mineralokortikoidok, glükokortikoidok, szexuálszteroidok, ösztrogén, progeszteron, tesztoszteron) és vitaminok (D-vitamin).

A **karotinoidok** az állat- és növényvilágban egyaránt elterjedt vegyületek. A vörös és a narancssárga növényi részekben, vízben oldhatatlan kristályzárványokban raktározódhatnak is. Ilyenek például a narancssárga színű karotin, a piros likopin, vagy a sárga xantofill. A klorofill mellett a xantofill és a karotin a fotoszintézisben is részt vesz. A karotinoidok közé tartoznak az A-vitamin képződésének kiindulási vegyületei

is, amik kulcsfontosságúak a látásban, illetve a szem fényérzékeny anyagának (látóbíbor) alkotórészei is ebbe a csoportba tartoznak.

A **nukleinsavak** nukleotid-egységekből felépülő makromolekulák. A nukleotidok is egyszerűbb egységekből épülnek fel: egy öt szénatomos cukorból és egy és nitrogéntartalmú szerves bázisból, valamint a hozzájuk kapcsolódó foszforsavból állnak.

A nukleinsavak közül a ribonukleinsavakat (RNS) felépítő nukleotidokban az öt szénatomos cukor a ribóz, amelyhez adenin (A), guanin (G), citozin (C) vagy uracil (U) nevű szerves bázis kapcsolódhat. A dezoxiribonukleinsav (DNS) nukleotidjaiban az öt szénatomos cukor a dezoxiribóz. A szerves bázisok közül hiányzik az uracil, helyette egy hasonló méretű bázis, a timin (T) fordul elő. A nukleinsavak felépítésében fontos tényező a bázisok sorrendje. A DNS-molekulák két láncból állnak, amelyek egymás körül feltekeredve jellegzetes kettős hélix szerkezetet alkotnak. A két láncban az egymással szemben található bázisok párokba rendeződve hoznak létre hidrogénhidakat (az adenin a timinnel, a citozin a guaninnal alkot párt).

A DNS feladata a sejtek működésére vonatkozó információk tárolása, megőrzése, és az öröklődő biológiai információ továbbadása, átörökítése. Az RNS-molekulák többféle biológiai szerepet látnak el: részt vesznek a riboszómák szintézisében (riboszomális, röviden rRNS), a fehérjék szállításában (szállító, transzfer, vagy röviden tRNS) és létrehozásában (hírvivő, messenger, röviden mRNS).

A biokémiai folyamatok során keletkező energia az élőlényekben szintén egy nukleotid-molekulában, méghozzá az ún. adenosin-trifoszfát (röviden ATP) molekulában raktározódik. Az energia a szintetizált ATP-molekulák lebontásával szabadul fel.

2. A sejt szerződés szintje

Az élőlények általános sajátossága, hogy egy vagy több sejtől épülnek fel. A sejt nem más, mint az élő anyag legkisebb önálló működésre képes egysége. A sejt szerződés megjelenése hosszú ideig tartó fejlődés eredménye volt, amelynek során a sejt egyre bonyolultabb és összetettebb lett. **A sejt szerződés két fő fejlődési fokozata a prokarióta (baktériumok, kémoszatok) és az eukarióta (az összes többi élőlénynél) sejt.** A **prokarióták** nem rendelkeznek valódi sejtmaggal (a sejtmagot nem határolja el a citoplazmától hártya), a sejten belül nincsenek membránnal határolt terek, így a kémiai reakciók egyazon térrészben játszódnak le. A sejtplazmában szabadon helyezkedik el az örökítőanyag DNS-állománya. Az **eukariótákra** jellemző, hogy a valódi sejtmagot maghártya választja el a citoplazmától, a kémiai reakciók egymástól membránokkal elválasztott térrészekben játszódnak le. Így az eukariótákban ugyanabban az időben egymás mellett egymást kizáró kémiai folyamatok is végbemehetnek. A citoplazmában sejt szervecskék találhatók, melyek a sejten belüli működésmegosztás során egy-egy részfeladat ellátására differenciálódtak. Az egysejtű szervezetek önálló életre képes szervezetek, a többsejtűek sejtjei azonban önmagukban erre nem képesek. A sejtek alakja változatos, függ környezetüktől és funkciójuktól.

A sejtek általában 10–50 mikrométer nagyságúak, de léteznek ennél jóval kisebbek (pl. nyiroksejtek) és nagyobbak (pl. petesejt, idegsejt). Az eukarióta sejtek, így a növényi és állati sejtek alapfelépítése sok szempontból hasonlít egymáshoz, de számos különbség is megfigyelhető közöttük.

2.1. Eukarióta sejtek sejszervecskéi

A sejteket környezetüktől a **sejthártya** határolja el, melynek alapvázát kettős rétegbe rendeződött foszfolipidek (foszfatidok) adják. A molekulák vizes közegben apoláris részeikkel egymás felé, poláris részükkel a membrán felszíne felé néznek. A sejthártya össze is köti a sejten kívüli és belüli teret, mert akadálytalanul átengedi az 1 nm-nél kisebb részecskéket.

Jellemző tulajdonsága az **akkumuláció**. Ez azt jelenti, hogy a sejt a környezeténél nagyobb koncentrációban raktároz, halmoz fel anyagokat. A sejthártya sejtösszetapasztó funkcióval is rendelkezik, melynek a szövetképzésben van jelentősége.

A sejtet **citoplazma** tölti ki. Azt elektronmikroszkóppal vizsgálva kiderül, hogy szerkezete nem homogén. A citoplazma alapállománya félig folyékony, rugalmas, többkomponensű rendszer, mely nagy mennyiségben tartalmaz vizet (90%), oldott szervetlen és szerves anyagokat, valamint tartalmazza óriásmolekulák, főként fehérjék kolloidjait. Sejtplazma található a sejthártya, a sejtmag és a sejszervecskék közötti térben, és ez tartalmazza a sejt életében meghatározó szerepű enzimeket. A citoplazma állományába ágyazódnak a sejtalkotók (sejtorganellek).

Az **endoplazmatikus retikulum** (ER) kiterjedt, az egész citoplazmát behálózó membránrendszer, mely fontos a különböző sejtműködések összehangolásában, az anyagok sejten belüli cirkulációjában, különböző anyagok (pl. lipidek) szintézisében, a bioszintézisek termékeinek tárolásában és továbbításában, valamint a váladékképzésben és a méregtelenítésben. Lapos zsákokból és csövekből áll, belsejét plazmaállomány tölti ki. A retikulum mennyisége, fejlettsége, üregeinek formája sejtenként igen eltérő. Két típusa: a sima felszínű endoplazmatikus retikulum (SER) és a durva vagy szemcsés felszínű (DER). A DER felszínén lévő ribonukleinsav (RNS)-tartalmú **riboszómák** a fehérjésztézis helyei. Az endoplazmatikus retikulum szoros kapcsolatban van a sejtmaghártyával, a Golgi-apparátussal és a sejthártyával, ezáltal összeköttetést jelent a külső környezet és a sejt belső üregrendszere között.

A citoplazmában lévő **általános sejszervecskék** többsége minden eukarióta sejtben megtalálható. Ezekhez tartoznak a riboszómák, a Golgi-apparátus, a mitokondriumok, a lizoszómák és a sejtcentriola.

A **riboszómák** nemcsak az ER-hoz kötötten találhatóak meg, hanem a citoplazmában is nagy számban vannak jelen. A legkisebb sejtalkotók, melyeknek a fehérjésztézisben van szerepe.

A **Golgi-apparátust** membránokkal határolt lapos zsákok építik fel, szélükön kisebb és nagyobb hólyagocskákkal. Szerepe sokrétű: részt vesz az endoplazmatikus retikulum által termelt váladék osztályozásában,

feldolgozásában, rendeltetési helyére való továbbításában, a váladéktermelésben, annak szemcsévé formálásában és szállításában, valamint a sejthártya- és sejtfalképzésben. Itt alakul ki az összetett fehérjék végleges szerkezete, emellett a Golgi-apparátus a sejt vízforgalmának szabályozásába is bekapcsolódik.

A **mitokondriumok** a sejt energiaforgalmában fontosak. Lebontják a sejtanyagok egy részét; a sejtlégzés, a biológiai oxidáció színhelyei. A felszabadított energiát adenozintrifoszfát (ATP) formájában raktározzák. Mivel a lebontó folyamatok során keletkező ATP nagy része a mitokondriumokban képződik, ezért ez a sejtalkotó a sejtek energiatermelő központja. A mitokondriumok oda vándorolnak, ahol a sejtnak a legtöbb energiára van szüksége. Minél intenzívebb anyagcserét folytat egy sejt, benne annál több mitokondrium található. Szerkezete lehet lemezes, mely a kevésbé aktív sejtekre jellemző, vagy csöves, mely az intenzív anyagcseréjű sejtekben található. Kívülről kettős membrán határolja, melynek eredetét az endoszimbionta elmélet szerint az magyarázza, hogy ősei eredetileg önálló prokarióták voltak, melyeket egy másik sejt bekebelezett, majd fokozatosan elvesztették önállóságukat. Ezt az elméletet támasztja még alá többek között, hogy a mitokondrium önálló DNS-sel és fehérjeszintetizáló rendszerrel is rendelkezik.

A **sejtközpont** (citocentrum) a sejt mozgásjelenségeit, valamint osztódását irányítja. A sejtosztódás során megkettőződnek, a sejt két pólusába vándorolnak, majd ezekből indulnak ki a magorsófonalak. A mozgási és osztódási képességüket elvesztett sejtekből (pl. érett petesejt, idegsejt) hiányzik.

A **lizoszómák** a Golgi-készülék felszínéről lefűződő, membránnal körülhatárolt, bontóenzimeket tartalmazó hólyagocskák, melyek fő feladata a sejten belüli emésztés. Feloldják a sejt lebontásra szánt anyagait, saját, előregedett sejtalkotóikat, tárolják a nehezen, vagy egyáltalán nem emészthető anyagokat. A sejtbe bekerülő szinte minden anyag és sejtorganellum bontására képesek.

A **sejtmagot** (nukleusz) maghártya határolja. Általában gömb vagy lencse alakú. A legtöbb sejtben egy sejtmag található, de vannak két- vagy többmagvú sejtek is. Két membránréteg alkotja, melyeken pórusain keresztül történik a sejtmag és a citoplazma közötti anyagforgalom. Belsejében **sejtmagnedv**, **kromatinállomány**, valamint RNS-t és fehérjét tartalmazó, ezek szintézisében részt vevő **sejtmagvacska** van. A kromatin DNS-molekulákból és a hozzájuk kapcsolódó fehérjékből áll. A sejtmag kromatinállományából az osztódást megelőzően kialakuló **kromoszómák** száma fajra jellemzően állandó. A kromoszómákban található az öröklés anyagai: a gének. A számtartó osztódáskor a kromoszómák száma megkétszereződik, így a létrejövő utódsejtekbe a fajra jellemző számú kromoszóma jut. Ez a mechanizmus teszi lehetővé a genetikai információ továbbjutását minden sejtbe. Ezen túlmenően a sejtmag irányítja a sejt anyagcseréjével kapcsolatos életműködések oly módon, hogy a DNS specifikus tevékenysége révén képződő RNS közvetítésével szabályozza a citoplazma fehérjeszintézisét.

Az egysejtű növények és állatok (pl. papucsállatkák, amőbák, ostorosok) sejtjeiben találhatóak **speciális** – pl.: táplálkozási, kiválasztási, mozgási – **sejtszervecskék** is. Az egysejtűek mozgásra specializálódott sejtorganellumai az állabak (amőbák), a „sejtizmok” (pl. harangállatkák), az ostorok (ostoros egysejtűek) és a csillók (csillós egysejtűek, pl. papucsállatka). A csillók és az ostorok szerkezete azonos, de míg a csillók

rövidek és nagy számban borítják be a sejt felszínét, addig az ostorok hosszúak és kevés (általában 1-2) található belőlük. Ostorral vagy csillóval mozog számos egysejtű. Egyes esetekben a többsejtű szervezetek bizonyos sejtje is rendelkezik velük (pl. a hímivarsejt ostorral mozog, az emlősök lég- és nemi útjainak hámsejtjein csillók találhatók). A táplálékot az amőbák állábaik segítségével kebelezik be, míg a csillós egysejtűeknél a táplálék felvételére a sejtszáj szolgál. Utóbbi csoport esetében a felvett anyagok lebontása az emésztőüröcskében, a salakanyagok kiválasztása pedig az alrésen keresztül történik.

2.2. Növényi sejt

A tipikus **növényi sejt** sok szempontból hasonlít az állati sejthez, de különbségek is megfigyelhetők közöttük. Az eddig röviden jellemzett sejtorganelleumokon kívül a növények sejtjeire jellemzők még a **sejtfal**, a **színtestek**, a **sejtnedvüreg** (vakuólum) és annak anyagai, valamint a **citoplazma zárványai**.

A növényi sejteket a sejthártyán kívül **sejtfal** is határolja. A sejtfal a citoplazma élettelen terméke. Általában szilárd váz, amely a gombák és a növényi sejtek állandó alakját adja, véd és szilárdít. Az osztódó szövetek sejtjeinél még igen vékony, majd a differenciálódásnak megfelelően alakul, vastagodik. Az elhalt sejtek sejtfalainak összessége biztosítja a szervek, pl. a fák törzsének szilárdságát. A sejtfal alapállománya a pektin és a hemi-cellulóz (mindkét vegyület poliszaharid). Egyes hemicellulózok tartaléktápanyagok, pl. a magvak másodlagos sejtfalában. A pektin adja az elsődleges sejtfalak anyagának nagy részét és ragasztja össze két szomszédos sejt sejtfalát. A gyümölcsök húsa akkor érke, puhul meg, amikor enzimek hatására a pektin elbomlik. (Pektinből készül a gyümölcsköcsnya.) A magvak, a termések, a raktározó szervek sejtjeinek sejtfala általában vékony. Kivételek pl. a datolya magja (amelynél a táplálószöveti sejtek fala igen vastag) és a körte kősejtjeinek sejtfala.

A sejtfal alapállományába ágyazódó vázanyagok közül a növények döntő többségénél a **cellulóz** a leggyakoribb. A valódi gombáknál, a zuzmóknál **kitin** (nitrogéntartalmú poliszaharid) fordul elő. Ezt a vegyületet az ember igen nehezen, illetve egyáltalán nem tudja megemészteni.

Egyes idős sejtek cellulóz vázanyagának hézagaiba, üregeibe lignin (faanyag) rakódik be. (Bonyolult összetételű, kémiaiilag egymáshoz hasonló heterociklusos vegyületekből áll.) Ez a folyamat a fásodás, amely fokozza a sejtfal szilárdságát, de csökkenti rugalmasságát. A **kutin** és a **szuberin** (paraanyagok) rétegesen rakódnak a sejtfalra. Mindkettőt sokféle vegyület alkotja, de fő alkotórészeik zsírsavak. Ebből következően csökkentik a sejtfal víz- és levegőáteresztő képességét. A parásodott falú, levegővel telt sejtek hamar elpusztulnak és a növény szárán, módosult szárán, gyökerén, esetleg termésén parabőr formájában védő réteget képeznek. Ilyen alakul pl. a burgonyagumón, a naspolya termésén, az idősebb fák szárán, gyökerén. A mediterrán vidékeken élő paratölgyön 8–10 cm-es vastagságú pararéteg fejlődik 9-10 évenként. Napjainkban az abból készült parafát ismét sokféle módon használják fel. A hazai fás szárúak közül például a szilfajokon, a mezei juharon van viszonylag vastag pararéteg. A lágyszárú növények bőrszövetének külső, vékony kutikularétegét szintén kutin alkotja.

Az idős sejtek falába **színanyagok**, **kova** (SiO_2), **mész** (CaCO_3) és egyéb vegyület is rakódhat. A színanyagok, amelyek a cseranyagok oxidációs termékei, egyes fafajok fájának (geszt) jellegzetes színét adják. Ilyen színes

gesztű fák pl. a dió, a cseresznye, a tölgy, az ében. Bútorok, szobrok és más dísz tárgyak alapanyagai. A cseranyagok a sejtnedvből kerülnek a sejtfalba. Kovát tartalmaznak pl. a kovamoszatok, a zsurlók, a sások sejtfalai. Mész épül be pl. egyes csalánfélék sejtfalába. A nagy csalán szőrsejtjeinek fala mész- és kovatartalmú. A mészkristály zárvány is lehet.

A növények egy részénél a bőrszöveti sejtek sejtfalára **viasz** választódik ki. (Ez a vegyület zsírsavak és alkoholok észtereinek keveréke.) Védi a leveleket, a terméseket a vízbehatolástól, a baktériumos és gombás fertőzésektől, csökkenti párologtatásukat. Viasz van egyes fenyőfajok és káposztafélék levelein, a szőlők, szilvák, almák, kökény stb. termésein. Ez adja „hamvasságukat”. Egyes szőlőfajták, szilvák, a kökény stb. termését a fényszóródás jelensége miatt látjuk kéknek. Az ezeket borító viszonylag vastag viaszréteg ugyanis szórófelszín, amelyről a kék szín szóródik a legjobban. Ha a viaszt letöröljük a termések felületéről, akkor a kék szín „eltűnik”.

A sejtfalban lévő cellulóz és hemicellulóz enzimes hidrolízisekor vízben duzzadó, ragacsos anyag, **mészga** képződik. Létrejöttének kiváltó oka lehet sebzés, valamint baktérium- vagy vírusfertőzés. Elzárja és így módon a további fertőzésektől védi a sérült növényrészt. A szilva-, a cseresznye-, az őszi-, a sárgabarack- és a meggyfákon figyelhető meg a leggyakrabban.

A **színtestek** (plasztiszok) a bennük lévő színanyagok és élettani tevékenységük alapján három csoportba oszthatók. Kloro-(zöld), kromo-(színes) és leukoplasztiszokra (színtelen). A jelentős mennyiségű fehérjét, lipidet, továbbá ATP-t, DNS-t és RNS-t tartalmazó, a sejtek plazmájába ágyazódó **kloroplasztiszok** a legelterjedtebb színtestek. Kettős membrán határolja. A membránok által határolt teret a sztóma (alapállomány) tölti ki. Ebben található a tilakoidok. A korong alakú granum tilakoidok egymás felett lévő korongokból állnak. Ezeket kötik össze a sztóma tilakoidok. A színtestek a fotoszintézis (-asszimiláció) sejt szervecskéi, ezért nagy jelentőségűek a földi élet szempontjából. Különböző színanyagok, pl. többféle klorofill (zöld), karotin (narancssárga), xanthofill (sárga) fordulnak elő bennük. Felépítésük és működésük alapján a kloroplasztiszokhoz sorolják a barnamoszatok barna és a vörösmoszatok vörös színű színtestjeit is. A kloroplasztiszok a Nap meghatározott hullámhosszúságú fénysugarainak energiáját kötik meg. A klorofillok legnagyobb mértékben a spektrum vörös és a kék tartományának fénysugarait nyelik el és a zöldet verik vissza. Ezért látjuk zöldnek a leveleket. A barnamoszatok színanyagai a kék fényt, a vörösök pedig a zöldet abszorbeálják. A fotoszintézisben szerepet játszó karotinoidokat primernek (elsődlegesnek) nevezik, így különböztetve meg azokat a néhány baktériumban, gombában, a virágokban és termésekben előforduló szekunder (másodlagos) karotinoidoktól. A tilakoidokban játszódik le a fotoszintézis fényreakciója, a sztómában a sötét szakasz reakciói. A kloroplasztiszok száma a sejtekben változó, legtöbb a levelek asszimiláló alapszövetében van. A citoplazma áramlása révén mozgásuk passzív. A szintén a citoplazmában lévő **kromoplasztiszok** festékösszetevőit kb. 50-féle festékanyag adja. Leggyakoribbak a karotinok és a xanthofillok, de ismert a piros színű likopin is. A színes színtestek biztosítják a virágtakaró levelek és a termések (pl. sárgabarack, narancs) döntő többségének színét. Szerepük van a madarak, rovarok csalogatásában, és ezzel a virágos növények megporzását, a termések elterjesztését segítik. Biológiai jelentőségük ebben áll. Keletkezhetnek közvetlenül a fiatal sejtek citoplazmájában lévő plasztiszkezdeményekből, a színtelen leukoplasztiszokból, de a kloroplasztiszokból is, a klorofill elbomlásakor. Ez utóbbi következik be sok növény termésének érésekor (pl. paprika pirosodása). Az őszi lombszíneződésnek is ez az egyik oka.

A plasztiszkezdeményekből alakuló **leukoplasztiszok** elsősorban a fénytől elzárt sejtekben, raktározó szervekben halmozódnak fel. Egyrészt a fotoszintézis termékeit (főleg keményítőt és olajat) raktározzák, másrészt színtesttartalékok. A keményítőt felhalmozónak a neve: amiloplasztisz. Napfény hatására a leukoplasztiszok kromo- és kloroplasztisszá válhatnak (pl. burgonyagumó megzöldülése).

A citoplazmában különböző eredetű, membránnal határolt, sejtnedvet tartalmazó nagyobb üregek, **vakuólumok** is előfordulnak. Tartalmuk, funkciójuk és alakjuk szerint többfélék. A tejnedv, a lüktető vakuólumok, a zárványok stb. is e rendszer részei. Legelterjedtebb a **sejtnedvüreg**. A vakuólumban lévő sejtnedv különböző oldatok elegye. Összetétele növényfajonként és szervenként eltérő, sőt ugyanabban a sejtben sem mindig azonos. Az egyes vegyületek mennyisége, egymáshoz viszonyított arányuk változhat a külső körülmények, a növény vagy növényi szerv korának függvényében is. (Ezért fontos pl. az iskolakert gyógynövényeinek szedésére ajánlott időpontot és növényállapotot pontosan betartani.) A sejtnedv funkciója többféle. Mivel a talajoldatoknál töményebb, ezáltal közreműködik azok ozmotikus felvételében (ozmózis – féligáteresztő hártyán történő anyagáramlás fizikai erő hatására) és a turgor (a sejtek belső feszítő nyomása) létrehozásában. A sejtnedvben közömbösítődnek és tárolódnak az anyagcsere ártalmas termékei, illetve az időlegesen felesleges tartalékanyagok. A sejtnedvben a következő vegyületek a leggyakoribbak: a **szénhidrátok** közül a szőlő- és a gyümölcscukor (monoszaharidok), illetve a nád- és a malátacukor (diszaharidok). (Tulajdonságaik bővebb ismeretét az indokolja, hogy a gyerekekkel megfigyeltetett színek, ízek és más növényi tulajdonságok egy részének okozói.) A fészekvirágzatúak tartalék szénhidrátja a gyümölcscukorból polimerizációval létrejövő inulin (poliszaharid, cukorbetegségekenyérének készítéséhez használják) szintén a sejtek vakuólumában halmozódik fel. A savanyú kémhatást előidéző, jellegzetes ízű és ízt adó **szerves savak** – almasav, citromsav, sósavas stb. – szabad és kötött állapotban egyaránt lehetnek a levelekben, gyümölcsökben, esetleg a lágyszárúak száraiban. Védik a növényt a kártevőktől. A csalánszörök egyéb vegyületek mellett hangyasavat is tartalmaznak. Az éretlen gyümölcsben több a szerves sav, mint az érettben, mert azok az érés során lebomlanak. Az aminosavak és a fehérjék főként az éretlen magok sejtnedvének alkotói.

A **glikozidok** igen különböző anyagcsereúton keletkeznek, kémiai felépítésük és élettani hatásuk is sokféle. A glikozidokat tartalmazó növények jelentős részét a népi gyógyászat és a gyógyszeripar hasznosítja. Bennük szőlő- vagy más cukormolekula egy nem cukorvegyülethez, pl. fenolhoz, alkoholhoz, szerves szénatomhoz, aminhoz kapcsolódik. **E vegyületcsoportba tartoznak az amygdalin** (cianogén glikozid), a **fenolos**, a **szívre ható**, a **kéntartalmú glikozidok**, a **szaponinok**, a **flavonoidok**, az **antociánok**. **Amygdalin** van pl. a mandula, a sárgabarack, a cseresznye, a szilva, az alma magjában, a madárberkenye termésében. Bomlásakor ciánhidrogén (HCN) szabadul fel. Ez a bomlás a magok rágásakor is végbemegy. A vizes oldatban felhabzó **szaponinok** találhatóak a tavaszi kankalin, a bokrétafa, a borostyán stb. különböző szerveiben. **Szívre ható glikozidok** fordulnak elő pl. a csíkos kecskerágóban, a gyűszűvirágban, a héric- és a hunyorfajokban. A fűzfák kérgében, levelében lévő szalicin **fenolglikozid**. **Kéntartalmúak** az ún. mustárolaj-glikozidok. Általában a káposztafélék (keresztesvirágúak) virágában, magjában gyakori, illékony vegyületek, de ezek adják a torma, a retek, a mustár csípős ízét is. A **flavonol-glikozidok** igen változatos szerkezetűek. Sok növény virágának és termésének élénk sárga színe ezektől származik, pl: a fészekvirágzatúaké, a tavaszi kankaliné, a citromhéjé, a banáné. A megporzásban és a termések elterjesztésében ezek is szerepet játszanak. Színüket nem változtatják. Az **antociánok**nak pedig éppen

a színváltoztatás a legjellemzőbb tulajdonságuk. Színük a sejtnedvnek, tehát annak a közegnek a kémhatásától függ, amelyben vannak. Savasban vörös, gyengén lúgosban kék, erősen lúgosban zöld, sárga, semlegesben pedig ibolya. A felsorolt színű virágsziromszíneket (pl. a katángkóróét, ibolyakét, tüdőfüvekét, pipacsét, dáliaét), terméshéj-, néha terméshússzín (pl. vörös szőlők, szilva, cseresznye, meggy) és levélszín (pl. vérbükk, vöröskáposzta) tehát antociánok adják. Néhány termesztett növény módosult szára is ettől a vegyülettől vörös (pl. hónapos retek, vörösrépa).

A **cserzőanyagok** (nitrogénmentes fenolszármazékok) fanyar ízű tartósítóvegyületek. Legismertebb a gubacs-csersav (tannin), amely a tölgyek kérgében, a tölgyfagubacsban, a cserszömörce levelében, a szőlő héjában stb. fordul elő. Cseranyagok adják a vadalma, a vadvörte, a kökény éretlen gyümölcsének fanyar ízét is.

Az **alkaloid** igen változatos kémiai szerkezetű vegyületek gyűjtőneve. Lassan lebomló, egyes növény-családokra jellemző növényi anyagcseretermékek tartoznak ide. Például a burgonyafélék (burgonya, nadragulya, beléndek, csattanó maszlag, dohány), a liliomfélék (őszi kikerics, májusi gyöngyvirág) sok fájában, a mákfélék családjának pedig szinte minden tagjában (kerti mák, vérehulló fecskefű) szintetizálódnak. Sok gombában (pl. anyarozs, mérgező kalaposgombák) is megtalálhatók. Alkaloidok képződhetnek minden növényi szervben. Vándorolnak, ezért olyan szervben is felhalmozódhatnak, amelyekben nem szintetizálódnak. A növény életében betöltött élettani szerepük még nem teljesen tisztázott. Sok alkaloidát használ fel alapanyagként a gyógyszeripar.

Ismertebb alkaloidok: nikotin (dohányban), morfin, ópium, papaverin, kodein (mákban), teofillin (tealevélben), koffein (kávében, tealevélben), kokain (kokaincserjében), kinin (kinafa kérgében) stb.

A **citoplazma zárványai** nem állandó alkotórészei a sejteknek. Raktározott tápanyagok vagy az anyagcsere vég- illetve melléktermékei. Halmazállapotuk lehet szilárd, ilyenek pl. az aleuronszemek (fehérjézárványok, amelyek a betöményedő vakuólumokban vannak jelen, aminosavraktárak); cseppfolyós (pl. az olaj, az illóolajcseppek) és ritkán légnemű (pl. a kékoszatoknál). Kémiaiag fehérje- (pl. aleuron), szénhidrát-, zsír-, olaj- (len, mák, napraforgó, ricinus), illóolaj-, gyanta- és kristályzárványok (kalcium-oxalát, kalcium-karbonát stb., pl. vöröshagyma) ismertek. Főként magvakban, föld alatti módosult szárazokban, gyökerekben találhatók. A fás szárú növények a keményítőt a szállítószövet közötti alapszövet sejtjeiben tárolják. Kristályzárványok előfordulnak pl. levelekben (vöröshagyma, sóska) vagy a szállítószövet hancsrészeiben (almafa, hársfa).

2.3. Sejtek osztódása

Az osztódás képessége az élőlények sejtjeinek egyik alapvető tulajdonsága. Osztódáskor a legtöbb sejt megkétszerezi az örökítőanyagát, a citoplazmáját, a sejtorganellumait is (ha vannak neki), és tartalmukat elosztja két utódsejt (leánysejt) között. Ezt a folyamatot hívjuk sejtosztódásnak.

2.3.1. Prokarióta sejtek osztódása

A **prokarióta sejtek** általában egyszerű **kettéosztódással**, más néven **hasadással** szaporodnak. Ennek során a már megkettőződött örökítőanyagot tartalmazó sejtek megnyúlnak, majd az ún. szeptum mentén kettéválnak. Mindkét leánysejt egy-egy kópia kromoszómát kap, mellé riboszómákat és más makromolekuláris komplexeket, monomereket, a megfelelő arányban, hogy a két immár független sejt működése zökkenőmentes legyen.

2.3.2. Eukarióta sejtek sejtciklusa és osztódása

Az osztódásra képes eukarióta sejtek élete **két szakaszra** osztható: **nyugalmi** és **sejtosztódási szakaszra**, ezt hívjuk sejtciklusnak. A **nyugalmi szakasz** (interfázis) elején a sejt tömege és térfogata megnő, benne intenzív anyagcsere-folyamatok zajlanak. Amikor eléri a megfelelő méretet, **DNS-állománya megkettőződik**, és a nyugalmi szakasz végére a sejt felkészül a sejtosztódásra. Ezután történik a **sejtmag osztódása, majd a sejt osztódása**.

A sejtciklus irányítására az evolúció során az eukarióta sejtekben igen bonyolult és kifinomult szabályzómechanizmus alakult ki. Egysejtűeknél az osztódás eredményeképpen létrejövő két új sejt valójában két új organizmus lesz. A soksejtű szervezetekben is folyamatosan zajlik sejtosztódás, részben az elhasználódott, elhalt sejtek pótlása, részben a szövetek, szervek növekedése, differenciálódása során. A soksejtűek nem mindegyik sejtje őrzi meg osztódóképességét.

Mielőtt az eukarióta sejtek osztódásának típusait tárgyaljuk, fontos tisztában lennünk a sejtek DNS-állományának különböző elnevezéseivel. A nyugalmi szakaszban **kromatinállománynak** nevezzük, ekkor a DNS relaxált, kitekeredett állapotban van. Fénymikroszkóppal nem is figyelhető meg. A nyugalmi állapot elején egy diploid sejt teljes örökítőanyaga két sorozatban (apai és anyai) található meg, amelyek hasonlóak, de nem teljesen egyformák. A nyugalmi szakasz végére az örökítőanyag megkettőződik, vagyis ekkor már négy sorozat található a sejtben, amelyek közül kettő-kettő teljesen megegyezik. Ekkor a teljes DNS-állomány még mindig kitekeredett, **laza kromatinállományként** van jelen a sejtmagban. A kromoszómák csak az osztódás (lásd lentebb) megkezdődésekor állnak össze. A **kromoszómák** a kromatinállományból alakulnak ki, amikor a DNS-kettősspirál **kondenzálódik**, tömörödik. Az eredeti örökítőanyag megkettőződésével kromatidák jönnek létre, majd a centromérán keresztül összekapcsolódó **kromatidapárt nevezzük kromoszómának**. Az osztódási szakaszban fénymikroszkóppal is megfigyelhető kromoszómák valójában a már megkettőződött DNS-szakaszok. Minden kromoszómának van egy párja (apai és anyai eredet), ami szintén duplán tartalmazza az örökítőanyagot, ezeket nevezzük **homológ kromoszómáknak** vagy röviden homológoknak.

2.3.2.1. Amitózis

Az **amitózis** során a sejt DNS-állományában **nem történik alaki változás**, a megkettőződött örökítőanyag nem rendeződik kromoszómákba. A sejtmag közepén befűződik és kettéválk, majd maga a sejt is megkettőződik. Az amitózis eredményeként két, az eredeti sejttel megegyező mennyiségű örökítőanyagot tartalmazó sejt jön létre. Ez a típus az **alacsonyabb rendű eukariótáknál fordul elő**, például moszatoknál és élesztőgombáknál.

2.3.2.2. Mitózis

A **mitózis** során **nem történik változás a kromoszómák számában**, azaz a két utódsejtben ugyanannyi kromoszóma lesz, mint az anyasejtben volt. Az osztódásnak ezt a formáját **számtartó osztódásnak** is nevezzük.

A nyugalmi szakasz végére a sejtmagban már megkettőződött az örökítőanyag, a sejtorganellek mennyisége megnőtt (mindkét utódsejtbe jusson elegendő), és megkettőződött a sejtközpont is, azaz a sejt felkészült az osztódásra. A mitózis elnevezést, mely valójában csak a sejtmag osztódását foglalja magában, az ezt követő sejtosztódást (citokinézist) már nem, gyakran mégis a két folyamat közös megnevezésére használják. Ebben a jegyzetben a mitózis kifejezést szűkebb értelemben vesszük.

A mitózis négy szakaszra osztható fel. Az **előszakasz** (profázis) folyamán a kromatinállomány fonalas lesz, a fonalak megrövidülnek, tömörödnek, és kialakulnak a két kromatidából álló kromoszómák. A maghártya feloldódik, a sejtközpontok a sejt két pólusára vándorolnak, elkezdődik a magorsófonalak kialakulása. A **középszakaszban** (metafázis) a kromoszómák a sejt középső síkjába rendeződnek, a testvér-kromatidák már csak egyetlen ponton (centromer) kapcsolódnak. Ezt nevezik egycsillag-állapotnak. Az **utószakasz** (anafázis) folyamán a testvér-kromatidák szétválnak, és a húzófonalak rövidülése miatt a pólusok (voltaképpen sejtközpontok) felé mozdulnak el. Ezt nevezik kétcsillag-állapotnak. A **végszakaszban** (telofázis) a tömörödött kromatidák újra laza kromatinállományra esnek szét, a két póluson kialakul a két maghártya és ezzel a két sejtmag.

Ezután történik a sejt kettéosztódása, amelynek eredményeképpen két azonos genetikai állományú, a szülősejttel megegyező örökítőanyag-tartalmú leánysejt jön létre.

2.3.3. Meiózis, számfelező osztódás

A **számfelező osztódás (meiózis)** az ivaros szaporodás előfeltétele. A diploid eukarióta szervezetek ivaros szaporodása során két haploid ivarsejt (testi sejtekhez képest feleakkora génállományú sejtek) összeolvadásával jön létre az utód. A meiózis a haploid kromoszómakészlettel rendelkező sejtek létrejöttét jelenti. Az állatok esetében ez legtöbbször az ivarsejtek kialakulását jelenti, míg szárazföldi növényeknél számfelező osztódással csak a spórák alakulnak ki, és mind a sporofiton, mind a gametofiton sejtjei, valamint maguk az ivarsejtek is mitózissal jönnek létre.

A **meiózis** voltaképpen **két módosult sejtciklusból**, két módosult, szorosan egymásra épülő sejtosztódásból áll. A kiinduló diploid sejtől **négy haploid sejt jön létre**. Az **első osztódási szakasz előtt a nyugalmi fázisban az örökítőanyag megkettőződik**, de az ezt követő osztódási szakasz előtt **kimarad a DNS megkettőződése**.

Tehát a meiózis két főszakaszból áll. Az **I. főszakasz előszakaszában** (I. profázis) a homológ kromoszómák párokba rendeződnek és összekapcsolódnak. A sejtmaghártya elkezd feloldódni. Az **I. középszakaszban** (I. metafázis) a homológ kromoszómapárok a sejt középső síkjába rendeződnek és a maghártya teljesen eltűnik. Az **I. utószakaszban** (I. anafázis) a húzófonalak a kromoszómapárokat elválasztják egymástól, és a sejt két pólusára húzzák őket. Az **I. végszakaszban** (I. telofázis) kialakul a két maghártya, és mindegyik feleannyi kromoszómát (csak egy sorozat homológot) tartalmaz, mint amennyi a főszakasz elején a kiinduló sejtben volt. Az így **létrejött sejtmagok haploidok**, de fele mennyiségű **kromoszómájuk továbbra is két kromatidából áll**. Ezután kettévál a citoplazma, azaz a két sejt is. Ezután egy hosszabb-rövidebb nyugalmi szakasz következik, de ekkor DNS-megkettőződés nem történik. Majd elkezdődik a **II. főszakasz** (ez voltaképpen olyan, mint a mitózis), vagyis a második meiotikus osztódás. A **II. főszakasz előszakaszában** (II. profázis) a kromatinállomány fonalassá válik, megrövidül, kialakulnak a kromoszómák, elkezdődik a maghártya feldarabolódása. A **II. középszakaszban** (II. metafázis) a kromoszómák a sejt középső síkjába rendeződnek, a húzófonalak segítségével. A **II. utószakaszban** (II. anafázis) a kromoszómák kromatidái elválnak egymástól, és a sejt két pólusára vándorolnak. A **II. végszakaszban** (II. telofázis) kialakulnak a maghártyák. Mindegyik sejtmag haploid, mivel minden kromoszómából csak egyetlen példányt tartalmaznak. Összesen 4 sejt jön létre az első főszakasz előtti kiindulási sejtől.

Az ivarsejtek változatosságát növeli, hogy az első főszakaszban a **homológ kromoszómák párokba rendeződése véletlenszerűen** történik, azaz az anyai és apai eredetű kromoszómák egymástól függetlenül rendeződnek párokba és kerülnek valamelyik utósejtbe. Ezen felül átkeresztezések révén a két homológ között egyes szakaszok (allélek) kicserélődhetnek. Ez a folyamat a **rekombináció**, ami jelentősen megnöveli az utódsejtek genetikai állományának változatosságát.

3. A szöveti szerveződés szintje

A többsejtű élőlényekben, az evolúciós folyamatok során, a sejtek között működésmegosztás jött létre, amely a szövetek kialakulásához vezetett. A közös eredetű, hasonló alakú és azonos működésű sejtek csoportja a **szövet**.

3.1. Növényi szövetek

A **növényi szöveteket** két nagy csoportra szokás osztani: **osztódóra** és differenciálódott **állandósultra**. Az **osztódó szövet** hozza létre az állandósult szöveteket, melyeknek sejtjei már csak kivételes esetekben (pl. sebzés, fagykár) nyerik vissza osztódóképességüket. Az előbbi a gyökér- és a hajtásrendszer csúcsán, valamint a másodlagosan vastagodó nyitva- és zárwatermő növények kambiumában van.

Állandósult szövet a bőr-, a szállító- és az alapszövetrendszer. Az utóbbi lehet valódi alapszövet, mechanikai, valamint kiválasztó és váladéktartó. Valódi alapszövet az asszimiláló, a raktározó, a víztartó és az átszellőztető. A gyerekeknek legrészletesebben az érzékszervi tapasztalatot (tapintás, látás) biztosító bőrszövetet mutatjuk be.

3.1.1. Bőrszövet

Az **elsődleges bőrszövet** szorosan egymás mellett elhelyezkedő sejtjei védik a fiatal növényi szervek felületét a sérüléstől, a vízvesztéstől és a hirtelen hőmérséklet-változástól. A bőrszövetet gyakran borítja kutinnal átitatott kutikula. A kutin nem bomlik le, ezért a kövesült növényrészeken is megmarad. Letűnt földtörténeti korokban élt növények ennek alapján meghatározhatók. A levelek, gyümölcsök bőrszövetén, mint az már ismert, viasz is felhalmozódhat. A levél, a fiatal szár és a viráglevél bőrszöveti sejtjei között két zárósejtből és a köztük lévő légrésből álló **gázcserenyílások** vannak, amelyek a gázcserét és a párologtatást szabályozzák. A gázcserenyílások aktív mozgása a zárósejtek vízzel való telítettségétől függő, bonyolult élettani folyamat. Ha a zárósejtek duzzadtak (ezt enzimműködés szabályozza), akkor fokozódik a turgornyomás és kinyílik a légrés. Ilyenkor a párologtatás intenzívebb. Vízvesztéskor vagy turgoreséskor a zárósejtek elernyednek, zárják a légrést, ilyenkor a párologtatás csökken. A gázcserenyílások mozgását befolyásoló további tényezők: a levegő szén-dioxid koncentrációja, a hőmérséklet és a fény mennyisége.

A szilárd szennyeződések (pl. porszenyezés) nagy mennyiségű felhalmozódása a levél bőrszövetének felületén eltömheti a gázcserenyílásokat, és ezáltal csökkentheti az asszimilációs felületet. Mérgező gázok is beléphetnek a légrésen keresztül a belső szövetekbe.

Az elsődleges bőrszövet képződményei az egyes szerveken a **növényi szőrök**, amelyek működésük alapján lehetnek pl. papillák, fedő-, serte-, pikkely-, csalán-, kapaszkodó-, repítő- és mirigyszőrök. A **papillák** felületnagobbító kitűrdések, amelyek bársonyossá teszik a virágszirmokat (árvácska). A **fedőszőrök** a hidegtől és a túlzott párologtatástól védik a növényeket (pl. kökercsinfajok, havasi gyopár), a merev és hegyesvégű **serteszőrök** a kisebb állati kártevőket tartják távol (pl. az érdeslevelűek családjának növényeinél: tündőfüveknél, nadálytőfajoknál, kígyószisznél), a jó hőszigetelő **pikkelyszőrök** pedig főként a kiszáradást előzik meg (ezüstfa levelén). A **kapaszkodószőrök** rögzítik a hajtást (komló), a **repítőszőrök** a magokat szállítják (gyapot, bakszakáll). A hosszú, tömlőszerű, ingerületátvivő anyagokat (hisztamint, acetil-kolint) tartalmazó **csalánszőrök** specializált védőképződmények. Érintéskor a szőrsejt tetején lévő gömböcske letörik, és a hegyes csont a bőrbe fúródik. Így jutnak be az előbb említett vegyületek a hámszövetbe. A **mirigyszőrök** a kiválasztásban vesznek részt (a komló keserűanyagát mirigypikkelyek, a bokrétafa rügypikkelyeit fedő gyantát pedig mirigygomolyok termelik).

A fedő-, a pikkely- és a repítőszőrök gyakran fehérek. Ezek sejtjei ugyanis rövid életűek, üregüket levegő tölti ki. Felületükről ezért a fény teljesen visszaverődik.

Részben bőrszöveti eredetű a **tüske** (rózsafajok, szeder), amely a nagyobb testű növényevő állatokat tartja távol a cserjéktől. (Tehát helytelen az a közmondásunk, hogy „Nincsen rózsza tövis nélkül”).

A gyökér bőrszövetén nincs sem gázcserenyílás, sem kutikula. Jellegzetes képződménye a rövid élettartamú **gyökérszőr**, amely a gyökér vízfelszívó felületét növeli.

Az elsődleges bőrszövetet a több évig élő növények törzsén, ágain, gyökerén **másodlagos**, majd **harmadlagos bőrszövet** váltja fel. Az előbbi felületén lévő védőrész neve **pararéteg**, az utóbbié pedig héjkéreg. A pararész alatt másodlagos osztódó réteg, ún. **parakambium** jön létre. Ez kifelé újabb paraszöveti, befelé pedig alapszöveti sejteket fűz le. A szorosan záródó sejtekből álló pararéteg védi a növényrészt a környezeti hatásoktól, de akadályozza a gázcserét. Ezért benne légzést biztosító **paraszemölcsők** képződnek. Ezek például a fekete bodza, a bibircses kecskerágó hajtásain szabad szemmel is láthatók. A tél kezdetén elzáródnak, tavasszal, a záróréteg felszakadása után, ismét folytatják az átszellőztetést. A szilfajok, a mezei juhar ágain képződő vastag pararéteget hosszanti **paralécek** szakítják meg. Ezek funkciója azonos a paraszemölcsökével. Ha a folyamatosan leváló pararéteg egyenletes osztódással jön létre, akkor a fa kérge sima felületű lesz (pl. bükk, gyertyán, nyír), ha egyenlőtlen osztódással, akkor pedig barázdás (pl. tölgyfajok). A törzs, illetve az ágak állandó vastagodása miatt az osztódó szövet egyre mélyebben jön létre. Amikor eléri a szállítószövet háncsrészét, akkortól már harmadlagos bőrszövet, vagy **héjkéreg** képződik. Ennek mintázata, repedezettsége, leválásának formája, színe a növényfajra jellemző. A kőris, a diófa vagy az előbb említett tölgyfajok kérgén hosszanti repedések vannak; a fenyők kérge pikkelyes; a nyíréké, cseresznyefajoké (fajtáké) sima, körkörösén leváló. A vastag héjkéreg védi a fát a növényevő állatok rágásától. A kéreg repedéseiben sok rovar és rovarlárva él, felületén mohák, zuzmók telepedhetnek meg. A repedések biztosítják a fatörzs mélyebben fekvő rétegeinek a gázcseréjét.

Ismerünk olyan fákat (fűzfa, tiszafa) és cserjéket (puszpáng, kutyabenge), amelyek kérgében mérgezést okozó alkaloidok, illetve gyógyszeralapanyagul szolgáló más vegyületek halmozódnak fel.

3.1.2. Szállítószövet

A **szállítószövet-rendszer** sejtjeiben oldatok áramlanak. A növény szárában és leveleiben a megnyúlt szállítósejtek nyalábokba tömörülnek és hosszanti irányban helyezkednek el. Az edénynyaláb fa- és háncsrészre különül. A szállítónyalábokat alapszövetből álló nyalábhüvely veheti körül. A **farész** tág vízszállító csöveiben, a *tracheákban* (zárvatermők) és szűk vízszállító sejtjeiben, a *tracheidákban* (harasztok egy része és a nyitvatermők) a levelek felé áramlik a vizes oldat. A tracheák egymás fölött lévő tagokból állnak. A köztük lévő harántfalak perforáltak vagy felszívódtak. Alakilag hasonlítanak a rovarok légcsöveihez, a nevük ezért trachea. A **háncsrész** rostasejtjeiben (harasztok, nyitvatermők) és rostacsöveiben (zárvatermők) ellenkező irányban áramlanak a fotoszintetikus asszimilációval képződött szerves anyagok. A háncsrész sejtjes elemeinek fala cellulózból épül fel, a vízszállító sejtek és csövek falai elfásodnak. Ez a szövettáj a fatest (farész). Nyílt a szállítónyaláb akkor, ha fa- és háncsrésze között van osztódószövet, ha nincs, akkor pedig zárt. A másodlagosan vastagodó fás szárú növényeknél a fa- és a háncsrész között helyezkedik el a gyűrűvé záródó kambium, amely befelé fa-, kifelé hánccseleket hoz létre.

3.1.3. Alapszövet

Az **alapszövetrendszer** a növényi test bőrszövet és szállítószövet közötti alapállománya.

3.1.3.1. Valódi alapszövet

A **valódi alapszövetek** fontos növényi életműködéseknek, a fotoszintézisnek, a légzésnek, a raktározásnak a helyei. Térbelileg nem határolódnak el a növényben. Élettani működésük alapján az alábbi típusai ismertek:

- ♦ **Asszimiláló alapszövet** a fotoszintetikus szervesanyag-képződés helye. Kloroplasztiszokat tartalmaz. Tipikus formában a lomblevelekben jelenik meg, de előfordulhat fiatal, zöld szárakban vagy módosult szárakban is (kaktuszfélék).
- ♦ **Raktározó alapszövet** elsősorban a fénytől elzárt növényrészekben, magvakban, gyökerekben, gyökér- és földbeni szármódosulatokban található. A sejtjeiben lévő leukoplasztiszok révén különböző energiadús szerves anyagokat (szénhidrátokat, növényi olajokat) tartalmaz. Ezeket a raktározott tápanyagokat a növény rügyfakadásakor, csírázáskor használja fel.
- ♦ **Víztartó alapszövet** van a száraz környezetben élő pozsgás növények (agáve, kaktuszok, kövirózsafajok stb.) testében. Sejtjei vékonyfalúak, nagy üregűek, nyálkát tartalmaznak. (A nyálka köti meg a vizet.)
- ♦ **Átszellőztető alapszövet** a vízinövények víz alá merülő részeiben alakult ki. Megtalálható a tündérrózsafajok levélnyelében, a hínárnövények szárában, a nád gyöktörzsében stb. Az átszellőztető alapszövet kitágult sejtközötti járataiban sok a levegő.

3.1.3.2. Mechanikai vagy szilárdító alapszövet

A **mechanikai vagy szilárdító alapszövet** a szárazföldi növényeket szilárdítja, merevíti. Ellenállóvá teszi azokat a különböző mechanikai hatásokkal, pl. a széllal, a saját hajtásrendszer és a levél súlyával szemben. Két fő típusa van, a **kollenchima** és a **szklerenchima** szövetek. Az előbbieket, tehát a kollenchimákat a növekedő növényrészekben fordulnak elő, egyenlőtlenül és csak helyenként megvastagodott falú élő sejtekből jönnek létre. Ilyenek találhatók pl. a piros árvacsálán, a kakukkfű-fajok hajtásaiban. A szklerenchimákat cellulózból álló, egyenletesen megvastagodott falú elhalt sejtek alkotják. Állhatnak hosszú, megnyúlt rostokból vagy nagyjából azonos nagyságú sejtekből. A rostok lehetnek farostok vagy a farésztől függetlenek. Ez utóbbihoz tartoznak a textiliparban feldolgozott növényi rostok is, pl. a lené és a kenderé.

3.1.3.3. Kiválasztó és váladéktartó alapszövetek

A kiválasztó és váladéktartó alapszövetek a növények anyagcseréjekor létrejövő cseppfolyós vagy szilárd termékeket választják ki. **Szekrécióval** a növény számára még hasznosítható **szekrétumokat**, **exkrécióval** pedig a végtermékeket, az exkrétumokat. A kiválasztó alapszöveti sejtcsoportok előfordulhatnak a növény különböző részein. **Külső kiválasztású** sejtcsoportok a bőrszöveti eredetű **mirigyszőrök**, a nektárt (cukros vizet) kibocsátó **nektáriumok**, az illatkiválasztó **ozmofórák**, a vizet csepp alakban felszabadító **hidatódák**. **Belső kiválasztású** sejtcsoportok az **oldásos sejtközi járatok** (pl. a fenyők gyanta- illetve balzsamvezetékei), valamint a **tejcsövek** (pl.: kutyatejfajok, leánder, szobafikus, csalán, gyermekláncfű, mák). A **tejnedv** a tejsző sejtnedve, amely a növény megsebzésekor, a turgornyomás esésének következtében jut a felületre.

3.2. Állati szövetek

Az állati és az emberi szervezetben négy szövettípust különböztetnek meg: a hám-, a kötő- és támasztó-, az izom- és az idegszövetet. Az anatómia-élettan tantárgyban tanultak ismeretét feltételezve, a következőkben részletesen csak a gyerekekkel megfigyeltethető hámszövet, illetve kültakaró-féleségek ismertetésére kerül sor.

3.2.1. Hámszövet

A **hámszövetben** szorosan egymás mellett elhelyezkedő sejtek plazmáját plazmahidak kapcsolják össze, sejtközi állomány kevés. Benne nem fordulnak elő (illetve csak igen ritkán) nyirok- és vérerek. Idegrostokban azonban gazdag. Az alatta elhelyezkedő kötőszövethez az ún. alaphártya kapcsolja. Ezen keresztül diffúzióval jut tápanyaghoz. A hámszövet **csoportosítható a sejtek alakja** (lap-, köb-, hengerhám), a **sejtretegek száma** (egy- és többretegű) és **működés** alapján. Az utóbbi szerint, azaz élettanilag lehet: fedő- (védő-), érzék-, felszívó- és mirigyhám.

3.2.1.1. Fedőhám

A **fedőhám** ki- és befelé határolja a testet, illetve a szerveket. Véd a mechanikai, a fizikai, a kémiai hatások ellen, kibéleli a test nagy üregeit.

A **gyűrűsférgesek** (pl. földigiliszta) kültakarója kutikulával (a többsejtű állatok fedőhámja által elválasztott szerves anyagú fedőréteggel) fedett egyrétegű hengerhám. Köztük váladéktartó kiválasztó mirigyhámsejtek és ingereket felfogó érzéksejtek vannak. A testfelületre jutó váladék a kiszáradástól védi az állatot.

Az **ízeltlábúak** testén kitinkutikulás hám van. A **kitint** az egyrétegű felhámsejtek termelik. Ez a rugalmas, külső hatásoknak ellenálló anyag külső váz is. Ehhez tapadnak belülről a harántcsíktolt izmok. A kitin szilárdságát a rákoknál kalcium- és magnéziumsók berakódása fokozza. A kitin nem növekszik az állattal

együtt, ezért a növekedés során azt időnként levedli. (A rákok egész életükben vedlenek, a rovarok, az alsórendűek kivételével, csak lárvakorukban.) Az ízeltlábúak kültakarójának képződményei a **serték** és a **szőrök**. Érdekes felületet, színt, rajzolatot adnak az állatoknak. Esetenként védő funkciójuk is van, például a lepkék hernyóinak testét a fényt jól szóró sűrű kitinszőrzet, apró nyúlványok, bolyhok fedik. Ismertek olyan hernyók is, pl. a búcsújáró lepkéké, amelyek kitinszőreinek tövében mérges váladékot termelő, gyulladás, csalánkiütést okozó egysejtű mirigyek fordulnak elő. Ezek is a védekezést szolgálják. A lepkék két pár hártvány szárnyát apró pikkelyek (specializálódott szőrök) borítják, ez a „hímpor”. Alakjuk, nagyságuk, elrendeződésük különféle, fajra jellemző rajzolatot ad. A lepkék színe függ a pikkelyekben lévő festékanyag mennyiségétől, minőségétől és eloszlásától, továbbá a pikkelyek elrendeződéséből következő fizikai jelenségektől (fénytörés, visszaverődés). Festékanyagok adják pl. a vörös, a kék, a sárga, a zöld, a fekete színt, a fémesen csillogókért pedig a fizikai jelenségek „felelősek”.

A **puhatestűek** kültakarója egyrétegű hengerhám, amelynek sejtjei között nagyszámú egysejtű nyálkamirigy van. A kagylók és a csigák többségének testét védő meszes héjat a zsigeri szervektől az utóbbiakat borító köpeny szélének (csigák) és külső felületének (kagylók) hámja választja el. A héj az állatokkal együtt növekszik, a sérült héjrész pótlódik.

A **gerinces állatok bőrhámja**, a gerinctelenekével ellentétben, mindig **többrétegű**. A bőr **felhámra**, **irhára** (laza- és tömörtrostos kötőszövet alkotja) és **bőraljára** (lazarostos kötőszövetből áll) tagolódik.

A **halak** hámja többrétegű, el nem szarusodó laphám, sok **egysejtű nyálkamiriggyel**. A nyálkamirigyek által termelt csúszós váladék segíti a test vízben való siklását, és védi az állatot a sérülésektől, a benne lévő antitestek révén pedig a fertőzésektől. A nyálkában lévő vegyületek biztosítják a fajtársak felismerését, a rajban élő halak összetartását. A kültakarónak szintén szerepe van a gázok felvételében és leadásában. A halak **testének színe**, más gerinces állatokéhoz hasonlóan lehet **biokémiai és fizikai** (szerkezeti) **eredetű**. Az előbbi festéksejtekhez, kromatofórákhoz kötődik (a barna színt a melanofórák, a sárgát a xantofórák, a fehér-ezüstöst a guanofórák adják), az utóbbi fénytörésen és fényvisszaverődésen alapul (a zöld és kékes színű halaknál). A halak is képesek színváltoztatásra. A csontos halak pikkelyei az irha lazarusztos kötőszövetéből erednek. Növekedésük szakaszos. Az „évgyűrűkből” megállapítható a hal életkora.

A **kételtűek felhámsejtjei** kis mértékben elszarusodnak, és folyamatosan cserélődnek. Az irharétegben (lazarostos kötőszövet) az ide tartozó fajoknál is sok **nyálka- és méregmirigy** van, amelyek váladéka a kültakaró felületére ürül. A méregmirigyek fajoként változó helyen csoportosulnak. Váladékuk védi az állatot. A nyálkaanyag nedvesen tartja a bőrt, növeli a bőrön keresztüli gázcsere hatékonyságát. Az állat bőrszíne az irharétegben lévő festéksejtek festékanyagainak (barna, sárga, ezüstös színanyagú) egymáshoz viszonyított helyzetétől és a fényinterferencia jelenségtől függ. A kételtűek színváltoztatását, amely idegi és hormonális szabályozású, a bőrérzet idézi elő. Ez a képesség a zöld színű békáknál a legszembetűnőbb.

A **hüllők** testét fedő többrétegű **laphám** alsó része folyamatosan hoz létre új sejteket, amelyek a felszín közelében **elszarusodnak**. Ez a vastag szarusréteg (mely fehérjemolekulákból épül fel) védi az állatot a kiszáradástól, a mechanikai hatásoktól, emellett szerepe van a hőszabályozásban. Bőrük elszarusodása tette

lehetővé a hüllők számára a szárazföld meghódítását. A **szaruképződmények** lehetnek **pikkelyek**, az azok összeolvadásából, illetve egymásra rétegződéséből létrejövő pajzsok és **szemölcsök**. A pikkelyek a kígyókra, gyíkokra jellemzőek, de a krokodilok hasoldalát is ilyenek fedik. Hátpajzsuk a krokodiloknak van. A kígyók és gyíkok fején, a szemeik körül szintén pajzsok alakulnak ki. A mozgékony bőrfelületeken, a lábakon, a faroktájon vannak a pikkelyrészekből alakuló szemölcsök. A teknősöknél **csontos hát-** és **haspáncél** fogja körül a testet, amelybe a fej, a nyak, a végtagok és a farok behúzhatók. A bőrcsontok a kültakaró irharétegében képződnek. A szaru a páncél felszínén van. A gyíkoknál az elszarusodott vékony felhámréteg kisebb-nagyobb darabokban hullik le. A kígyók és a lábatlan gyíkok egészben **vedlik** le az állkapcsokon meghasadó ún. „pikkelyingüket”. Ezt a folyamatot a pajzsmirigy hormonja szabályozza, gyakorisága fajra jellemző. Függ a külső környezeti feltételektől, a táplálékellátottságtól, az állat életkorától stb. A teknősök és a krokodilok nem vedlenek. Az irharéteg kötőszövetében vérerek, festéksejtek, idegvégződések találhatók. Mirigyek nincsenek benne, ezért a hüllők bőre száraz. Az irharéteg általában összenőtt a bőraljával. Részben a kültakaró ily módon való felépítése teszi lehetővé a kígyók testméretének jelentős változását táplálkozásakor. Másrészt meg az a tény, hogy a koponya csontjai mozgékonyan ízesülnek és a bordák „lebegők”, mert szegycsont ennél az állatcsoportnál nincs. **Festéksejtjeik** típusai (sárga xantofórák, fehéres iridióforák, barnás fekete melanin szemcséket tartalmazó melanofórák), a festékszemcsék elmozdulása, színük, színváltozásuk szabályozása a kétélűekéhez hasonló. A teknősök bőrszíne állandó.

A **madarak** testét vékony bőr fedi. A néhány sejtsornyi **hámszövet** alatti kötőszövetben (irharéteg) tollmozgató izomcsoportok vannak. A **bőraljában** gyakori a hőszigetelő zsírpárna, főként a vizek és a hideg területek lakóinál. A madarak bőrében nincs sem verejték-, sem faggyúmirigy. Az előbbi hiányából következően nem tudnak izzadni, a felesleges hő „lihegéssel” távozik testükből. A **farkcsíkmirigy** (fartőmirigy) az egyetlen bőrmirigyük, amely főként a vízimadaraknál fejlett. (Részletesebben lásd a *Mirigyhám* fejezetben.)

A madarak bőrén lévő **szaruképződmények** a pikkelyek, a **szarupajzsok**, a **csőrök szarukávája**, a **karmok** és a testüket befedő **tollazat**. A pikkelyek és a pajzsok a lábakon, a karmok az ujjak végén vannak. A **csőr** alakja, szerkezete összefügg a madár táplálkozásával. Lehet pl.: **kúpos**, amellyel a madár magot tör fel (verébfajok, tengelic, zöldike, meggyvágó, erdei pinty stb.); hegyes, dárdaszerű **vágócsőr**, amellyel békákat, halakat kap el (gémfélék, gólyák, kócsagok stb.). Lehet **vékony**, amely legyek, pókok, hernyók megfogására alkalmas (fülemülék, poszáták és már rovarevők); erős, horgasvégű **tépőcsőr**, amely a zsákmány feldarabolását szolgálja (sasok, héják, ölyvek, vércsék stb.). Csőrével a madár fészekanyagot is hord, fészket is épít; bezsírozza, lesimítja a tollát, de ugyanígy használja védekezésre és támadásra.

A madarak legjellemzőbb szaruképződménye a **tollazat**, amely fejlődéstanilag a hüllők pikkelyének felel meg. Alapanyaga a szőrhöz hasonlóan **keratin** (az elszarusodott hámot alkotó fehérjék gyűjtőneve, amelyben a kéntartalmú aminosavak nagy mennyiségben találhatóak; vízben nem oldódik). A tollazat fontos a madarak repülésében, hőháztartásában, rejtőzködésében, továbbá a zsírozómirigyek révén vízhatlanságukat biztosítja. Színe kommunikációs jelrendszer, segíti a fajtársfelismerést. Megadja a test körvonalát, mechanikai védelmet nyújt. Általában kétféle tollból áll. A madár bőrét közvetlenül borító, hőszigetelő **pehelytollakból** és az ezek feletti **kontúrtollakból** (zászlóstollakból). Az utóbbi lehet **fedőtoll** (a test körvonalait adja), **evező-** (a szárny repülőtollai) és **kormánytoll** (a farok tollai). A kontúrtoll áll

a **tollgerincből**, a **tollágakból** és a **sugarakból**. A **tollgerinc** végigfut a toll egészén. A bőrből kiálló része a **nyél**, az irharétegbe mélyedő része a **cséve**. A nyél két oldalán lévő tollágak alkotják a **zászlót**. Ez úgy jön létre, hogy az ágakból kilépő **sugarak** horgocskákkal egymásba kapcsolódnak. A **pehelytoll** gerince gyenge, zászlaja laza, mert a sugarakon nincsenek horgocskák. Ismertek **speciális tollak** is. Ilyenek pl. a hím madarak dísz tollai (ivari kétalakúság).

A **tollszín** ennél az élőlénycsoportnál szintén származhat színanyagoktól (melaninok, karotinoidok, porfirinek), a toll szerkezetéből adódó fénytani jelenségektől vagy mindkettőből. Utóbbi módon pl. a lila és a zöld szín jön létre. A színszemcsék a toll szaruanyagában vannak. A színanyagok közül a melaninoktól lehet barna, fekete, szürke, a karotinoidoktól sárga és a könnyen lebomló porfirinektől pedig vörös árnyalatú a tollruha. Struktúr-, vagy szerkezeti színek a kék, a viola, a fehér és a fémes szín, amely a tollra eső fény elnyelődésén és visszaverődésén alapul.

A madarak évente legalább egyszer, sok faj két alkalommal **vedli le** tollazatát. Jelentős hányaduknál ez folyamatosan megy végbe, és gyakran jár együtt a tollszínváltozással. A tollváltás idegi és hormonális szabályozású jelenség.

OLVASNIVALÓ...

Mese a fehér hollóról

Ritka, mint a fehér holló – szokták mondani, és valóban; nem sok fehér színű állattal találkozhatunk a természetben, leszámítva a sarkvidéket, ahol a fehér rejtőszínnek számít. A mutáció következtében hébe-hóba felbukkanó fehér bundát, tollazatot vagy pikkelyruhát nem valamiféle „fehér pigment” okozza, hanem a színanyag hiánya. Az albinó állatok szeme éppen ezért pirosnak látszik, megint csak nem festékanyagtól, hanem a retinát behálózó vérerektől. A jegesmedve ugyanakkor fehér bundája ellenére korántsem színhiányos állat: koromfekete talppárnái is elárulják, hogy bőre bővelkedik pigmentekben.

Az albinó állatoknak nemcsak a színe hiányzik; ellenálló képességük gyengébb, sőt olykor viselkedésük is eltér a normálistól. Úgy tűnik mintha életösztönük kevésbé működne; nem reagálnak olyan gyorsan a veszélyre, mint megszokott színű társaik. A ragadozók többnyire végeznek velük, még mielőtt megváltozott génjeiket utódaikra örökíthetnék – ezért ritka a fehér holló. Az, hogy erdeinkben viszonylag gyakran látható fehér dämvas, csupán a csúcsragadozók hiányának köszönhető.

Az egyetlen közeg, ahol a színhiányos példányok életképesnek bizonyultak, az emberi környezet – mi több, itt még előnynek is mutatkozott számukra a szokásostól eltérő külső. A háziállatok esetében kézzelfogható haszna is volt a világos bundának: egyszerűbb volt őket szemmel tartani és megkülönböztetni vadon élő őseiktől. Ráadásul csökkent veszélyérzetük (ha úgy tetszik: életképtelenségük miatt) megszelídíteni is könnyebb volt őket. A domesztikáció egyik

legelső jele a kültakaró színének megváltozása: az ember oltalmában nincs szükség rejtőzködésre, s céltudatos tenyésztői munkával a mutáns tulajdonságok hamar rögzíthetők.

A szokatlan színű állatok megjelenését a különböző kultúrákhoz tartozó emberek égi jelnek, földöntúli üzenetnek vélték, emiatt kultikus tisztelettel övezték őket. Népmeséinkben éppúgy találkozhatunk az emberfeletti tulajdonságok birtokában lévő Fehérlófiával, mint fekete és vörös bika formájában viaskodó tántosokkal. Míg a fehér a makulátlan tisztaság, addig a fekete a sötét erők jelképe volt. Ennek a megítélésnek általában semmi köze nincs az állat valós tulajdonságaihoz: a hattyú például egyáltalán nem olyan ártatlan, szelíd jószág, amilyenek színe alapján gondolnánk, a fentebb említett hollót pedig töméredek alaptalan babona és üldöztetés áldozatává tette baljós színe, olyannyira, hogy hazánkban még a fekete hollót is csak az utolsó pillanatban sikerült megmenteni a kipusztulástól.

Ha a holló fekete nem volna, az én mesém is tovább tartott volna.

Forrás: MIRTSE Á. (2000): Mese a fehér hollóról. *Vadon*, 4.

Az **emlős** kültakaró is sokfunkciójú. Mechanikai védelmet nyújt, gátolja a szervezet vízvesztését, fontos a hőegyensúly biztosításában. A bőr **hámshártya** többretegű elszarusodó laphám, amely szaruképző sejtek (keratinociták) osztódásával jön létre. A hámban az ún. alfa-, a szőrszálaban a béta-keratin van. Az alatta lévő, vér- és nyirokerekben, mirigyekben, idegvégződésekben bővelkedő **irharéteg** (lazarostos kötőszövet) táplálkozik. A **bőralján** gyakoriak a zsírsejtek is, amelyek bizonyos bőrfelületeken (pl. talp) zsírpárnát képeznek.

A hámshártya származékai a **szőr**, a **karom** (köröm), a **pikkely**, a **pata**, a **szarv**. Az emlősök kültakarójának jellemzői a **bőrmirigyek** is.

A szőrszálakból álló **emlősszőr** típusai a **bundaszőr** és a **serteszőr** (tapint, érzékel). A **bundaszőr** áll **nemez-** vagy **durvaszőrből** (felül) és **pihe-** vagy **finomszőrből** (alul). A szőr megújulása a vedlés, amely lehet folyamatos (a trópusi és a hideg éghajlati övezetekben élőknél) vagy évszakhoz kötött. Mind a vedlés folyamata, mind az évszakosan változó pigmentáltság az állat faji sajátossága. A mérsékelt éghajlati övezetben élő emlősök tavasszal és ősszel váltják bundájukat. A téli szőr sűrűbb, több és hosszabb benne a finomszőr. A szőrök tüskékké is alakulhatnak, pl. a közönséges sünnél.

A **szőrszál** (haj) részei: az irhába süllyedő **szőrtüsző** és az abból kiálló **nyél**. A szőrtüszőbe nyílnak a **faggyúmirigyek**. Váladékuk rugalmassá és víztaszítóvá teszi a szőrt. A tüszőben lévő gyökérrészhez **szőrállító izmok** csatlakoznak. A szőr „felborzolását” végzik, amely a legtöbb állatnál az általános izgalom és a nemtetszés jele, de bekövetkezhet hideg hatására is. A „felborzolt” szőrszálak közötti levegő jó hőszigetelést biztosít. A gyökérhez kapcsolódó **szőrhagymában** keletkezik a szőrszál. Szőrváltáskor a hagyma összezsugorodik. A **szőrszál** három rétegű. Ezek a velő-, a kéregállomány és legkívül a kutikula. A szőr **színe** a szőrszál velő- és kéregállományának festékanyagától származik. A leggyakoribb eumelanin (fekete színű, a tirozin nevű aminosav oxidációja révén jön létre) a sötét, a feomelanin a sárga, a trichosziderin

a vörös színért felelősek. A színanyagok anyagcseretermékek. A fehér színt (őszüléskor is) a szőrszál tengelyébe került levegő (teljes fényvisszaverődés) adja.

A **pata** jellemző ujjvégi szaruképződmény, amely befedi az ujjak utolsó ujjpercét. Az ormányosoknál, az előpatásoknál (pataköröm), a páros- és a páratlanujjú patások rendjébe tartozó állatoknál alakult ki, a környezethez való alkalmazkodás során (például: zebrák, háziló, vaddisznó, gímszarvas, szarvasmarha). A patás állatok az utolsó ujjpercükön járnak.

A **szarv** a patások egy részére (orrszarvúak, antilopok, kecskék, juhok, szarvasmarhák) jellemző. A homlokcsont nyúlványát, a szarvcsapot borító szarubevonat, amely állandóan kopik. Anyaga ezért vagy folyamatosan pótlódik, vagy időszakosan lehullik (néhány antilopfajnál). Az állatok pusztulása után a szarutok lehúzható a szarvcsapról. Ez a **tülök**.

3.2.1.2. Mirigyhám

A **mirigyhám** folyékony, puha anyagú és légnemű váladék termelésére módosult hámsejtekből áll. A gerinctelen állatok bőrében főként egysejtű mirigyek, illat-, bűz-, nyálkamirigyek találhatók. A gerinces állatok mirigyei általában soksejtűek. Működésileg lehetnek **külső** (nyál-, faggyú-, verejték-, tejmirigyek stb.) és **belső** (agyalapi-, pajzsmirigy, mellékvese stb.) **elválasztásúak**. A **verejtékmirigyek** hőszabályozó és kiválasztó feladatot is ellátnak. Működésük révén víz és bomlástermékek (pl. konyhasó, fehérjék, jellegzetes szagot adó zsírsavak) távoznak a szervezetből. Hiányzik a verejtékmirigy például a ceteknél, a nyúlánál; a vízilónak a fülén van; a kutya, a macska a talpán izzad. Az emlősök nőtényei **tejmirigyük** váladékával újszülötteiket táplálják. A különböző testtájakon kialakuló **speciális bőrmirigyek** többnyire fajra jellemző illatú, sokszor bűzös váladékot választanak ki, amelyek jelzik a párzási szándékot, segítik a nemek egymásra találását, a hím vetélytárs elűldözését (pl. a makiknál), távol tartják a támadókat (pl. a bűzborzoknál).

3.2.1.3. Érzékhám

Az **érzékhám** érzéksejtjei a külvilág ingereit fogják fel. Az elsődleges érzéksejtek a hámsejtek között vannak, idegrostban folytatódnak. Ezek előfordulnak a gerinctelen állatoknál, a gerinceseknél pedig az orrszaglónyálkahártyájában. Másodlagos érzéksejtek – a szaglószerző kivételével – a gerincesek érzékszerveiben vannak.

3.2.2. Kötő- és támasztószövetek

A kötő- és támasztószövetek kitöltik az egyes szövetek, szervek közötti teret, a többi szövetet szervekké, a szerveket szervrendszerekké, a szervrendszereket egységes szervezetté kötik össze. Fejlődésük legmagasabb fokán mint porc- és csontszövet a gerinces állatok belső vázát adják. A kötőszövetekben túlsúlyba

kerül a sejtközötti állomány, amelynek kémiai és fizikai sajátosságai, illetve tulajdonságai alapján e szövet-féleség három csoportra osztható.

A **szűkebb értelemben vett kötőszövetek** (pl. lazarostos, tömöttrostos, recés) sejtközötti állománya folyékony vagy puha. A támasztószövetekhez tartozó **porcszöveteké** kemény, de késsel vágható. A **csontszöveté** kemény, késsel nem vágható. Ha a kötőszöveti sejtekben zsír halmozódik fel, akkor azok zsírsejteké alakulnak és csoportosulva képezik a **zsírszövetet**. Ennek jelentős mechanikai, támasztó, hézagpótló (pl. a vese körül), hőszabályozó, illetve tartaléktápanyag szerepe van (pl. a téli álmot alvó emlősök szalonnája).

3.2.3. Izomszövet

Olyan sejtekből, illetve rostokból áll, amelyek különböző (fizikai, kémiai, idegi) ingerek hatására megrövidülnek. Az összehúzódás elemei a plazmában található miofibrillumok. Az izomszövet szerkezete és működése alapján lehet sima, harántcsíkolt és szívizom.

3.2.3.1. Simaizomszövet

Simaizomszövet (izomsejtekből áll) alkotja a férgek törzseibe tartozó fajok bőrízomtömlőjét (hám- és az izomszövet szoros kapcsolata), illetve a gerincesek zsigereinek izomzatát.

3.2.3.2. Harántcsíkolt izomszövet

Harántcsíkolt izomszövet (izomrostokból áll) a vázizmokat építi fel. A törzsfejlődés során először az ízeltlábúak törzsénél jelent meg.

3.2.3.3. Szívizomszövet

A **szívizomszövet** különleges felépítésű és működésű harántcsíkolt izomszövet.

3.2.4. Idegszövet

Idegsejtek, idegrostok, gliasejtek és gliarostok együttese. Ez utóbbiak működése a kötőszövethez hasonló, burkolják az idegsejteket, kitöltik az idegsejtek és a vérerek közötti tereket. Fajtájuk többféle, az idegrendszer különböző részein gyakoriságuk eltérő. Az idegszövet (idegsejtek) felveszi, feldolgozza és továbbítja a különböző ingereket, információkat. Irányítja és szabályozza az életműködéseket. Az idegszövet egyik egysége az idegsejt (neuron). Az idegrendszert az idegszövet építi fel.

4. A szervek szerveződési szintje

A szervek többféle szövetből, szövetrendszerből (növények) állnak. Bennük a szövetek meghatározott elrendezésűek. A szervek jellemző alakúak, a szervezetben speciális funkciókat végeznek. Önmagukban életképtelenek. Az állatok szervei a szervrendszerek részei (pl. a légzőszervrendszer részei: orrüreg (szájüreg), garat, légcső, főhörgők, tüdő).

A szárazföldi életmódhoz való alkalmazkodás során kialakult **hajtásos növények** — a harasztok, a nyitva- és a zárvatermők törzsébe tartozók — **teste** szövetrendszerekből felépülő **gyökérre, szárra, levélre** (létfenntartó, vegetatív szervek), **virágra** és **termésre** (szaporító, generatív szervek) tagolódnak.

A vegetatív szervek minden hajtásos növényen megtalálhatók, virág a nyitva- és a zárvatermőknél van, termésről azonban csak a zárvatermőknél beszélhetünk.

4.1. A gyökér

Az egyedfejlődésben legelőször megjelenő szerv. A **valódi gyökér** a gyököcskéből fejlődik. Ismerünk **hajtás-eredetű gyökereket** is, amelyek a hajtásrendszer valamelyik részéből indulnak ki (pl. az indákból). A gyökér rögzíti a növényt, felveszi és a hajtáshoz továbbítja a vizet és a benne oldott sókat. Módosulhat egyéb feladat elvégzésére is (pl. raktározás, kapaszkodás). A gyökér csúcsi részének, a **tenyészőkúp**nak az osztódó sejtjei (osztódási zóna) biztosítják a gyökér hosszanti növekedését. Ezáltal mindig újabb és újabb talajrészekből nyerheti a növény a tápanyagot. A tenyészőkúpot **gyökérsüveg** védi, amelynek külső sejtjei elnyálkásodnak, csúszóssá válnak, így könnyen halad a gyökér a talaj részecskéi között. A tenyészőkúp feletti **megnyúlási zónát** követi a **gyökérszőrös** rész, amelynek neve funkciójából, az oldatok felvételéből következően **felszívó öv** (zóna). Ez is nagyon sérülékeny.

A legtöbb nyitva- és zárvatermő fafaj, sőt a lágyszárú fűfélék is bazidiumos gombákkal élnek szimbiózisban (hasznos együttélés). Ez a kölcsönösen előnyös kapcsolat a talajban a gombafonalak és a növények gyökere között jön létre. Ezért ezt **gombagyökérnek**, **mikorrhizának** nevezik. A gombafonalak megnövelik a növény gyökérzetének oldatfelszívó felületét. Általuk több ásványi anyaghoz (pl. káliumhoz, foszforhoz, vashoz, rézhez) jut a növény, a gomba pedig cukorhoz. A gyökérkapcsolt gombák általában csak egy vagy néhány gazdanövényvel képesek együtt élni. Ez a magyarázata annak, hogy bizonyos gombafajokat mindig ugyanolyan fajú növények alatt látni. Fenyők alatt nő pl. a fenyőtínóru, a rizike; a tölgyfák alatt az ízletes vargánya, a gyilkos galóca; a mezei szegfűgomba pedig a fűszálak között fordul elő.

A legáltalánosabb gyökérrendszertípusok: a **főgyökérrendszer** (a nyitvatermőknél és a legtöbb kétszikű növényenél van, fő- és oldalgyökerek alkotják) és a **mellékgyökérrendszer** (a harasztoknál és az egyszikűeknél jellemző, nagyjából egyforma fejlettségű, egyenrangú gyökérágak képezik).

A gyökérzet vastagsága, hossza és elágazásai a növények öröklött tulajdonságai. Összhossza általában meghaladja a föld feletti részekét (pl. a tőknövényenél megközelíti a 20 km-t, a rozsnál a 80 km-t). Mélységi

kifejlődése nemcsak a növényfajtól, hanem a talajviszonyoktól is függ, az oldalgyökerek sűrűsége pedig a talajrétegek víztartalmától.

A többéves növényeknél a szárhoz hasonlóan a gyökerek is másodlagosan vastagodnak. Az általánostól eltérő vastagodás van az ún. **répatestek**ben. A retek, a sárgarépa répatestét a gyökér és a sziklelevél alatti szárrész, a cukorrépaét az előbbieken kívül a sziklelevél feletti szárrész is képezi.

A környezeti hatásokhoz való evolúciós alkalmazkodás a gyökereknél gyakran alaki és működési változásokat eredményezett.

Gyökérmódosulások a következők:

- ♦ **Raktározó gyökér** a sárgarépa (cukor + karotin), a cukorrépa (cukor) karógyökere (répatest), a dália gyökérgumója.
- ♦ **Gyökérgümőt**, a pillangósvirágúak gyökereivel szimbiózisban élő Rhizobium (N-megkötő) nemzetségbeli baktériumfajok képeznek a gyökéren. Ezek a baktériumok képesek megkötni a levegő szabad nitrogénjét (a növények a talajoldattal csak nitrogénvegyületeket vesznek fel), ezáltal a növény több fehérjét tud szintetizálni. A pillangósvirágúak pl. lucerna, lóhere, csillagfürt, bab- és borsófélék, len-cse, földimogyoró, fehér akác ezért fehérjékben gazdag emberi táplálékok és állati takarmányok. Zöld állapotban a talajba szántott pillangósvirágú növény gazdagítja a talaj nitrogéntartalmát.
- ♦ **Léggyökerek** a növény szárán eredő és a talaj felé növekvő járulékos gyökerek. Lehet kapaszkodó (borostyánon), táplálékszállító (Filodendronon) és koronagyökér (kukorica legsó szárcsomójából eredő támasztógyökér). A fán lakó trópusi orchideák valódi léggyökerei nem érik el a talajt. A páradús levegőből veszik fel a vizet.
- ♦ A **szívógyökerek** az élőködő (aranka) és félélőködő (sárga és fehér fagyöngy) növények szervesanyag- illetve vizesoldat-fellevő szervei, amelyet a gazdanövény szárának szállítónyalábjába mélyesztenek. Ismerünk gyökérelőködő növényeket is (a galajféléken élőködő szádorgó; vagy a bükk, a gyertyán, a közönséges mogyoró gyökereit „megcsapoló” vicsorgó stb.). Ezek szívógyökerei a gazdanövény gyökerébe hatolnak.

A **hajtás** a szárazföldi életmód során alakult ki. **Tengelye a szár, függelékszervei a levelek.** A hajtás embrionális fejlődési állapota a **rügy**, amely a kedvezőtlen téli időjárás átvészelését biztosítja. Ezt kívülről gyakran rügpikkelyek fedik, amelyek védik a hajtás- és/vagy a virágkezdeményeket. A rügpikkelyek lehetnek hártyások, bőrneműek, szőrösek, ragacsosak. Valójában allevelek, amelyeknek száma, alakja, színe, a vesszőn való térbeli elhelyezkedése fajra jellemző tulajdonság. **Helyzetük szerint** lehetnek **csúcs-** (a hajtás hosszanti növekedését biztosítják), **oldal-** (általában a csúcsrügy ki nem fejlődése esetén hajtanak ki) és **hónaljrügyek** (a lombszelel „hónalján” vannak). Az **alvó rügy** az előbb felsorolt „rendes” rügyek károsodása esetén „ébred fel”. A rügy továbbfejlődése alapján lehet **lombrügy**, amelyből levél vagy leveles szár, **virágrügy**, amelyből

virág, és **vegyes rügy**, amelyből mindkettő lesz. A levelek rügybeni elhelyezkedési módja a **türemelés**, illeszkedése pedig a **borulás**. A rügy alkalmas vegetatív szaporításra (oltás, szemzés) is.

4.2. A szár

A szár többnyire a talaj fölött nő. Tartja a leveleket, a nyitva- és zárvatermőknél a virágokat, megszabja a növény alakját, kétirányú táplálékszallítást végez.

Kívülről elsődleges **bőrszövet** borítja. Alatta alapszövetekből felépülő **elsődleges kéreg** van, amelyben kloroplasztiszok is előfordulnak. A fiatal szárak ezért zöldek. E szövetrészben lehetnek pl. tejcsövek, olajtartók, illóolajok, alkaloidok, szilárdítórostok. Az ezen belüli **központi hengerben** fut a szállítószövet. E szövet edénynyalábjai a harasztok és a kétszikűek szárában körkörös, az egyszikűekében szórtan helyezkednek el.

A többéves fás szárú növények szára **másodlagosan vastagodik**. Benne évről évre új szállító- (fa- és hánccs-elemek), alap- és bőrszöveti sejtek képződnek a kambium működése révén. Egy vegetációs időszak alatt a szár belseje felé új fagyűrű, kifelé új hánccs-gyűrű keletkezik. E kettő együtt az évgyűrű. Mivel az újabb hánccs-gyűrű az előző évit kifelé tolja, az tovább nem gyarapodik, sejtjei elhalnak. Az ugyancsak kifelé nyomódó elsődleges kéreggel és másodlagos bőrszövettel együtt lelökődik a szárról. Gyakorlatilag **évgyűrűnek** csak a fagyűrűket nevezik, amelyek a fa élete végéig megmaradnak. Ezért állapítható meg számukból a fa életkora. Az évgyűrűs, tehát szakaszos szárvastagodás a mérsékelt éghajlati övezetben az évszakváltakozás következménye.

A **fatest** évgyűrűiből csak néhány (néha csak az utolsó) vesz részt az oldatszallításban. Az előző évi sejtjei elhalnak, és azokban különböző, a sejtteni fejezetben már megismert anyagok halmozódhatnak fel, például gyanták, mézsók, kvasav, festékanyagok. A fatestnek az elhalt sejtekből álló sötétebb része a **geszt**, az oldatot szállító, még működő világosabb része pedig a **szíjács**. A bútortipar a jóval kevesebb vizet tartalmazó gesztes fát dolgozza fel.

A szárak alaptípusai a fás és a lágy szár. Néhány típus ezeken belül:

- ♦ **Dudvaszár:** egy vagy két évig él, általában puha állományú (pl. napraforgó, len, kukorica), de ismerünk kemény dudvaszárat (pl. héjakút mácsonya) és belül üregeset (pl. spárgatök) is.
- ♦ **Szalmaszár:** hosszú, üreges, bütykös csomójú csőszár (pl. a pázsitfűfélék szára).
- ♦ **Tőkocsány:** levéltelen, virágban vagy virágzatban végződik (pl. tulipán, hóvirág, tavaszi kankalin).
- ♦ A **fás szár** évekig fejlődik, másodlagosan vastagodik, évgyűrűs szerkezetű. A lombos fák törzse (főszára) fajra, fajtára jellemző magasságig nő. A belőle kiágazó ágak képezik a koronát. A túlevelűek korlátlan növekedésű főszárából oldalágak erednek. A cserjék hajtásrendszere az alaptól ágazik el, ezek a fáknál általában alacsonyabb termetűek. A fás szárú növények oldalágai közül az egyéves a „vessző”, a kétéves a „gally”, a hároméves és annál idősebb az „ág”.

Az életmód, a környezet a hajtást is módosíthatja.

Föld feletti módosult hajtások:

- ♦ A **pozsgás szár** a kaktuszok és a pozsgás kutyatejfélek redukált levelű, megvastagodott, víztartó alapszövetében vizet raktározó szára.
- ♦ Az **inda** a főszár tövéből indul ki, vízszintesen növvő szaporítószár, szárcsomóin járulékos gyökerek erednek (pl. szamóca, ibolya).
- ♦ A **kacs** vékony, rugalmas, kapaszkodásra módosult (pl. komló, szőlő, tők).
- ♦ A **tövis** védőszervvé alakult kemény, hegyes hajtásrész (pl. kökény, galagonya, lepényfa).

Talajban lévő módosult hajtások:

- ♦ A **gyöktörzs** (rizóma, tőke) rövid szártagú, általában vastag, raktározó és szaporító hajtás. Nőhet függőlegesen (pl. gyermekláncfű), olyankor gyökerben folytatódik. Vízszintesen helyezkedik el a talajban például a salamonpecsét rizómája. A gyöktörzs növekedése lehet korlátolt és korlátlan. Előbbi akkor, ha a föld feletti hajtás a csúcsrügyből fejlődik, a rizóma pedig az oldalrügyekből nő. Ilyen típusú rizómát a nőszirmnál figyelhetünk meg. Ezért szükséges e faj gyöktörzsét két-három évenként szétszedni és szétültetni. A gyöngyvirág rizómája korlátlan növekedésű. E fajnál a csúcsrügy „továbbhalad”, az új egyedek az oldalrügyekből fejlődnek ki. Ezért tapasztaljuk azt, hogy a kertben máshol is előbukkan a gyöngyvirág, nemcsak ott, ahová eredetileg elültettük.
- ♦ A **tarack** hasonlít a gyöktörzshöz, de annál vékonyabb. Igen sokfelé elágazik, ezért szinte „kiirthatatlan”.
- ♦ A **gumó** megvastagodott, rövid szártagú tápanyagraktározó hajtás. Ilyen pl. ciklámené, karalábéé, burgonyáé.
- ♦ A **hagyma** tápanyagot raktároz, húsos allevelekből áll. Rövid tengelyén (tönk) lévő csúcsrügyből fejlődik a föld feletti hajtás. A hajtás eredetű gyökerek is a tönkből nőnek ki. Hagymája van pl. a vörös-hagymának, a tulipánoknak, a liliumoknak.
- ♦ **Hagymagumója** van például a kardvirágnak, a sáfránynak. E módosulatnál hártás allevelek burkolják a tápanyagraktározó tönköt.

4.3. A levél

Ennek a szervnek levéltípusonként más-más funkciója van a növény életében.

Levéltípusok és szerepük:

- ♦ A **sziklevél** a magban lévő csíra része, a csíranövényt táplálja. Száma szerint a növények sokszikűek (fenyők), két- és egyszikűek lehetnek.
- ♦ A **lomblevél** a fotoszintézis, a gázcsere és a párologtatás helye. Mivel a tűlevelek is ugyanezen funkciókat látják el, azok szintén ebbe a típusba tartoznak. A lomblevél mérete, alakja, tagoltsága, színe, erezete, mintázata stb. rendkívül változatos, a környezethez való alkalmazkodás eredményeként. Általában kétoldali szimmetria jellemző rájuk, de vannak közöttük aszimmetrikusak is (pl. a szilfák levelei). Ismerünk felemás levelű növényeket, ilyen pl. a borostyán, amelynek fiatal hajtásán ötkarójú, az idősebb virágzó egyedeken pedig szív alakú levelek nőnek.

A **lomblevél** bórszövetből, asszimiláló és más alapszövetből, valamint szállítószövetből épül fel. Az utóbbinak a szállítónyalábjai adják a **levélerezetet** (ez lehet pl. hálózatos, párhuzamos, villás, szárnyasan, illetve tenyeresen elágazó), amelynek az anyagszállításon kívül merevítő és kifeszítő szerepe is van. A lehullott levélben az érrendszer a többi szövetfeleség elkorhadása után is sokáig ép marad. Ezeken a szinte csipkefinomságú „levélmaradványokon” az erek elágazásai, az érhalózat sűrűsége jól megfigyelhető. Utóbbiból következtetni lehet arra, hogy a termőhely vízellátottsága milyen volt. Száraz helyeken ugyanis sűrűbben hálózák be az erek a levelet.

A **lomblevél részei**: a levélalap, a levélnyél és a levéllemez.

- ♦ A **levélalappal** a szárhoz kapcsolódik. A levélalap módosulatai a pálhák. Lomblevélszerűen alakul pl. a rózsza, a borsó levelén, tövissé módosul pl. az akácén.
- ♦ A **levélnyél** közvetíti a tápanyagot a lemez és a szár között. Hiányozhat is, akkor ülő levél (mák) a neve. A levélnyél fordítja a levéllemezt a fény felé.
- ♦ A **levéllemez** alakja fajra jellemző. Lehet szálas, hosszúkás, lándzsás, elliptikus, kerekded, szíves, tojásdad alakú stb. (A konkrét példák a *Növény- és állatismeret* c. egyetemi jegyzetben vannak, vö. https://www.eltereader.hu/media/2018/05/Novenytan_READER.pdf.)

A **levéllemez csúcsának** és **vállának** (alapja) formája is sokféle. Mivel ezek szintén fajra jellemzőek, ezért a növényfelismerésben, -határozásban fontosak. A **csúcs** lehet pl. hegyes, kihegyezett, lekerekített, kicsípett. A **levélváll** pedig nyilas, füles, szív alakú, tompa, aszimmetrikus, nyélbe keskenyedő stb.

A **levéllemez** lehet **ép** vagy **tagolt**. Az utóbbinak mértéke szerint van **karéjos**, **hasadt**, **osztott** és **szeldelt** lemez. (Az első betűk összeolvasásából létrejövő „**khosz**” szóból a tagoltság egymás utáni sorrendje könnyen megjegyezhető.) A lemez **karéjos** akkor, ha a bemetszések nem érik el a féllemez középvonalát; ha addig nyúlnak be, akkor **hasadt**; ha azon túllépnek, de nem érik el a lemez közepét, akkor **osztott**; ha addig ér a bemetszés, akkor pedig **szeldelt**. A levél széle lehet ép, hullámos, csipkés, fogas, fűrész, kétszeresen fűrész.

Aszerint, hogy a levéllemez hány tagból áll, a levél lehet **egyszerű** és **összetett**. **Egyszerű** akkor, ha a levélnyélen csak egy levéllemez van (pl. tölgyfajok, bükk, tulipán). **Összetett** pedig akkor, ha a közös levélnyélen több a levéllemez (pl. fehér akác, csörgőfa, bokrétafa, amerikai vadszőlő). Vannak szárnyasan összetett levelűek (pl. a kőrisfa) és vannak tenyeresen összetettek (pl. a szamóca, a bokrétafa).

A környezethez való alkalmazkodás a lomblevélen szintén eredményezhet alaki és működési változásokat. **Levélmódosulások** a következők:

- ♦ **Levéltövis** van pl. a sóska borsbolyánál, ahol védőszervként funkcionál. A kaktuszoknál a tövissé alakult levél a párologtató felületet csökkenti. A köszméténél a levélnyel tövises.
- ♦ **Levélkacs** többek között a lednekénél figyelhető meg.
- ♦ **Levélekacsot** találunk például a borsónál. Az utóbbi kettőnek kapaszkodó funkciója van.

Különleges levélmódosulások:

- ♦ A rovaremszítő növények **rovarfogó levelei** (harmatfű, kancsóka, Vénusz légykapója stb.).
- ♦ Az **allevelek** pl. a hagymalevelek, a rügypikkelyek. A lomblevélszint alatt találhatók, főként védő szerepűek.
- ♦ A **fellevelek** – a lomblevélszint feletti védő levelek. Ilyenek a makktermés körüli kupacslevelek (pl. közönséges mogyoró, bükk, tölgyfajok, szelídgesztenye), a kalászosok pelyvalevelei, a fészekvirágzatúak fészekpikkelyei.
- ♦ A viráglevelek.

OLVASNIVALÓ...

A ragadozó növényekről

E különleges életmódú növények főleg rovarokra „vadásznak”, de esetenként egyéb állatokat is zsákmányolnak. Étlapjukon pókok, atkák, ászkák éppúgy szerepelhetnek, mint csigák, sőt, elvétve kételtűek is. Ezért joggal húsevő növényeknek is nevezik őket. Nevük mindenképpen találó, mert sajátos szerveikkel nemcsak foglyul ejtik zsákmányukat, hanem annak a testét emésztőnedveikkel lebontják, s a megemésztett anyagokat felszívják. Becsapni azonban nem hagyják magjukat. Ha kavicszemcsét helyezünk a levelükre, nem bocsátanak rá emésztőnedvet.

A zsákmány elfogására és megemésztésére a lomblevelek módosultak. Ezek gyakran színesek, s ez megtéveszti a rovarokat és egyéb állatokat, amelyek az élénk színekhez a nektár jelenlétét társítják. Sok levél emellett édes ízű folyadékot is kiválaszt csapdájában. A rothadó zsákmány kellemetlen szaga pedig odacsalogatja a legyeket, amelyek néha szintén pórul járnak.

A csapdaállító növények aktív vagy passzív módon szerzik zsákmányukat. Az egyik csoport verem-, varsa- vagy ragasztós csapdával „dolgozik”, míg a másik a kancsó formájú levél nyílására rácsukódó fedéllel akadályozza meg a rovar megszökését.

A lápokon, tőzegmohagyepekben előforduló **kereklevelű harmatfű** szétterülő levélrózsáinak peremén zsákmányoló szőröket, tentákulumokat találunk, amelyek a rovarok csalogatására ragadós nedvet választanak ki, s egyben az emésztést is elvégzik. A harmatfű csillogó levelére tévedő szomjas rovarok pórul járnak, mert a harmatcseppnek látszó folyadék ragadós, s az élő gombostűk lassan de kérérlhetetlenül ráhajolnak az áldozatra, beborítva azt váladékukkal. A drámai küzdelemben a kimerülő rovar előbb-utóbb abbahagyja a kapálózást, majd a fejecskés mirigyek emésztőnedvet bocsátanak rá, s az oldott tápanyagot a növény az élő tűpárnájával felszívja. Csupán a kemény kitinváz marad vissza. Ha a levél egyszerre két rovarot fog meg, a mirigyszőrők megosztják a munkát, s mindkét zsákmánnyal elbánnak.

Borneo és Szumátra esőerdeinek jellegzetes ragadozó növénye a **kancsóka**. Leveleinek egy része mintegy fél liter űrtartalmú, kancsószerű képződménnyé alakult, amelynek feltűnő színe és erős illata csalogatja a rovarokat. A kancsó pereme azonban igen síkos, az ott leszálló rovar könnyen megcsúszik és belepottyan a kancsó belsejében összegyűlt emésztőnedvbe, ahonnan már nincs menekvés.

A világon ma is ismert mintegy ötszáz rovarfogó növényfaj kizárólag a zárvatermők törzsébe tartozik. Fennmaradásukat az élőhely vízgazdálkodásának a romlása veszélyezteti leginkább. Mivel peremföltételek között fordulnak elő, számos fajuk az IUCN vörös listáján, vagy éppen a magyar *Vörös Könyv* aktuálisan veszélyeztetett élőlényei között szerepel. Megőrzésükre kizárólag élőhelyeik megóvása ad reményt.

Forrás: GARANCY M. (1995): Ragadozó növények. *Természetbúvár*, 6.

4.4. A hajtás élettartama

A virágos növények különböző ideig élnek. Az ún. **egyszertermő növények**, mint azt a nevük is jelzi, életükben egyszer virágoznak és hoznak termést, majd elpusztulnak. Ezek lehetnek **egyévesek** (pl. kukorica, tavaszi búza, paradicsom, paprika), **áttelelő egyévesek** (pl. őszi búza), **kétévesek** (pl. vöröshagyma, fejes káposzta, sárgarépa). Az áttelelő egyévesek ősszel kicsíráznak, de csak a következő évben fejlődnek ki teljesen és érlelnek termést. A kétévesek vegetatív szervei az első évben jelennek meg, generatív szerveik pedig a másodikban. Az **évelők** (sokszor termők) minden esztendőben virágoznak, virágaikból magok (nyitvatermők) és termések lesznek. Fáink, cserjéink és a föld alatti módosult hajtásokból fejlődő lágyszárúak tartoznak ide.

4.5. A virág

A hajtásos növények szaporítószervei: a virág és a termés.

A virág korlátolt növekedésű, rövid szártagú, módosult levelekből álló szaporító hajtás. Virágrügyből (bimbó), vagy vegyes rügyből alakul ki.

A **nyitvatermők** barkaszerű **porzós virágai** a hajtások csúcsán fejlődnek. A **termős virágok** legtöbbször tobozvirágzatban csoportosulnak, amely termő és meddő tobozpikkelyekből áll. A termőpikkelyek belső oldalán szabadon helyezkednek el a magkezdemények.

A zárvatermők virágának részei:

- ♦ A **kocsány** a virág tengelyének általában hosszúra nyúlt alsó része. Ha hiányzik, akkor ülő a virág (pl. levendula, zsálya, napraforgó).
- ♦ A **vacok** a kocsány kiszélesedett felső része. Ebből erednek közvetlenül a viráglevelek, amelyek lehetnek takaró- és ivarlevelek.
- ♦ A **takarólevelek** védik az ivari tájat. A törzsfejlődés és a környezethez való alkalmazkodás révén egy részük színes, „illatos” levelekké vált.

A **zárvatermő kétszikű** növények virága **kettős virágtakarójú**. A külsők a **csésze**-, a belsők a **sziromlevelek**. Az egyszikűeknél egymeműek a takarólevelek, amelyet **lepel**nek neveznek. A **csészelevelek** általában zöld színűek, alakjuk, számuk, elhelyezkedésük változatos. A **sziromlevelek** összessége a **párta**. A citoplazmájukban lévő kromoplasztiszoktól, flavonol-glikozidoktól és az antociánoktól színesek. A fehér színű szirmokból hiányzik a színezék, a sejtközötti járatok levegővel teltek, amelyről a fény teljesen visszaverődik. A virágok illatát adó különböző szerves vegyületek egyes bőrszöveti sejtekben, illetve az ozmofórákban termelődnek. Miután a virág megtermékenyült, a csésze és a párta lehullik.

Az **ivarlevelek** a **porzók** és a **termők**. A **porzótáj** (hímvirág) **porzólevelekből** áll. A nyitvatermőknél még sokszor valóban levél alakú, a zárvatermőknél **porzószálla** és **portokra** tagolódik, amelyben **pollenzsák**ok vannak. Bennük képződik a **pollen** (virágpor), melynek alakja, felületének mintázata a növényfajra jellemző, ezért meghatározásra is felhasználható. A felületi kiemelkedések biztosítják a pollen rátapadását a rovarok kitinszőreire. A **virágpor** fehérjét, szénhidrátokat, zsírokat, vitaminokat stb. tartalmaz, kitűnő rovar-táplálék. Az emberek egy részénél bizonyos virágporok allergiát, túlérzékenységet váltanak ki. A virágpor a portok spontán módon vagy a rovarok nyomására, illetve a szél rázó hatására történő felnyílása után, szél, víz, állatok és az ember (mesterséges megporzás) közvetítésével jut el a termőre. Ez a **megporzás**, amely az ivarsejtek találkozását, egyesülését, tehát a megtermékenyülést megelőző mozzanat. Az előnytelen ön-beporzás ellen különböző módon védekeznek a növények. Például a kankalinok egy része rövid bibeszárat és magasan álló portokokat, más része magas bibeszárat és alacsonyan lévő portokokat fejleszt.

A **termőtáj** (nővirág) a termőlevelek összessége. A zárvatermőknél a termőlevél alsó része **zárt magház** alakult. A magkezdemények ebben helyezkednek el, így nagyobb védelmet élveznek, mint a nyitvatermőknél. A magkezdeményben van az embriózsák, abban a petesejt. A **termő** további részei a **bibeszál** és annak csúcsi része a **bibe**. A termőtáj állhat egyetlen vagy több termőlevélből. Az utóbbi esetben vagy minden termőlevél egy-egy termőt képez és azokból annyi magház, illetve termés alakul, amennyi a termőlevelek száma, vagy összenőnek egymással és egy termőt alkotnak. Ekkor egy termés fejlődik.

Ha a virágból hiányoznak vagy fejletlenek az ivarlevelek, akkor a virág **meddő**. Ilyenek pl. a napraforgó fészekvirágzatának peremén lévő sárga színű sugárvirágok (nyelvesvirágok).

A **virág lehet kétivarú** (hímzős), ha a virágban mindkét ivarszerv megvan és **egyivarú** (pl. tölgyfajok, bükk, nyír), ha csak a porzó, vagy csak a termő található benne. A növény lehet **egylaki** (pl. dió, közönséges mogoró), ilyenkor a hím- és a nővirág ugyanazon a növényen van. Lehet **kétlaki** (pl. tiszafa, füzek, bálványfa, kender), ha az egyik növényen csak termős, a másikon csak porzós virágok vannak.

Sok növényen a **virágok** nem egyenként, hanem csoportosan, **virágzatban** helyezkednek el. A virágzat **egyszerű** akkor, ha a virágzati tengely nem ágazik el, **összetett**, ha elágazik. Az **egyszerű virágzatok** két fő típusa a **fürtös** és a **bogas**.

A **fürtös** virágzatban a virágzati főtengey folyamatosan növekszik, túlnövi az oldalágakat. A főtengey végződhet virágban is. **Egyszerű fürtös virágzatok** a **fürt** (pl. fehér akác, piros és fekete ribiszke, hegyi juhar), az **ernyő** (pl. közönséges borostyán), a **barka** (fűz-, nyár-, tölgyfajok porzós virágai stb.), a **torzsa** (pl. a kukorica termős virágzata, a „csuhé” buroklevél), a **fészek** (pl. dália, őszirózsa, margaréta), a **toboz** (a nyitvatermők termős virágzata), a **tobozka** (pl. az égerfajok nővirágzata). **Összetett fürtös virágzatok** például az **összetett ernyő** (petrezselyem, sárgarépa stb.), **összetett fürt vagy buga** (közönséges orgona, nemes szőlő stb.).

A **bogas virágzatok** virágban végződő főtengeyének növekedése abbamarad. Ezenél az oldalágak nőnek túl a főtengeyen. Ide tartozó virágzatok pl. a **forgó** (kardvirág stb.), az **álernyő** (szegfűfélék stb.), a **legyező** (hasonlít a forgóhoz, de bogágai rövidülnek, pl. nőszirm), a **bogernyő** (madárberkenye stb.). A **forgós fürt** (összetett virágzat) virágzat (bokrétafa stb.) alaptengelye fürt, amelyen forgós virágzatok vannak.

4.6. A termés

A **megporzást** a **megtermékenyítés követi**. A zárvatermők magkezdeményében kettős megtermékenyítés megy végbe. Különböző módon a bibére jutó virágpor tömlőt fejleszt, amely a bibeszálon a magkezdemény embriózsákjába hatol. Az eközben kialakult **hímivarsejtek** egyike a **petesejtet termékenyíti meg** és létrejön a **zigóta**, az utód első sejtje. A **másik hímivarsejt** az **embriózsák központi sejtjével egyesül**. A **zigótából** sorozatos osztódással fejlődik ki az **embrionális növény**, a **csíra**. A **megtermékenyített központi sejt** osztódásából a **mag táplálósövege** lesz. A megtermékenyítés után, a **magkezdeményből mag** alakul. Annak **részei** a **csíra**, a **táplálósövet** és a **maghéj**. Ez utóbbi a magkezdemény burkából

lesz. Védi a csírat. Lehet kemény, lédús, létrejöhet a magon magköpeny (pl. tiszafa), lehetnek a maghéjon zsírt, cukrot, fehérjét tartalmazó függelékek (pl. vérehulló fecskefű). El is nyálkásodhat (pl. paradicsom), repítőszőrök is megjelenhetnek a felületén (gyapot magszőrei). A csíra részei: gyököcske, rügyecske és sziklevel. A **táplálósövet** fajonként eltérő mennyiségben tartalmaz keményítőt, zsírt vagy olajat és fehérjét.

A zárvatermőknél a **termő magházi részéből fejlődik a valódi termés**. Ha a **termésképzésben a virág más része is** részt vesz, akkor **áltermés** jön létre. Pl. a vacok a szamócatermésnek, vagy a vadrózsa csipkebogyó termésének létrejöttében, a lepellevél az eperfa epertermésének kialakulásában játszik szerepet.

A **magház falából** képződik a **termésfal**. Ez általában külső, középső és belső termésfalra tagolódik. A **termésfal** érett állapotban a felhalmozódó sejtnedvtől lehet lédús, de víztartalmát elveszítve ki is száradhat. Az előbbieket a **húsos**, az utóbbiak a **száraz** termések. Száraz állapotban a termésfal **felnyílik** vagy **zárt** marad. Ezek a száraz termések két alaptípusát jelentik.

4.6.1. Egyszerű száraz, felnyíló termések:

- ♦ A **tüsző** egy termőlevélből alakul, egy oldalon felnyíló, többmagvú, például: szarkaláb.
- ♦ A **hüvely** is egy termőlevélből jön létre, sokmagvú, a hasi és a háti varrat mentén, tehát két „kopáccsal” nyílik. Példák: fehér és lila akác, lepényfa, bab, zöldborsó, aranyeső.
- ♦ A **becő** két termőlevélből képződik, két kopáccsal nyílik. Közepén válaszfal tagolja. Például: káposztafélék (fejeskáposzta), retek.
- ♦ **Becőke** a neve akkor, ha a becőtermés szélesebb, mint amilyen hosszú. Ilyen a pásztortáska termése.
- ♦ A **tok** két vagy több termőlevélből lesz, a termőlevél felhasadhat a főerek mentén, nyílhat lyukakkal, fogakkal is. Például: tavaszi kankalin, tulipán, pipacs, hóvirág, bokrétafa, csörgőfa, szivarfa.

4.6.2. Egyszerű száraz, zárt termések:

- ♦ A **szemtermés** többnyire egy termőlevélből jön létre, egymagvú; a maghéj és a termésfal összenőtt. A pázsitfűfélék jellemző termése. Például: búza, árpa, rizs, kukorica.
- ♦ A **kaszat** két termőlevélből alakul, a maghéj nem nő hozzá a termésfalhoz. A fészkesek családjába tartozó növényfajok terméstípusa. Például: saláta, gyermekláncfű, napraforgó, őszirózsa, dália.
- ♦ Az **aszmagtermés** vékony termésfala nem nő a maghéjhoz. Egy termőlevelű magházból keletkezik, egy magja van. Sokszor csoportosan fordul elő, pl. az iszalagnál.

- ♦ A **makkocska** apró makk. Két vagy több termőlevelű magházból lesz. Ilyen például a kakukkfű, a levendula, a csalán, a zsálya termése. A platánfának szőrös makkocska a termése.
- ♦ A **makk** két vagy több termőlevélből fejlődik, termésfala fásodott, nem nő össze a maghéjjal. Egy mag van benne. Gyakran fajra jellemző alakú és formájú kupacs veszi körül. Makktermése van a szelídgesztenyének, a gyertyánnak, a bükknek, a közönséges mogyorónak, a tölgyfajoknak stb.
- ♦ A **lependék** termést szárnyas makknak is nevezik. Két termőlevélből fejlődik ki. A hártyás repítő a külső termésfalból jön létre. A bálványfa, a szilfajok, a kőrisfajok terméstípusa.
- ♦ Az **ikerlependék** vagy szárnyas ikermakk a juharfajokra jellemző.

4.6.3. Egyszerű húsos termések

- ♦ A **bogyótermés** belső és középső termésfala húsos, a magok ebben helyezkednek el. A külső termésfal hártyaszerű. A paradicsom, a szőlő, a burgonya (a termés mérgező), a gyöngyvirág, az egres, a borostyán stb. terméstípusa.
- ♦ A paprikatermés másik neve, **felfújtt bogyó**. A külső termésfal itt is hártyaszerű, a középső termésfal alapszövege vékony.
- ♦ **Kabaktermése** (bogyó) van a töknek, uborkának, dinnyének stb. A külső termésfal bőrnemű, a középső lédús, a belsőben vannak a magvak.
- ♦ A **csonthéjas termés** egy vagy két termőlevélből fejlődik. A külső termésfal e típusnál is bőrnemű, többnyire színes. A középső lédús, édes, a belsőből jön létre a „csonthéj”. Ha ezt feltörjük, akkor válik láthatóvá a mag. A szilva-, cseresznye-, barackfajok, dió, mandula, kókuszdió stb. termése.

Az **almatermés** bonyolult **áltermés**. A „csutka” valójában több tüszőtermés. A húsos része, amit fogyasztunk, az a vacokból és a virágtakaróból fejlődik. A **csipkebogyó** – mint azt már jeleztük – szintén áltermés. Itt az elhúsosodó vacok belsejében vannak az aszmagtermések.

A földi eper **szamócatermése** tulajdonképpen elhúsosodó vacok, amelybe aszmagtermések ágyazódnak. **Csoportos csonthéjas** termés a szeder, a málna.

Az érett termés általában leválik az anyanövényről. Belőle a **magvak** többnyire passzív módon szabadulnak ki. A növényeken a törzsfejlődés során különböző képződmények jöttek létre, hogy biztosítsák a magvak, termések elterjesztését. Közvetetten a szél, a víz, az állatok és az ember terjeszti a magokat, illetve a terméseket. Az állatok vagy megeszik ezeket és más helyen kipottyanítják a magokat, vagy testfelületükön szállítják

távolabbi helyekre. A növények egy része szétszórja magjait, pl. a hüvely- és toktermésűek. A széllel tova-
jutók könnyűek, gyakran van repítőjük (például a juharfajok, a gyermekláncfű termésein, fenyők magjain).
A vízzel terjedő termések lebegnek annak felszínén, és az áramlás sodorja tova azokat.

A növényi élet hordozói, a **magvak** igen szívósak, a környezeti hatásoknak ellenállóak. Vannak közöttük
olyanok, amelyek csírázókéességüket igen hosszú ideig képesek megőrizni, (pl. mimóza, len, here- és
zanótfajok, tulipánfa), de olyanok is, amelyek akár hetek, hónapok alatt is elveszítik azt (pl. japán fűz,
mezei szil). A magvak mérete eltér egymástól, felépítésük alapvetően megegyezik egymással.

I/A 2. AZ EGYED SZERVEZŐDÉSI SZINTJE

Az **egyed**, az individuum önálló, önfenntartó és önszabályozó biológiai rendszer. Az egyed alatti (infra-
individuális) szerveződési szintek rész-egész viszonyban lévő sorozata alkotja. Az élővilág egyedei valamely
velük rokon származású egyedcsoportnak, azaz egy adott fajnak a tagjai. Az egyedek leggyakrabban a szervezet
szerveződési szintjén jelennek meg, de megjelenésük lehetséges különböző egyed alatti szinteken is, például az
egysejtűeké a sejt szintjén.

I/B AZ ÉLŐVILÁG RENDSZERE

Az élővilág hierarchikusan felépülő rendszer. Ezt ismerték fel és követték a kutatók az élővilág rendszerezésekor. A rendszerezés csoportosítás, ami az élőlények rendszertani egységekbe sorolását jelenti. A mai rendszertől megkívánják, hogy a segédtudományok (pl. paleontológia, genetika) eredményei alapján az élőlényeket rokonság szerint osztályozza. Az ilyen elvi alapon lévő rendszereket **fejlődéstörténeti rendszereknek** nevezik.

A **rendszertani kategóriák** a következők: a faj (a rendszerezés alapegysége), a nemzetség, a család, a rend, az osztály, a törzs és az ország (gombák, növények, és állatok).

A továbbiakban a *Növény- és állatismeret* c. jegyzetben (vö. https://www.eltereader.hu/media/2018/05/Novenytan_READER.pdf) lévő gombák, növények és állatok, valamint az ökológiai szempontból fontos, de az előbb jelzett jegyzetben nem ismertetett élőlények rendszerbe helyezése, a törzsek, az osztályok és ahol szükséges, ott a rendek és családok általános jellemzése következik.

1. A gombák országa

A molekuláris biológiai kutatások alapján kiderült, hogy a gombák a növényektől elkülönült egységet képviselnek. Eredetük és evolúciós fejlődésük önálló irányt mutat. **Teleptestűek**, nincs sem gyökerük, sem száruk, sem levelük. A gombák nagy többségének teste **gombafonalak** (hifák) szövedéke, aminek **micélium** a neve. Zöld színanyag nincs bennük, ezért az állatokhoz hasonlóan **heterotróf** módon táplálkoznak. Vannak közöttük korhadékbontók (szaprofitonok), növényeken és állatokon élősködők (paraziták), szimbiózisban (hasznos együttélés) élők. Sejtfaluk kitin- és hemicellulóz tartalmú. Főként **spórával szaporodnak**. Az alacsonyabb rendű gombáknál (**Nyálkagombák törzse**) a micéliumokat harántfal nem tagolja, a magasabb rendűeknél (**Valódi gombák törzse**) igen. Az utóbbiba tartoznak a **tömlős-** és a **bazidiumosgombák** osztályai (*Larousse* 1994).

A **tömlősgombák** spórái a hifák végén, tömlőkben keletkeznek. A penészgomba-, lisztharmat-, csészegomba-, szarvasgombafélék stb. tartoznak ide.

A **bazidiumosgombák** spórái a hifák végén lévő „bunkókban”, a bazidiumokban fejlődnek. A fejlettebbeknek termőtestük van, amely lehet nyitott és zárt.

Az előbbieknél a kalap alján lévő termőréteg már a termőtest létrejöttének kezdetén látható. Az utóbbiaknál burok belsejében fejlődik. A védőburok maradványa a gallér és/vagy a bocskor. Bazidiumosgombák például: a gyilkos és a légyölő galóca, a nagy őzlábgomba, a csiperké.

2. A növények rendszere

2.1. Zuzmók

A **zuzmók** különleges csoportja az élővilágnak. **Telepes** növények, amelyek kék vagy zöld moszatok (autotróf) és főként tömlős-, néha bazidiumosgombák (heterotróf) olyan **szimbiózis**a, amely minőségileg új szervezeteket eredményezett. Szorosan kapcsolódnak ahhoz az aljzathoz (pl. fakéreg, levél, kőzetek felülete) amelyen előfordulnak. A színtestekkel bíró algák fotoszintetizálnak, a gombafonalak pedig a vizet és a tápelemeket szolgáltatják az algák számára. A zuzmó az ásványi anyagokat a levegőből vagy a csapadékból veszi fel. A gomba védi az algát a kiszáradástól, egyes hifafonalai pedig olajat raktároznak. A zuzmók a vizet egész testfelületükön veszik fel, tehát életfolyamataikhoz fontos közvetlen környezetük mikroklimája, pl. a levegő páratartalma. Képesek akkumulálni (felhalmozni) a környezet szennyező-anyagain, pl. az ólmot (*Pb*), a kén-dioxidot (SO_2). A testükben felhalmozódott elemek mennyiségéből következtetni lehet a környezetszennyeződés mértékére, tehát **indikátornövények**. Vegetatív módon, elsősorban a feldarabolódott teleptöredékekkel szaporodnak. Van **kéregtelepű** (pl. írászuzmók, sárga-zuzmó), **lombos** (pl. falizuzmó), valamint **bokros zuzmó** (pl. szakáll-, tölgyfa-, serleg-, rénszarvaszuzmó).

Az anyagcsere-folyamatban szintetizált zuzmósavak részt vesznek annak a felületnek a kémiai mállasztásában, ahol megtelepednek. A zuzmó ínséges időben lehet emberi táplálék, állateledel, (pl. rénszarvasé), nyerhető belőle festék (pl. az ún. franciabírbort a szintetikus színezékek feltalálásáig zuzmóból állították elő), és lehet kozmetikumok alapanyaga is.

2.2. Mohák

A mohák telepteste sok sejtből áll ugyan, de a sejtek szinte mindegyike azonos feladatokat lát el.

A **mohák** szárazföldi, különböző szerveződési szintű telepes növények, melyek egy szárazföldi életmódra áttért zöldalgaszerű őstől származnak. A szövetek és a szervek kezdeményei először a mohákon jelentek meg. Víz- és tápanyagok felvételére azonban még minden mohasejt képes. Testük felépítése és sejtjeik működése alapján a mohák tehát a telepes és a hajtásos növények között helyezkednek el. Gyökérszerű szőrök rögzítik az aljzathoz. A levélkék és a szár szövetszerűen differenciálódott sejtekből állnak, ezek felépítése azonban nem egyenértékű a hajtásos növények megfelelő szerveivel. A mohanövényekben a szár és a levél elkülönülése következtében a sejtek már részben eltérő működéseket végeznek. Levelük gyakran csak egyetlen sejtrétegből áll, a vizes oldat legnagyobb részét ezen keresztül veszik fel. A moháknak nincs önálló vízháztartásuk, vagyis víztartalmuk környezetfüggő. A szárazságtűrő mohák közül több fajta kiszáradt állapotban is több évig életképes marad, és életfolyamataik nedves környezetben teljesen helyreállnak.

Nincsenek szállító edénnyalábjaik, testük felszínét nem borítja kutikula. Szaporodásukra **nemzedék-váltakozás** jellemző. Az ivaros, vagyis az ivarsejteket létrehozó nemzedékük zöld színű. A megtermékenyítés

után kialakuló ivartalan, vagyis spórákat termő nemzedékük már nem tartalmaz klorofillt. A mohák a környezeti feltételekre nézve szűktűrésű élőlények. A zuzmókhoz hasonlóan jó indikátorai az éghajlati és a talajtényezőknek. A „mohaszőnyeg” gátolja a talaj kiszáradását, gazdagítja annak humusztartalmát. Erdőtársulásokban sokáig biztosít megfelelő páratartalmat, tehát fontos a mikroklíma kialakításában is.

Három nagy csoportra oszthatók, ezek a becősmohák, a lombosmohák és a májmohák. A „tipikus” mohákat megtestesítő csoport a lombosmohák, ezek közé tartoznak pl. a szőr-, a háztető-, a párnamoha (kövek, sziklák felületén). Jellemzőjük, hogy a talajhoz gyökérszerű képződmény (rhizoida) rögzíti őket, amely víz felvételére képes, valamint szár- és levélszerű képződményeik vannak. A májmohák raktározó szövete olajat tartalmaz, a becősmoháké nem.

2.3. Hajtásos növények

(A *szervek szerveződési szintje* c. fejezetben már ismertetett tulajdonságok itt nem ismételődnek.)

2.3.1. Harasztok

A **harasztokban** már igazi **szövetek és szervek** jelennek meg. A szöveteket hasonló alakú, felépítésű és működésű sejtek alkotják. A szervek különböző, de mindig rájuk jellemző szövetekből épülnek fel. A harasztok szervei a gyökér, a szár és a levél.

Az **ősharasztok** a sziluridőszakban jelentek meg a Földön. Ezek a legősibb szárazföldi növények. A devon- és karbonidőszakban fa termetű erdőalkotók voltak. A **zsurlófák** devon- és karbonkorszaki fossziliákból ismertek. A karbonkorszaki feketekőszén-telepek ezekből jöttek létre.

A harasztok a mohákkal ellentétben már szövetes szerveződésű szervezetek, valódi száruk és mellékgyökérrendszerük van. Háncs- és farészből álló edénynyalábjuk szállítja a vizet és az asszimilátumokat. Szilárdítószöveteik növelik a hajtás szilárdságát. Kétszakaszos egyedfejlődésű növények: egyedfejlődésükben az ivartalan szakasz dominál, az ivaros szakaszban csupán egy, az ivarszerveket hordozó előtelep keletkezik.

Az ősharasztokból három irányban fejlődött a növényvilág, a **korpafüvek**, a **zsurlók** és a **páfrányok** irányába.

A ma élő **korpafüvek** ősi, lágyszárú, elsősorban talajlakó növények, de a trópusokon fán lakó fajok is élnek. Hajtásaik villásan elágazóak, száruk kúszó vagy heverő, melyen kicsi, spirálisan elhelyezkedő, pikkelyszerű levelek találhatók. Spóratermő leveleik, tömött füzért alkotva, a hajtásvégeken helyezkednek el. Hazánkban néhány ritka, védett fajuk él, pl. a kapcsos korpafű vagy a részeg korpafű.

A ma élő **zsurlók** lágyszárúak. Gyöktörzsük mélyre hatoló és elágazó. Tavasszal a klorofill nélküli, spórákat létrehozó termő hajtások alakulnak ki, a zöld meddő hajtások ezután fejlődnek. Sejtjeikben sok kovakristályt tartalmaznak, ezért merevek, könnyen törnek. Képviselői pl. a mezei zsurló, az erdei zsurló.

A **páfrányok** hazánkban élő fajai árnyékkedvelő lágyszárúak, a talajban élő gyöktörzsük van. Nemzedékváltozással szaporodnak. Az ivartalan nemzedék a leveles növény. A spóratokok a levél fonákján találhatók. Az őshonos hazai páfrányok többsége a valódi páfrányokhoz tartozik, pl. struccpáfrány, édesgyökerű páfrány, erdei pajzsika, hölgypáfrány, kövi fodorka, aranyos fodorka.

2.3.2. Magvas vagy virágos növények

A legfejlettebb hajtásos növények a **magvas vagy virágos növények**. Képviselőik közül a legfontosabbak a **nyitva- és a zárvatermők**. A **virág** a nyitvatermőkben, a **termés** pedig a zárvatermőkben jelenik meg először.

2.3.2.1. Nyitvatermők

A középidő többnyire száraz éghajlata kedvezett az óidőben kialakult nyitvatermők elterjedésének, hiszen a harasztoktól eltérően szaporodásuk már függetlenné vált a víztől.

Az ivaros szaporodás, tehát a petesejt és a hímivarsejt egyesülése a női virágzatban, a tobozban történik. A hímivarsejteket tartalmazó virágporszemeket a szél szállítja. A tobozok fásodó leveleinek tövében védett, de még nyitott helyen találhatóak a magkezdemények, bennük a petesejtekkel, melyekből megtermékenyítés után kialakul a mag.

A **nyitvatermők** képviselői közül legjelentősebb a **fenyők** csoportja. Fás szárúak, rendszerint örökzöld leveleik tű vagy pikkely alakúak. Porzós virágaik általában a hajtások csúcsán helyezkednek el és csak porzólevelekből állnak. A virágporszemek két légzsákkal repülnek. A termős virágok legtöbbször tobozvirágzatban csoportosulnak. A termőpikkelyek felületén lévő mindkét magkezdeményből mag lesz. Sok (5–8 db) sziklevéllal csíráznak. A **fenyőfélék** közé tartozik például az erdei-, a fekete-, a luc-, a jegenye-, a vörösfenyő. A **ciprusfélék** közé tartozik a hazánkban egyetlen őshonos ciprusféle, a közönséges boróka, valamint a kertekben, parkokban gyakori tuják, ciprusok és hamisciprusok.

A **tiszafafélék** osztályának fajainál különlegesség, hogy hiányzik a termőstoboz, a magok körül a termőlevélből húsos magköpeny alakul ki. Az Európában, így nálunk is honos, kétlaki közönséges tiszafa hímivarú egyedein a porzós virágok a tűlevelek hónaljában jelennek meg. Levelei fésűsen állnak. Szövetei gyantajáratokat nem tartalmaznak. A tiszafák jellegzetessége a magköpenyen kívül minden más szervben megtalálható igen mérgező alkaloid, a taxin előfordulása.

2.3.2.2. Zárvatermők

A középidő vége felé, a kréta korszakban a nyitvatermőkből alakultak ki és indultak fejlődésnek a **zárvatermők**. Ekkor a kontinensek vándorlása miatt bizonyos területek szárazabbakká váltak. Ez kedvezett a zárvatermő növények kialakulásának és elterjedésének.

A zárvatermők a mai növényvilág legnépesebb és legelterjedtebb csoportja: fajsza­muk meghaladja az összes többi növénycsoport képviselőinek számát, mely a becslések szerint 250 és 400 ezer közé tehető. Megjelenésükben, élettani és ökológiai saját­sa­gaikban igen nagy diverzitást mutatnak.

A zárvatermőkre kettős megtermékenyítés a jellemző. A magkezdemények a termőlevelekből létrejött zárt magházban találhatók. A termőből alakul ki a termés. Fás és lágy szárúak egyaránt tartoznak e törzsbe. A zárvatermők eredetének még sok tisztázatlan pontja van. Egyes kutatók véleménye szerint több nyitva­termőből, mások szerint a magvas páfrányoktól származó egyetlen csoportból alakultak ki.

2.3.2.2.1. Kétszikűek

A **kétszikűek** tagjai a törzsfaj­lódás során előbb jelentek meg, mint az egyszikűek. Azok kialakulásától kezdve egymással párhuzamosan fejlődtek. A fás szárú kétszikűek az ősi­bbek. Az ebbe az osztályba tartozó növények két sziklevéllel csíráznak. Szikleveleikben sok a tápanyag. A gyököcske főgyökérré fejlődik, amely oldalgyökereket hajt. Száruk többnyire elágazik. Bennük az edénynyalábok körkörös­en helyezkednek el. A kambiumgyűrű révén egy részük megvastagodásra képes. Leveleik változatos alakúak, azokban az érrendszer hálózatos. Többségük­nél a virágtakaró csészére és pártára különül. A virág­részek száma legtöbbször öt, ritkábban négy, vagy ezek többszöröse.

A továbbiakban néhány jellegzetes csoport bemutatására vállalkozunk.

A **liliomfa-virágúak vagy liliomfák rendjének** tagjai többnyire fás szárúak, fák, cserjék és liánok. Jelentős hányaduk Ázsiában, illetve az amerikai kontinensen honos. E rendhez tartozik pl. a **szerecsendiófélék családja**, melynek képviselője, a szerecsendió a trópusokon sokféle termesztett, kedvelt fűszernövény.

A **magnóliafélék családjába** tartozó növények a kissé megnyúlt tengelyen elhelyezkedő nagy virágaikról közismertek (magnólia vagy liliomfa, tulipánfa).

A **babérvirágúak rendjébe** tartoznak pl. a **babérfélék családjának** tagjai. Ismert haszonnövények a nemes babér, a fahéjfa, az avokádó, a kámforfa.

A **boglárkavirágúak rendjének** fajai közül sok a lágyszárú. Az északi mérsékelt övezetben élnek. Többnyire évelők. Változatos virágfelépítésűek, a porzó- és termőlevelek határozatlan számúak. Rovarmegporzásúak. A **boglárkafélék családjának** tagjai között sok a gyógynövény, pl. a mocsári gólyahír, a mezei szarkaláb, a sisakvirág stb. Termésük is változatos, általában tüsző, de lehet aszmag vagy ritkán bogyó. Ide tartoznak még például a réti boglárka, a tavaszi hérics, a reliktum erdélyi hérics, az endemikus magyar kökörcsin, a leánykökörcsin, a nemes májvirág, az ehető levelű salátaboglárka és hazánk egyetlen liánja, az erdei iszalag. A **mákfélék családjába** tartozó növények fehér, sárga vagy vörös tejnedvükről, vagy éppen színtelen nyálkaanyagukról nevezetese­sek. Egynyári vagy évelő lágyszárúak. Négy szíromlevelük, két korán lehulló csészelevelük van. A sok termőlevél összenövéséből létrejövő toktermés a legjellemzőbb rájuk. Ide tartoznak a tejnedvtartalmú **mákfélék** (pl. vetési pipacs, vérehulló fecskefű, mák) és testvércsoportjuk, a tejnedvet nem tartalmazó **füstikefélék** (pl. odvas keltike, szívvirág).

A **borbolyafélék családja** tagjainak többsége fás szárú, virágaik hármas vagy négyes alapszámúak, termésük bogyó. A fatest gyakran sárga festékanyagot tartalmaz. Ismertebb fajaik pl. a hazánkban őshonos sóska-borbolya, és a közönséges mahónia.

A **kötörőfűvirágúak rendjébe** tartozik a köves, száraz területeken előforduló, évelő, húsos levelű pozsgás lágyszárúakat és kisebb cserjéket magába foglaló **varjúhájfélék családja** (kövirózsa, borsos varjúháj); a szikla-hasadékokban is megélő **kötörőfűfélék** (a sziklakertek kedvelt növényei, pl. kötörőfű, vagy kőrontófű); a fásszárú, bogyótermésű **ribiszkefélék családja** (egres, ribiszke), és a **süllőhínárfélék családja** (közönséges süllőhínár).

A **szőlővirágúak rendje** szinte az egész Földön elterjedt. A **szőlőfélék családja** felkúszó, fásodó szárú növényekből áll. Leveleik tenyeresen összetettek vagy tenyeres erezetűek. Virágzatuk összetett, melyet sok kisméretű, nektáriumokban bővelkedő virág alkot. Termésük bogyó. A rögzítés hatékonyságát tapadókorongok is segíthetik. A ma már igen sokféle fajtájú termesztett nemes szőlő mediterrán eredetű. Kedvelt dísnövényeink a japán és az amerikai vadszőlő.

Crossosomatales rendbe tartozik a mogyorós hólyagfa, melynek termése felfűjt, rekeszenként kevés magvú tok. Ez az egyetlen hazánkban is honos faj a **hólyagfafélék családjából**.

A **golyaorrvirágúak rendjébe** tartozó **golyaorrfélék családja** képviselőinek virágán gyakran sarkantyú figyelhető meg. Száraz, csörszerű termésük éréskor részekre hasad a központi oszlop mentén, s a részek meggörbülnek vagy összezsavarodnak. A termés alakjára utal a golyaorr és a gémorrr neve is. Ebbe a rendbe tartoznak közkedvelt dísnövényeink, a muskátlik is.

A **rózsavirágúak rendjének** tagja a **rózsafélék családja**. Fajai világszerte elterjedtek, de az északi félgömbön több él. Vannak közöttük lágyszárúak, cserjék és fák is. Sok ízletes, kedvelt gyümölcs is e család tagja, mint például az alma, körte, cseresznye, meggy, eper, málna stb. Leveleiken gyakori a pálha; csésze- és szíromlevelek száma öt vagy annak többszöröse. Különböző termést érlelnek: álmest (pl. gyepűrózsa, vadalma, naspolya, tűztövis), csonthéjast (szilva, meggy, cseresznye, kajszibarack, őszibarack, közönséges mandula stb.), csoportos csonthéjast (szederfajok, málna), szamócatermést (szamóca). E rendbe tartoznak az erősen fűrészes, pálhás, aszimmetrikus levelekkel rendelkező **szilfafélék** (hegyi, mezei, vénic szil), az **ezüstfafélék** (keskenylevelű ezüstfa, homoktövis), a lágyszárúakat egyaránt magába foglaló **kenderfélék** (nyugati osterfa, közönséges komló, kender) családjai, a tejnedvvel rendelkező **eperfafélék** (fügefafa, eperfa, kenyérfa, narancseperfa), a **csalánfélék** (nagy csalán) és a **bengefélék** (kutyabenge, varjútövis) családjai is.

A **tökvirágúak rendjének** közös sajátossága a keserűanyagok jelenléte a szállítószövetben, és a tenyeresen erezett levelek. Egyik családja a **tökfélék**. Az ide tartozó fajok nagy része Amerika és Afrika trópusi és szubtrópusi területéről származik. Közülük sokat haszonnövényként termesztene a mérsékelt éghajlatú vidékeken. Általában lágyszárúak, egyévesek, kúszók vagy kacsokkal kapaszkodók. Pártájuk forrt szirmú. A különféle kialakulású vacokban nektáriumokkal csalogatják a rovarokat. Sokmagvú kabak termést érlelnek, ez sajátos felépítésű bogyónak is felfogható. Fajai pl. az úritök, a lopótök, az uborka, a görög- és sárgadinnye, a cukkini, vagy az egyetlen őshonos tökfélé, a földitök.

Erdőalkotó fáink közül sok tartozik a **bükkfavirágúak rendjébe**. A **nyírfafélék családja** (közönséges nyír, közönséges gyertyán, közönséges mogoró, enyves éger stb.) az északi félgömb, a mérsékelt és a hideg övezet lakója. Fák vagy cserjék. Leveleik épek vagy kétszeresen fűrészesek. Porzós virágzataik barkák, virágporukat a szél szállítja. Makk-, kaszat- vagy lependék termésük fejlődik. Az éger nitrogénygyűjtő baktériumokkal alkot szimbiózist. A **bükkfélék családjának** tagjai (bükk, szelídgesztenye, tölgyfajok) egylaki, fás szárú növények. Osztatlan, általában karéjos vagy fogas levelűek, porzós virágaik barkában vagy fejecskeszerű virágzatban, termős virágaik magányosan (tölgy), kettesével (bükk) vagy hármásával (szelídgesztenye) fordulnak elő. A bükk- és tölgyfajok szélbeporzásúak, míg a szelídgesztenye porzós virágai feltűnőek, illatosak, pollenje ragadós, ez is mutatja, hogy ennél a fajnál a beporzást rovarok végzik. A termés általában 3 termőlevélből alakul ki. Tüskés vagy pikkelyes kupaccsal borított makk termésűek. Egyes fajaik örökzöldek. Az olajokat és gyantát is tartalmazó **diófélék családjának** tagjai szárnyasan összetett levelekkel rendelkeznek. A porzós virágban megtaláljuk a termő csökevényeit is. Termése csonthéjas. Képviselői például az ehető magvú közönséges dió és a hikoridió.

A **keresztesvirágúak rendjébe** soroljuk a mustárolajat tartalmazó fajok szinte összes képviselőjét. A levelek általában szórtak, a virágzat fürtös. Ide tartozik többek közt a **káposztafélék családja**. Minden földrészen előfordulnak, sok közöttük a haszonnövény (zöldség, fűszer, gyógyszer, takarmány). Ismertebb fajaik a karalábé, a káposztafajok, a mustár, a repce, a retek, a torma, a zsázsa, a brokkoli, a karfiol, a kányazsombor, a pástortáska stb. A család latin neve a virágfelépítésre utal. A négy csésze- és a négy szíromlevél két körben, egymással váltakozva, kereszt alakban áll. Becő- vagy becőketermésűek. Magjaik zsírban, olajban gazdagok. Többségük egyéves és áttelelő egyéves, lágy szárú.

A sok porzó- és termőlevelű **mályvavirágúak rendjének** egyik családja a mályvaféléké. Ide tartoznak a különböző hársfafajok, melyek közül több nálunk is megtalálható (kislevelű hárs, nagylevelű hárs, ezüsthárs). Fás szárúak, virágzatuk álbogernyő. A belső körben lévő porzók porzószálaik összenőttek, ún. többfalkás porzókört képeznek. Termésük egyszemű makkocská. A család további faja a gyapot, a rostmályva (kenaf), az erdei mályva, a papsajtmályva stb. Trópusi elterjedésű, fás szárú növények pl. a kóladió, vagy a kakaófa. Cserjék és lágyszárúak egyaránt lehetnek a hibiszkuszok. A családba számos lágyszárú faj is tartozik, így a gyapot, az utak mentén gyakori erdei mályva és a papsajtmályva.

A **szappanfavirágúak rendjének** képviselői túlnyomórészt fák és cserjék, főleg trópusi és szubtrópusi elterjedésűek. Leveleik általában váltakozó állásúak, párhátlanok. A **rutafélék családjának** jellegzetessége a sok illóolaj- és váladéktartó a szárban, a levélben és a termésben, amelyek apró áttetsző pontokként tűnnek ki. Legismertebbek a citrusfélék – citrom, narancs, mandarin, grapefruit – termesztett fajaik és változataik. Testvércsoportjai a mahagónifélék és a **bálványfafélék családja**. Ez utóbbihoz tartozik a hazánkban is elterjedt bálványfa.

A **szappanfafélék családjának** sok hazai fa- és cserjefaj a tagja: a juharok erdőalkotó fáink, ikerlependék termésükről könnyen felismerhetők. A vadgesztenye, illetve a csörgőfa városi parkok, útmenti fasorok alkotói. A **szömörcefélék családjának** többsége trópusi és mediterrán tájak növényei, körükbe fásszárúak vagy liánok tartoznak. Szinte mindegyikük kétlaki. Cserzőanyagok, festékek alapanyagait adják. Ide tartozik a cserszömörce, mely nálunk a karsztbokorerdők egyik alkotója, a fontos trópusi gyümölcs, a mangó, a mediterránban és a Közel-Keleten termesztett pisztácia, vagy a braziliai eredetű kesu is.

A **Malpighicserje-virágúak rendje** a családok számát tekintve a leggazdagabb rend, hiszen 39 családot foglal magába. Ezek közül néhány:

A **kutyatejfélék családjá** fákat, liánokat és lágyszárúakat egyaránt egyesít. Számos fajuk tejnedvet tartalmaz (pl. farkas kutyatej). A **mangróvéfélék családjába** örökzöld fák és cserjék tartoznak. Közülük a legismertebbek a trópusi tengerpartok árapályzónájában élő, támasztó- és légzőgyökerekkel rendelkező mangróvék. E rendbe soroljuk továbbá a **golgotavirág-féléket**, melyek közül nálunk is él pl. a pocsolyalátonya.

Az ismert és közkedvelt erdei és kerti virágok, az ibolyafajok és az árvácskák rendszertani helye az **ibolyafélék családjá**. Leveleik pálhásak, ötagú, sarkantyús virágaik fejlődnek. Termésük tok. Ebbe a rendbe soroljuk a **lenfélék családját** (pl. házi len) is.

A nyár- és a fűzfajok rendszertani besorolása: **fűzfafélék családjá** (pl. fehér fűz, kosárkötő fűz, szomorúfűz, fehér nyár, fekete nyár, rezgő nyár). Kétlaki fák. A redukált virágok (gyakran szírom nincs vagy jelentéktelen, és a csészelevelek is sokszor csökevényesek) különféle virágzatokba, pl. barkába tömörülnek, mely általában lombfakadás előtt nyílik. Sokmagvú toktermésük van.

A **madársóska-virágúak rendjének**, ezen belül a **madársóska-félék családjának** képviselője pl. az erdei madársóska, mely oxalátokat tartalmaz.

A **hüvelyesek rendjében** egyaránt találunk lágyszárúakat (főképp a mérsékelt övben), cserjéket és fákat (főként a meleg égővben). Ismert növényei többek között a lepényfa, a közönséges júdásfa, az akácia vagy a levelek nasztikus mozgásáról híres szemérmes mimóza. A rendből kiemelendő a **pillangósvirágúak családjá** több haszonnövénnyel (pl. szója, földimogyoró, lencse, bab, borsó), de szintén ennek a családnak a tagjai a fehér és lila akác, az aranyeső, a lóhere-, lucerna-, lednek- és bükkönyfajok. A virágrészekre itt is az ötös szám vagy annak többszöröse jellemző. A pillangós virágnál a legfelső szíromlevél a vitorla, a két oldalsó az evező, az alsó két, többnyire összenőtt szíromlevél pedig a csónak. A rend növényei hüvelytermésűek. A levélalaphaleveleinek és a levélkének a módosulatai (pl. pálhatövis, levélkekacs) gyakoriak.

A **kecskerágóvirágúak rendje** döntően trópusi-szubtrópusi elterjedésű. Termésük többnyire tok, a magon köpenyt vagy szárnyat találhatunk. A **kecskerágófélék családjának** tagjai közül nálunk két erdei cserje, a csíkos és a bibircses kecskerágó él.

A **somvirágúak rendjébe** a **hortenziafélék** és a **somfélék családjá** tartozik, utóbbinak tagjai az ismert csonthéjas termésű erdei cserjék, a húsos és a veresgyűrű som.

A **hangavirágúak rendjének**, ébenfafélék családjának tagja a fekete fájáról ismert valódi ébenfa. A **szerencsepuszpáng-félék családjának** tagjai közül a lágyszárúakat a nálunk is előforduló ciklámen képviseli. A **kankalinfélék családjába** jelenleg csak tölévelrózsás növényeket sorolunk, mint pl. a tavaszi kankalin.

A **borágóvirágúak rendjében** a **borágófélék**, más néven **érdeslevelűek családjának** elnevezését jellemző tulajdonságuk adja, mert a növény felületét sűrűn fedik serteszőrök. Alapvető jellegzetességek az erős szőrözöttség mellett, hogy a szíromlevelek tölcséres vagy harang alakúak, illetve hogy a magház két termőlevélből fejlődik és álválaszfalakkal négy részre tagolódik. A pettyezetett és a bársonyos tüdőfű, a fekete nadálytő, a báránypirosító, a gyöngykölesfajok, a kígyósziszfajok, a nefelejcskek stb. az ismertebb ide tartozó fajok.

Az **ajakosvirágúak vagy árvacsalán-virágúak rendje** számos családot foglal magában. Az **olajfélék családjába** tartozó fajok főleg szubtrópusi és mediterrán éghajlaton élnek. Az utóbbi vidékeken gazdaságilag igen jelentős az olajfa, amelynek csonthéjas terméséből nyerik az olívaolajat. Erdeink fái közül a kőrisek (pl. magas kőris, virágos kőris, magyar kőris) tartoznak e családba. A közönséges orgona, a fagyal, az aranyvessző vagy kerti aranyfa, a valódi jázmin (nem tévesztendő össze a májusban virító, helytelenül jázminnak nevezett jezsámennel) is e rokonsági kör növényei. Termésük lehet lependék, tok és bogyó. Az **árvacsalánfélék családjának** tagjai a zsálya, a rozmaring, a levendula, a kakukkfű, a menta, a citromfű, a bazsalikom, az oregánó (szurokfű), az árvacsalánfajok. Többségében lágyszárúak, vagy mediterrán származású félcserjék, de fásszárúak is vannak köztük (pl. tikfa). Nevüket virágfelépítésükről kapták. Az alsó ajak egy-három forrt szziromból áll, a felső ajkat, amely ráhajlik az alsóra, kettő-négy szzirom képezi. Termésük makkocska. Jellegzetes illatúak. A **szivarfafélék családjában** fák, cserjék és liánok találhatók. Termésük általában hosszú tok, szárnyas vagy szőrös magvakkal. Döntően trópusi és szubtrópusi elterjedésűek, a mérsékelt klímát csak kevés csoport bírja ki (szivarfa, trombitafolyondár). Az **útifűfélék** és a **rencfélék** (közönséges rence, hízóka stb.) **családjai** is e rend tagjai. Ez utóbbiak mirigyszőrei nyálkát és emésztőnedveket választanak ki, így rovarfogásra képes.

A világszerte elterjedt, de elsősorban az északi mérsékelt övben gyakori **vajvirágfélék családjának** legtöbb képviselője gyökérélősködő. Vannak köztük félélősködők (pl. szemvidítófű, kéküstökű csormolya) és teljesen parazita életmódú növények (pl. vajvirág, kónya vicsorgó).

A **burgonyavirágúak rendjének** fontos élelmisznőnövényeket is – pl. paprika, paradicsom, burgonya, padlizsán – magában foglaló családja a **burgonyafélék családjá**. A petúnia, a dohány, a nadragulya, a zsidócsereesznye stb. szintén ide tartoznak. A csoportban lágyszárú és fás szárú növényeket egyaránt találunk. A csésze- és a szziromlevelek összenőttek. A párta gyakran cső alakú. Termésük sokmagvú tok vagy bogyó. Magas alkaloidtartalmuk miatt sok faj erősen mérgező (nadragulya, beléndek, csattanó maszlag, dohány, burgonyatermés), míg számos faj termése (paradicsom, padlizsán, paprika) vagy gumója (burgonya) nagy jelentőségű az ember táplálkozásában.

Az **ernyősvirágzatúak rendjében** a virágzat gyakran összetett, alapesetben ernyő vagy fejecske. Az ernyősök kivételével minden családban a fás szár dominál. Az **ernyősök családjának** fajai az északi félgömb mérsékelt éghajlatú vidékein élnek. Többségük lágyszárú. Az egyszerű ernyős virágzatokat gallérlevelek (murvalevelek), az összetetteket pedig gallérkalevelek övezik. A csészelevelek csőkevényesek. Az apró szziromlevelek általában fehérek vagy sárgák. Ikerkaszat termésük van. Az ernyősök családja erősen aromatis, jellegzetes illatú növényeket, döntően lágyszárúakat foglal magába. Emiatt sok fűszernövény van a családban. Az illóolaj a növény különböző szerveiben fordul elő. A sárgarépa, a murok, a petrezselyem, a turbolya, a koriander, a zeller, a kömény, a kapor, a foltos bürök, az ánizs stb. tartoznak ide. A **borostyánfélék családjának** tagjai közül Közép-Európában csak a közönséges borostyán él.

A **mácsonyavirágúak rendjének** egyik családja a **loncfélék**. Az északi félgömbön főként Észak-Amerikában és Ázsiában fordulnak elő. Többnyire fák és cserjék, de van közöttük kis számban félcserje is. Virágaik forrtszirmúak. Általános a családban a bogyó- és a csonthéjas termés. Képviselőik pl. a közönséges hóbogyó, a loncfajok, az ostorménfa. A **pézsmaoglár-félék családjának** ismertebb tagjai a fekete bodza, a kányabangita, és a lágyszárú pézsmaoglár.

A **fészkesvirágzatúak rendjébe** főleg lágyszárúak tartoznak, de csaknem minden családban találunk fás szárúakat is. Általános jellemzőjük a fruktóz alapegységű tartaléktápanyag, az inulin. Fajgazdag (pl. margaréta, százszorszép, búzavirág, orvosi székfű [kamilla], dália, acsalapu, fekete üröm, közönséges cickafark, pongyola pitypang, fejes saláta, napraforgó, mezei katáng, réti imola), a fészkesek vagy **őszirózsafélék családjá**. A virágzatot fészkepikkelyek örve veszi körül, a fészket a megvastagodott, szétterülő, domború vagy kúpszerűen kiemelkedő vacok képezi. A család az egész világon elterjedt. A családba tartozó növények termése kaszat.

A **szegfűvirágúak rendjének, szegfűfélék családjának** fajai főként az északi félgömb mérsékelt éghajlati övezetében élnek. Egyéves vagy évelő, főként lágy szárú növények, jellegzetességük, hogy antociánokat tartalmaznak. A szíromlevelek alapjánál sokszor mellékpárta alakul ki. Leggyakrabban tok termésűek. Kedvelt dísznövények a szegfűfélék, pl. török szegfű, kerti szegfű stb. Az ismert fehér mécsvirág, az olocsán csillaghúr, a hólyagos habszegfű is ide tartozik.

A fehér libatop, a spenót, a cukorrépa, a cékla stb. rendszertani helye a **disznóparéjfélék családjá**. Egy- vagy kétéves, egyszerű zölde virágú, tok vagy makkocskas termésű fajok. Haszon- és gyomnövények egyaránt vannak közöttük. A sóska, a rebarbara stb. a **keserűfűfélék családjába** tartozik. Virágtakarójuk leegyszerűsödött. Szintén ebbe a rendbe tartozik a tápanyagszegény környezetben élő, húsevő **harmatfűfélék családjá**, melynek különböző fajainál a levelek mirigyszőrei (kereklevelű harmatfű), az összehajló levéllemez (vénsz légycsapója), vagy a kancsóvá módosult levélnyél (kancsókak) fogják meg a rovarokat.

A **szantálfavirágúak rendjének** tagjai túlnyomórészt félpárazita – fán vagy gyökéren élősködő – növények. Saját gyökerüket gyakran szívószervek helyettesítik, ezek hatolnak be az anyanövény szervezetébe. Ide tartozik a sárga és a fehér fagyöngy.

A közönséges platán vagy boglárfa a kevés fajt magába foglaló **próteavirágúak rendjének, a platánfélék családjának** a tagja. A csoport jellegzetessége az egyivarú fejecskvirágzat, és a makkocskas termés hosszú szőrökkel. Könnyen felismerhetők továbbá jellegzetes, kisebb-nagyobb lapokban leváló, friss foltot hagyó kérgükről.

A **puszpángvirágúak rendjébe** tartozó növények legtöbbje örökzöld fa vagy cserje. A **puszpángfélék családjának** tagjai általában egy-, ritkán kétlakiak. Leveleik átellenesen vagy váltakozva állnak, többnyire ép szélűek. Termésük toktermés. a bibeszál maradványai is láthatók. A puszpáng (buxus), mely a mediterrán vidékek nyílt erdeinek fénykedvelő növénye, nálunk kedvelt díszcserje.

2.3.2.2.2. Egyszikűek

Az **egyszikűek** egy sziklevelel csíráznak, amely közvetíti a táplálósövet tápanyagait a gyököcskéhez és a rügyecskéhez. Leggyakrabban mellékgyökérrendszerük van. A száruk alig elágazó, melyben az edénynyalábok szórtan helyezkednek el. Levélereik párhuzamos lefutásúak. A virágtakarójuk általában egynemű (lepel), melyet a hármasszám vagy annak többszöröse jellemez. Az új növénytani kutatások eredményeként számos rendjük határozható meg, melyek közül ez a jegyzet csak néhány jellegzetes csoporttal foglalkozik.

A **hídőrvirágúak rendjébe** tartozó családok, kivéve a kontyvirágféléket, vízinövények. A vízinövényeken belül két fő irány figyelhető meg, az egyiken csészére és szíromra tagolódó virágtakarót találunk sok porzóval (pl. **hídőrfélék**, **virágkákafélék**, **békatutajfélék**). A másik típusnál a virág leegyszerűsödött. Ezek legtöbbje részben vagy teljesen alámerült hínárnövény. A **kontyvirágfélék családjába** tartozik a húsos torzsán tömörülő sok apró virágot körbeölelő, nagy buroklevéllel rendelkező kontyvirág, a buzogányvirág (*Dieffenbachia*), vagy a trópusokon élő titánbuzogány.

A **liliomvirágúak rendjébe** tartozik a **kikericsfélék családjába**, melyet hagymagumó vagy rizóma jellemez (pl. őszi kikerics, magyar kikerics). A liliomvirágúak rendjét képviselik többek között a **liliomfélék családjába** tartozó növények (kockás liliom, tulipán), melyek hagymás, gyakorta leveles lágy szárral rendelkező, rovarmegporzású, tok- vagy bogyótermésű növények. A szárazföldek többségén – a nagyon hideg éghajlatú területek kivételével – mindenhol előfordulnak.

A **spárgavirágúak rendje** 24 családot foglal magában, ideértve a **kosborféléket**, vagy orchideákat (Boldogasszony papucs, agárkosbor, poszméhbangó), mely csoport az egyik legnépesebb a növényvilágban. Virágaik általában kétoldali szimmetriájúak, fejlődésük során 180°-ban megcsavarodnak. A virágtakaró két különböző lepelkörből áll. A belső kör középső levele eltér az oldalsóktól, változatos megjelenésű mézajakká specializálódott. A termés tok. A kosborfélék talaj- vagy fán lakó növények, s csak kevés közülük a kúszónövény (pl. vanília).

Gumós, hagymás és rizomás növények egyaránt tartoznak a két sorban álló, gyakran kardszerű levelekkel rendelkező **nőszíromfélék családjába**. Képviselőik például a sárga nőszírom, illetve a hagymagumós tavaszi sáfrány (tavaszi krókusz) és kardvirág.

A **hagymafélék családjába** kéntartalmú, jellegzetes illatú vegyületeiről közismert csoport. Nevük is jól mutatja, hogy tipikus földbeni módosult szárral, hagymával rendelkeznek. Bogas szerkezetű fejecske- vagy ernyővirágzatukat buroklevélszerű murvalevelek övezik (vöröshagyma, fokhagyma).

Az **amarilliszfélék családjába** tartozó növényfajok testvércsoporti viszonyban vannak az előző családdal. Ezt mutatja ernyőszerű bogas virágzatuk és hosszú tőkocsányuk is (hóvirág, nárcisz stb.).

A hagymás, tőkocsánnyal, fürtös virágzattal rendelkező **jácintfélék családjába** tartozik például a jácint, a csillagvirág és a fürtös gyöngyike.

A **csodabogyófélék családjába** tartozik a mérgező májusi gyöngyvirág, vagy az orvosi salamonpecsét, melyek termése kevés magvú bogyó.

A **pálma- és palmdióvirágúak rendjébe** tartozó egyetlen család a **pálmafélék családjába**, melybe fák, cserjék és liánok egyaránt beletartoznak. Jellegzetességük az ún. pálmatorzs, amely ritkán ágazik el, s elsődleges vastagodással, valamint az elhalt levelek révén gyarapodik. Termésük csonthéjas, olajban és szénhidrátokban gazdag. Melegkedvelő növények, főként trópusiak. Ilyen növény például a törpepálma, a kókuszpálma, a datolyapálma.

A **perjevirágúak (pelyvások) rendjébe** tartozó növényekre két fő evolúciós vonal jellemző. Az egyik irány a **sás- és szittyófélék**, a másik pedig a pázsitfűvek felé mutat. A rendbe tartozó 17 család közül jelen jegyzetben három kerül bemutatásra.

A **gyékényfélék családjának** ismert képviselői, a keskeny- és a széleslevelű gyékény. Évelő, rizómás, vízparti növények, két sorban álló, hosszú levelekkel. Virágaik egyivarúak, a növény egylaki. Felül találhatók a porzós virágok. A virágzat torzsavirágzat (ún. „buzogány”), termésük szemtermés.

A **palkafélék családjában** szintén lágy szárú növényeket találunk. Lepelleveleik vagy egyáltalán nincsenek, vagy annyira redukálódtak, hogy csak szőr- és pikkelyszerű képletek formájában ismerhetők fel. Mind a porzós, mind a termős virágot egy-egy murvalevél övezi. A család képviselői közül a sások a nedves élőhelyek (zsombéksás) mellett száraz területeken (törpesás) egyaránt elterjedtek. Ide tartozik még a tavi káka és a palka is.

A **pázsitfűfélék családjába** tartozó növények többsége lágyszárú, de ide tartoznak a trópusok elfásodó bambuszai is. Üreges száruk csomókkal tagolt, melyet a levelek levélhüvelyei szorosan körülölelnek. A virágok füzérekbe vagy kalászkákba csoportosulnak, melyeket pelyvalevelek fognak össze. Ezekből épül fel a pázsitfűvek összetett buga virágzata (ha a kalászkák fürtben állnak), vagy kalász virágzata (ha a kalászkák füzében állnak). A lepellevél apró pikkelyekké, toklásszá alakultak. A porzó és a termő védelmét ezek (belső és külső toklász) biztosítják. Szélmegporzásúak, szemtermésük van.

Fontos haszonnövényeink – pl. búza, rozs, árpa, zab, kukorica, rizs – ebbe a családba tartoznak, de a nád, a bambusznád, a cukornád szintén a család tagjai.

3. Az állatok országa

Az **állatok** evolúciója az ősi ostoros egysejtűeknél vált el a növények és a gombák fejlődési irányától. Az állatok heterotróf anyagcseréjű, aktív helyváltoztatásra képes élőlények. A **szivacsok törzsébe** (pl. édesvízi szivacs) álszövetes állatok, a **csalánozók törzsébe** (pl. közönséges hidra, korallfajok) már szövetes testfelépítésű, vízi életmódot folytató állatok tartoznak. A **lapos- és a hengeresférgek törzsének** tagjai például a májmétely, a horgasfejű galandféreg, a hegyesfarkú bélgiliszta.

A **gyűrűsférgek törzsébe** tartozók teste általában egynemű szelvényekből épül fel, hengeres, megnyúlt. A humuszos, nedves talajokban gyakori a földigiliszta (rendsztani helye: **kevéssertéjűek osztálya, giliszták családja**). Járatok fúrásával szellőzteti, lazítja a talajt. Szerves törmelékkel táplálkozik. Bőrén keresztül lélegzik, ezért esőzések után, amikor a talaj járatai megtelnek vízzel, a felszínre jön. Hímnős állat. (Kevéssertéjű gyűrűsféreg az akvárium halak egyik tápláléka, a csővájó féreg, más néven *Tubifex* is.)

Az **ízeltlábúak törzse** a legtöbb fajt magába foglaló állattörzs. Testük különmemű szelvényekből áll, amelyek testtájakat – fej, tor és potroh – hoznak létre. Testüket többretegű kitin kutikula fedi. Ez védi az állatokat, és külső vázuk is egyben. Időnként levedlik. Ízeiből álló végtagjaiknak saját, a törzs izomzatától független harántcsíktal izomzatuk van. A törzsbe tartozó osztályok a **rákok**, a **rovarok**, a **pókszabásúak** stb.

A **rákok** édes- és sós vizekben élő, kopolyúval lélegző, váltivarú állatok (pl. folyami rák). A fej és a torrész fejtort képez. A petéből kikelő kis rákok szüleikhez hasonlóak, átalakulás nélkül fejlődnek.

A **rovarok osztályába** a Földön kb. 750 ezer faj sorolható. A rovarok fején egy pár összetett szem, egy pár csáp és három pár szájszerv van. Ősi szájszervtípusuk a rágó szájszerv. Ez a táplálékhoz való alkalmazkodás révén módosult. Ismerünk nyaló, nyaló-szívó és szűrő-szívó szájszervet. A torról eredő 3 pár láb alakja és nagysága az életmódnak megfelelően sokféle lehet. Alaptípusa a járó-(futó)láb. Többségük szárnyakkal is tudja helyét változtatni. A szárnyak nem végtagok. A tornál lágyabb potrohon a kifejlett rovaroknál járóvégtagok nincsenek. Légzőszerveik a tracheák. Posztembrionális fejlődésüknek többféle típusa van. Ebben az osztályban legnépesebb a **bogarak rendje**, amelybe pl. a **katicabogár, cserebogár, cincér, szarvasbogár, futrinkafélék családjai** tartoznak. Egyik pár szárnyuk kemény fedőszárnyra alakult. A **hártyásszárnyúak rendjének** élőlényeinek mindkét pár szárny hártyaszerű. A darazsak, a méhek, a hangyák e rend tagjai. A **lepkék, a poloskák, a szitakötők, a fogólábúak, az ugró egyenesszárnyúak stb. rendjei** szintén a rovarok osztályába tartoznak.

A **pókszabásúak** testén a fej és a tor fejtorrá nőtt össze. A fejtoron 6 pár végtag van. Ebből az első a csáprágó, amellyel az állat megfogja a zsákmányt. Végződhet karomban vagy ollóban. A második pár végtag tapogatólábbá módosul. Az állat ezt használja helyváltoztatásra, tapogatásra stb. A további négy pár a járóláb. Tracheával vagy tracheatüdővel lélegeznek. Szemeik egyszerűek.

A **pókok rendjének** fajainál a csáprágó méregmiriggyel áll összeköttetésben. Ezek váladékával bénítják meg áldozataikat, amelyre azután emésztőnedvet bocsátanak (külső emésztés). A potroh hasoldalán lévő szövőszemölcsökön nyílnak a szövőmirigyek. Ezek anyaga a levegőn megszilárdul. A pók, végtagjainak karmaival ebből az anyagból (pókselyem) szövi fajra jellemző formájú hálóját. A pókok rendjébe tartoznak a **keresztespókfélék, a zugpókfélék családjai**. A **kaszáspókok rendje, az atkák rendje (kullancsfélék családja)** szintén a pókszabásúak osztályának tagjai.

A **puhatestűek törzsében** többek között a **csigák** (éti csiga, nagy tányércsiga stb.) és a **kagylók** (pl. tavi kagyló) **osztályát** tartjuk számon. Közös jellemzőjük a lágy test, a belső váz hiánya, a nyálkamirigyekben gazdag, nyálkás bőr. Többségük teste szelvényezetlen, fejre, lábra és zsigerzacskóra különül. A fejükön van a szájnyílás és az érzékszervek. A lábukon csúsznak (csigák), illetve azzal ássák be magukat a víz aljzatába (kagylók). A zsigerzacskóban helyezkednek el belső szerveik. A háti részükről eredő bőrredő, a köpeny választja ki a ház és a héj anyagát. (Vannak házatlan csigafajok is.) Ezek alapanyaga szerves vegyület, amelybe különböző szervetlen sók, főként kalcium-karbonát (CaCO_3) rakódik. Vízben élő fajaik kopoltyúval, a szárazföldiek „tüdővel” lélegeznek. A szájüregben lévő, érdes felületű reszelő (radula) elsősorban a csigákra jellemző. Ezzel és az állkapcsaikkal „rágják” vagy tépik táplálékukat.

A **gerincesek törzsébe** tartozó állatfajok teste fejre, törzsre és farokra tagolódik. Belső vázuk porc- és csontszövetből épül fel. A fejtörz agy- és arckoponyából áll. A törzs tengelye a gerincoszlop, amelyhez a végtagok függesztőve kapcsolódnak. A farok a gerincoszlop folytatása. A törzs az életmódnak megfelelően igen formagazdag.

A **halak osztályába** vízben élő, kopoltyúval lélegző állatok tartoznak. Szervezetük a vízi életmódhoz alkalmazkodott. Testük áramvonalas. Páros és páratlan úszók segítségével mozognak. Kültakarójuk hámja mirigyekben gazdag. Pikkelyeik az irhában képződnek. Kopoltyúval lélegeznek. Testhőmérsékletük változó.

Külső megtermékenyítéssel szaporodnak. Hazai vizeinkben leggyakrabban előforduló fajok: nemes ponty (**pontyalakúak rendje, pontyfélék családja**), leső harcsa (**pontyalakúak rendje, harcsafélék családja**), csuka (**heringalakúak rendje, csukafélék családja**), fogassüllő (**sügéralakúak rendje, sügérfélék családja**).

A **kételtűek** evolúciója kb. 350 millió évvel ezelőtt az ősi bojtosúszóshal-szerű típusokból indult ki. Ennek az osztálynak tagjai kifejtett állapotban tüdővel lélegeznek, amelyet bőrlégzés egészít ki. Lárvakorban kopolyával lélegeznek. Bőrük mindig nyálkás, hideg tapintású, elszarusodása csak kismértékű, nem nyújt tökéletes védelmet a kiszáradás ellen. Változó testhőmérsékletűek. A békák külső, a farkos kételtűek párzás nélküli belső megtermékenyítéssel szaporodnak. Ezeknél a fajoknál a hím egyed ivarsejtjeit ondótokokba zárva helyezi a vízbe. A nőstény ezt kloakájával felszívja. A kételtűek többsége (pl. a békák) átalakulással fejlődik. Télen a talajba vagy egyéb, fagytól védett helyre húzódva alszanak. Hazánkban minden fajuk védelem alatt áll! A farkos kételtűek rendjébe pl. a **szalamandrafélék**, a békák rendjébe pl. a **levelibéka-félék**, a **varasbéka-félék**, az **igazi béka-félék**, a **korongnyelvű békák családja** tartoznak. A békák farkatlanok, hátsó lábaik hosszabbak az elsőnél. Ezekkel nagyokat ugranak.

A **hüllők** tagjai az első valódi szárazföldi gerinces állatok. A szárazföld meghódítását a kiszáradástól védő elszarusodott kültakaró, a légzés tökéletesedése és a végtagok előnyösebb helyzete tette lehetővé számukra. Testhőmérsékletük változó. Melegkedvelő állatok. A magyarországi hüllőfajok téli álmat alszanak. Többségük szaruhéjú tojásokkal szaporodik, amelyet a Nap melege költ ki. Vannak elevenszülő fajok is, pl. a viperák. E fajok testében is tojás képződik, ami azonban az utód kifejlődéséig az anyaállat petevezetőjében marad. Tehát az utód a viperáknál is tojásban fejlődik ki. Nagyobb részük ragadozó, férgeket, rovarokat, halivadékokat stb. esznek. A hüllők is védettek! A hüllőket a halántéklak alapján soroljuk osztályokba.

Halántéklak-nélküliek osztályába tartozik a **teknősök rendje**. Az **édesvíziteknős-félék családjának** tagja a nálunk is élő mocsári teknős. Páncélja hát- és haspáncélból áll. Rovarokat, férgeket, apró halakat eszik.

A **kettős-halántéklakúak osztályába** tartozik például a pikkelyeshüllők rendje. A fürge, a fali, a zöld gyík a **pikkelyeshüllők rendjén** belül a **nyakörvösgyík-félék családjának** tagjai. A **siklófélék családjába** tartozik az erdei és a vízisikló. Ezek kígyók. A koponyacsontjaikat rugalmas szalagok kötik össze, ezért szájnyalásuk tágulékony. Csigákkal, ízeltlábúakkal és kisebb emlősökkel táplálkoznak.

A **madarak** a földtörténeti középkor végén az őshüllők egy csoportjának (*Archosaurus*) egyik fejlődési vonalán alakultak ki. Hüllőrokonságukat szaporodásbiológiájuk őrzi. A madarak osztályának fajainál a kültakaró jellegzetes szaruhéjú képződményei: a pikkely, a csőr, a taréj, a karom, a toll. Testhőmérsékletük állandó. A méshéjú tojásokat a fajok többségénél a tojó költi ki. Életmódjuk, táplálkozásuk sokféle. Csőrük alakja, csüdjük, ujjai nagysága és alakja előbbi függvényében szintén sokféle. A hazánkban élő fajok között vannak költözők (vonuló) és nálunk telelők egyaránt. Magyarországon kb. 340 madárfaj védett.

Az afrikai strucc a **struccalakúak**, a nandu a **nandualakúak**, az emu a **kazuáralakúak rendjének** tagjai. Közepes, illetve nagytetű állatok.

A **gólyaalakúak rendjébe** tartozik a hosszú egyenes csőrű, hosszú csüdű fehér gólya.

A **lúdalakúak rendjének** madarai viszonylag nagy testű, fészekhagyó állatok. Valódi úszómadarak, lábujjaikat úszóhártya köti össze. Csőrük széles. A tőkés réce és a házi kacska a **kacsafélék családjának**, a vetési lúd, a nyári és a házilúd pedig a **lúdfélék családjának** tagjai.

A **tyúkalakúak rendjébe**, a **fácánfélék családjába** tartoznak a fogoly, a fürj, a fácán stb. Házasított tyúkféle a házityúk, a gyöngytyúk és a pulyka. Testük zömök, nehézkesen, rosszul repülnek. Csőrük a végén kissé kampós, lábuk kaparóláb. A kakas és a tojó külsőleg jelentősen eltér egymástól (ivari kétalakúság).

A **sirályalakúak rendjébe**, a **sirályfélék családjába** tartozik a danka-, az ezüstsirály. Igen jól repülnek. Hosszú, hegyes szárnyuk van.

A **galambalakúak rendje**, a **galambfélék családjába** a rendszertani helye az örvös galambnak, a balkáni gerlének, a vadgerlének, a házi galambnak. Jól repülő, jó tájékozódó képességű madarak. Többnyire magvakkal táplálkoznak. Csőrük gyenge, puha bőrrel fedett. Kettős begyük van, kicsinyeiket a „begytejjel” etetik.

Az erdei fülesbagoly, az uhu, a kuvik stb. a **bagolyalakúak rendjébe**, a **bagolyfélék családjába** tartozik. Rövid farkú, zömök testű madarak. Ragadozók, ennek megfelelően csőrük rövid, erős, horgas, lábuk erős ragadozó láb (markoló láb). Nagyon puha tollazatuk teljesen nesztelen repülést tesz lehetővé számukra. Szemeik előre néznek, ezért valódi térlátásuk van. Táplálékukat főként éjszaka szerzik.

A **harkályalakúak rendje**, **harkályfélék családjába** a rendszertani helye a zöld küllőnek, a nagy fakopáncsnak, a balkáni fakopáncsnak stb. Odúlakók. Csőrük vésőhöz hasonló, nyelvük vékony, hosszúra kiölthető. Ujjai erős karmokban végződnek. Lábuk kúszóláb.

Az **énekesmadár-alakúak rendjébe** a **pacsirtafélék, fecskefélék, varjúfélék, cinegefélék, rigófélék, szövőpintyfélék, pintyfélék, csuszkafélék, málinkófélék, poszátafélék** stb. **családjainak** tagjai tartoznak. E rend a legnépesebb a madarak osztályában. Legjellemzőbb rájuk a hangadó szervvé alakult, fejlett alsó gégefő. Sok fajuk igen kellemes (néhányuk az emberi fülnek kellemetlen) hangokat ad ki. Lábuk lépegető- vagy ugróláb. Többségük rovar- és magevő.

Az emlősök több mint 200 millió évvel ezelőtt jelentek meg bolygónkon. A ragadozó ősgyíkoktól származnak. A hüllőszerű ősi emlősök evolúciója nagy valószínűséggel igen korán kettévált. Az egyik fejlődési vonal a mai kloakásoké, a másik az erszéyeseken keresztül a mai méhlepényeseké.

Az **emlősök osztálya** állatainak testalkata, fogazata a változatos életmódnak megfelelően sokféle. Négy végtagjuk van. Jellegzetes szaruképződményük a szőr. Bőrükben sok faggyú- és verejtékmirigy található. Testhőmérsékletük állandó. Utódaikat elevenen hozzák világra és a tejmirigyek váladékával, a tejjel táplálják.

A **rovarevők rendjébe** tartozik pl. a ***vakondfélék*** és a ***süñfélék családja***. Apró tűhegyes fogaik vannak. Többségük éjjel táplálkozik.

A mezei, az üregi, a házinyúl a ***nyúlalakúak rendjének***, a ***nyúlfélék családjának*** tagjai. Növényevők. Kettős metszőfoguk van. Füleik hosszúak. Farkuk rövid, hátsó lábuk ugróláb.

A ***rágcsálók rendje*** fajainak szemfoguk nincs, metszőfogaik állandóan nőnek. Fajban igen gazdag rend. Növényevők. A talpukon járnak. Egy részük mezőgazdasági szempontból káros. Ide tartoznak többek között a ***mókusfélék*** (közönséges mókus, ürge), az ***egérfélék*** (háziegér), a ***hörcsögfélék*** (hörcsög, erdei és mezei pocok) ***családjai***.

A ***ragadozók rendjében*** sok az ismert állatfaj. Legtöbbjük frissen ölt állatokat fogyaszt, de vannak közöttük dög- és mindenevők is. Metszőfogaik kicsik, nagy szemfogaik tépőfogak. A húsevők zápfogainak felülete tarajos, a mindenevőké gumós. Érzékszerveik fejlettek.

A ***kutyafélék családjának*** fajai: a házikutya, a vörös róka, a farkas, a sakál stb. Ujjon járók, karmaik nem húzhatók vissza. Kitartóan tudnak futni.

A ***medvefélék családja***ba tartozók legtöbbje mindenevő, zömök testalkatú, talpon járó. Fajaik a jegesmedve, barnamedve stb.

A ***macskafélék családjának*** tagjai karcsú, izmos, hajlékony testű állatok. Ujjukon járnak, karmaik visszahúzhatók. A vadmacska, a házimacska, a gepárdok, a hiúz, a jaguár, a puma, a párduc vagy leopárd, az oroszlán, a tigrisek stb. e család tagjai.

A jelenlegi legnagyobb szárazföldi emlősök, az elefántok (afrikai, indiai) az ***ormányosok rendjének***, ***elefántfélék családjának*** tagjai. Oszlopszerű lábaikon 5-5 kis pata van. Ormányuk fogószerv, fülkagylóik nagyok. Nagyra nőtt metszőfogaik az agyarak. Növényeket fogyasztanak.

A ***páratlanujjú patások rendjébe*** növényevő, közepes vagy nagytermetű fajok tartoznak. Redős felületű zápfogaik vannak, szemfogaik nincsenek. Gyomruk egyszerű. Tápcsatornájuk hosszú. A vadon élő fajok naponta nagy távolságokat járnak be táplálékért. Végtagjaikon páratlan számú lábujj van. Az ujjak utolsó ízét pata fedi. E rend tagjai az ***orrszarvúfélék***, a ***lőfélék családja*** (háziló, háziszamár, zebrák stb.).

A ***párosujjú patások rendjére*** a lábujjak páros száma (kettő vagy négy) a jellemző. Általában nagytermetűek. Vannak közöttük mindenevők is, de a többségük növényeket fogyaszt. Gyomruk egyszerű vagy összetett. Kérődzők és nem kérődzők egyaránt vannak a rend tagjai között.

E rend családjai pl. a ***disznófélék*** (vaddisznó, házisertés stb.), amelynek tagjai nem kérődznek. Orruk végén turkálókörong van. A ***vízilőfélékhez*** tartozóknak (nílusi víziló stb.) három részre osztott, nagy gyomruk

van. Nem kérődznek. Növényevő, nagytestű állatok. A **tevefélékhez** (kétpúpú, egypúpú teve, láma stb.) kis patájú, hosszú nyakú, kérődző fajok tartoznak. Gyomruk háromüregű.

A következő családokba tartozó fajok szintén kérődzők. Gyomruk négyüregű (részei a bendő, a recés gyomor, a leveles és a mirigyes gyomor), fogazatuk hiányos (felső metszőfoguk nincs, gyakran a szemfoguk is hiányzik).

A **szarvasfélék családja** karcsú testű, jól futó állatokból áll. A hímek csontagancsot viselnek, amelyet évente levetnek. Hazánkban elterjedt az őz, a gímszarvas, kevesebb számú a dámvad.

Az igen hosszú nyakú, hosszú lábú zsiráf, a **zsiráfélék családjának** állata. Fején szőrös bőrrel fedett csontdudorok nőnek.

A **szarvasmarhafélék családjának** tagjainál tülkös szarv fejlődik a homlokcsonton lévő szarvcsapon. Anyaga szaru. A szarvasmarha, bivaly, házikecske, házijuh, vadjuh, európai muflon stb. tartoznak ide.

I/C ALAPVETŐ ÉLETTANI JELENSÉGEK A NÖVÉNYEK ÉS AZ ÁLLATOK VILÁGÁBAN

Az élőlényekre **életjelenségek** jellemzők. Ezek az anyagcsere, a növekedés, a fejlődés, a mozgás, a szaporodás, az ingerlékenység, a változékonyság, az öröklődés és a halál. Az életjelenségek meghatározott irányban, sorrendben, sebességgel, valamint folyamatosan és szabályozottan mennek végbe. Egymásba kapcsolódó, egymással összefüggő, kölcsönhatásban lévő, állandóan változó (egyirányú) folyamatokat jelentenek az élő szervezetben. Az életfolyamatok anyagi alapja az, hogy az élőlényeket felépítő, az előző tanulmányaikban már részletesen megismert kémiai anyagok meghatározott molekuláris szerkezetben helyezkednek el. Ezek kölcsönhatása biztosítja a szerkezet és működés egységét.

Az élőlények csak a fajuk környezeti igényeit biztosító feltételek között képesek folytatni életjelenségeiket. Tehát környezetükkel is állandó kapcsolatban, kölcsönhatásban vannak, vagyis az **élők nyitott rendszerek**.

Mivel e jegyzet Olvasói középiskolai éveikben igen részletesen tanulták az életjelenségeket, ezért a jegyzet ezen fejezete, kerülve a felesleges ismétléseket, csak összefoglalja azok főbb jellemzőit, a részletekre, előismerteiket feltételezve nem tér ki. A hangsúlyt a gyermekekkel megfigyeltethető életjelenségekre és a hallgatók által tanórán elvégezhető vizsgálódásokra („kísérletekre”) helyezi.

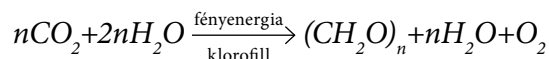
1. Az anyagcsere

Az anyagcsere alapvető életjelenség, amelynek során az élőlényeket felépítő anyagok folyamatosan megújulnak. Építő és bontó folyamatokból áll, amelyek egy időben, de ellentétes irányban, szabályozottan, integrálva mennek végbe. Az élőlények a testüket felépítő, **asszimilációs folyamatokhoz** szükséges táplálékot és energiát a külső és/vagy belső környezetükből veszik fel. A lebontó, **disszimilációs folyamatokban** keletkező végtermékeket pedig oda adják le.

A sejtek asszimilációja lehet **autotróf** és **heterotróf**. A csoportosítás a szerves anyagok bioszintézisének módjára vonatkozik.

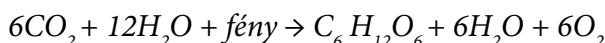
Az **autotróf élőlények** (a zöld növények, a barna, a vörös moszatok, egyes baktériumok) bizonyos sejtjeikben a szervezetüket alkotó és az életjelenségekhez energiát szolgáltatató **szerves anyagokat** (fehérjék, szénhidrátok, zsírok, olajok) közvetlenül, illetve közvetve **szervetlen anyagokból** (a levegő szén-dioxidjából, a vízből és az abban oldott ásványi sókból) **állítják elő**, energia (ATP) felhasználásával. ATP-molekulák keletkezhetnek fényenergia vagy kémiai energia hasznosításával. Az autotróf asszimiláció típusai ennek megfelelően a **foto-** és a **kemoszintézis**. Az előbbi típusnál az energiaforrás a napfény energiája. Az utóbbinál pedig a kemoszintetizáló élőlénycsoportra jellemző szervetlen anyagok oxidálásakor keletkező kémiai energia.

A **fotoszintézis** redoxifolyamat, lényege kifejezhető a következő **oxido-redukciós egyenletben**:



A fotoszintézis fényszakaszában a fényenergia felhasználásával (a fényt a fotoszintetikus pigmentek nyelik el) a vízmolekula felbomlik, ez a **photolízis** ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + 1/2 \text{O}_2 + 2e^-$). A reakcióban felszabaduló és a növények légrésein a légkörbe kerülő **oxigén** tehát a **vízből származik**. A fotoszintézis fényszakaszában fényelnyelés, fotokémiai folyamatok, oxigéntermelő vízbontás, redukált enzimek keletkezése (NADPH) és ATP-szintézis megy végbe. A sötét szakaszban (nem függ közvetlenül a fénytől) a szén-dioxid (CO_2) megkötése és az ATP, valamint a NADPH felhasználásával szerves anyaggá, egyszerű (három szénatomos) cukrokká redukálódása történik. Ezekből megkezdődik a szőlőcukor, illetve a még összetettebb szénhidrátok (keményítő, cellulóz stb.), zsírsavak, aminosavak szintézise.

A folyamat összesített és egyszerűsített reakcióegyenlete:



A **fotoszintézis fényszakaszának** reakciósorozata tehát, mivel fényenergiát igényel, csak nappal játszódhat le. **Sötét szakasza** – mint azt neve is jelzi – nem igényel fényt, anélkül viszont nem mehet végbe, mert a fényszakaszban termelődő anyagokat igényel. A fotoszintézis sötét szakasza a sötétedés után addig folytatódhat, amíg a fényszakaszban képződött energia el nem fog.

Kemoszintetizáló élőlények pl. a nitrifikáló (nitrit- és nitrát-), a vas-, a kénbaktériumok. A nitritbaktériumok a CO_2 -asszimilációhoz (a szén-dioxid energiagazdag szénhidrátokká alakításához) szükséges energiát az ammóniának (NH_3) salétromossavvá (HNO_2) való oxidálásából nyerik. A nitrátbaktériumok a salétromossavnak salétromsavvá (HNO_3), a vasbaktériumok pedig ferrovegyületeknek (Fe^{2+}) ferrivegyületekké (Fe^{3+}) való oxidálásából. A kénbaktériumok a kén-hidrogént (H_2S) elemi kénné (S), majd kén-dioxidá (SO_2) oxidálják.

A **heterotróf szervezetek** (gombák, a növények kis hányada, állatok, ember) nem képesek testük szerves anyagait szerves vegyületekből előállítani. A **táplálékaikkal** felvett, tehát más élőlények testéből származó **szerves vegyületeket alakítják át sejtjeik specifikus építőanyagaivá**. Az autotróf növények színtesteket nem tartalmazó sejtjeiben is heterotróf módon megy végbe a szerves molekulák bioszintézise. Ezeknél azonban a növény más sejtjeiben keletkező asszimilátumok a kiinduló anyagok. Az ATP-molekulák is szerves vegyületek átalakítása révén, a disszimilációs folyamatokhoz kapcsolódva keletkeznek.

Az asszimiláció tehát több lépésben végbemenő, enzimekkel katalizált reakciók sorozata.

A **disszimiláció egyik funkciója** a szerves vegyületek kémiai kötéseiben raktározott **energia felszabadítása** és átalakítása a szervezet életfolyamatainak működéséhez közvetlenül alkalmas formává. Ez a forma döntően az ATP-molekulák foszfátkötéseinek energiatartalma. Minden sejt maga termeli az életműködéséhez szükséges energiát. Az ADP-molekula ATP-vé alakulása ($\text{ADP} + 3\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{ATP} + \text{H}_2\text{O}$) endoterm folyamat,

amely 33,47 KJ energiát igényel. Ha viszont a sejtnak valamilyen tevékenységéhez energiára van szüksége, akkor az ATP megfelelő enzim segítségével hidrolizál. Visszaalakul ADP-vé, és felszabadul a képződéskor beépült energia. **Felszabadításának** (biokémiailag) **két fő formája van**, az **erjedés** és a **sejtlégzés**. Ezek a disszimiláció típusai. Az **erjedés** (tejsavas, alkoholos) elsősorban szénhidrátok részleges, oxigén nélküli (anaerob), vagy kevés oxigén jelenlétében való lebontása. A mitokondriumokban végbemenő **sejtlégzés** különböző szerves vegyületek teljes lebontását jelenti. Oxigént igénylő (aerob) folyamat. A kiinduló szerves vegyületek e formánál is döntően szénhidrátok, de lehetnek fehérjék, aminosavak (öregedő, éhező szervezetben, csírázáskor stb.), valamint zsírok, zsírsavak és olajok is.

Légzéskor a szerves anyagokból **felszabaduló elektronok külső** (vagyis nem az átalakuló anyagból létrejövő) **elektronakceptorra** (elektronfelvevőre) **jutnak**. Ez az anyag az **oxigén**, amelyből az elektronokkal és a protonokkal (H^+) (ezek utólag csatlakoznak) együtt a disszimiláció egyik végterméke, a víz lesz. Az **erjedésben külső elektronakceptor nincs**. A hidrogén a folyamatban keletkező szerves akceptorokra kerül át, amelyek redukálódnak és mint erjedési végtermékek (alkohol, vajsav, tejsav stb.) halmozódnak fel.

Az **erjedés** és a **sejtlégzés** a legtöbb szervezetben, illetve sejtben **egymás mellett megy végbe**. Az erjedés általában megelőzi a biológiai oxidációt. Energetikailag az utóbbi a hatékonyabb, tehát légzéskor több ATP-molekula (glükózmolekulánként 38 db) szintetizálódik, mint erjedéskor (glükózmolekulánként 2 db). Vannak olyan szervezetek, amelyek csak erjedésszerű módon képesek disszimilálni. Ilyenek pl. az élesztőgombák, a tejsavas, a vajsavas baktériumok. Földünkön az erjedés az ősi folyamat.

A disszimiláció másik funkciója a sejtekben lezajló bioszintézisek kiindulására alkalmas vegyületek létrehozása és a reduktív szintézisekben szükséges elektronok (ill. hidrogének) biztosítása.

A **légzés gázcserével**, oxigén felvételével és szén-dioxid termelődésével, leadásával jár. A gázcsere (és a párologtatás) **a hajtásos növényekben a gázcsere nyílásokon keresztül** megy végbe.

A magasabb rendű növények légzésintenzitását befolyásolja élettani, egyedfejlődési állapotuk, életkoruk és a külső környezeti tényezők. A csírázó magvakban, az osztódószöveti sejtekben (gyökér és a szár tenyésző-csúcaiban), a nyíló virágokban a légintenzívebb. A kevesebb vizet tartalmazó magvak légzése gyengébb, mint a lédúsaké. A légzés szempontjából legkedvezőbb a 25–30 °C körüli hőmérséklet, a fagyponthoz közeli értékeknél jelentősen lelassul.

Az **állatok gázcseréje az egész testfelületükön** (diffúz légzés) illetve a **légzőszerveiken** – trachea, tracheatüdő, kopolyú, tüdő – (lokalizált légzés) keresztül **történik**. A diffúz és a lokalizált légzés egymás mellett is létezhet (pl. a kételtűeknél). A légzési gázokat a keringési rendszerben áramló testfolyadék szállítja. Diffúz légzésűek pl. a gyűrűsférgek (földigiliszták). A kételtűeknél előbbi csak kiegészíti a tüdőlélegzést a bőrön keresztüli.

Tracheával folytatnak gázcserét a rovarok, kopolyúval például a rákok, a kagylók, a vízcigák, a halak, a kételtűek lárvái. Tracheatüdővel lélegzik a pókszabásúak többsége, tüdővel a kételtűek, a hüllők,

a madarak és az emlősök. A szárazföldi csigáknál a köpenyüreg vérerekkel átszőtt fala is „tüdőként” működik. E hámeredetű légzőszervben a gázcseré diffúzióval megy végbe.

A **tracheák** vagy légcsövek hámeredetűek. Egy-egy védőberendezéssel bíró légzőnyílással nyílnak a test felületén. A nyílások nagyobb átmérőjű, vastagabb falú kitincscsővekbe vezetnek, amelyek az állat testében többszörösen elágaznak. Végágaik az egyes szervek sejtjeiben végződnek. A légcsövek és a csövecskék tehát behálózják a rovarok egész testét, a sejtekkel állnak közvetlen kapcsolatban. A levegő a trachearendszerben diffúzióval és az állat légzőmozgása által mozog.

A **tracheatüdők** vagy legyezőtracheák olyan „zsákok”, amelyeknek üregét sok egymással párhuzamos, vékony válaszfal tagolja. Ezek is légzőnyílással érintkeznek a levegővel. A pókszabásúak hasi oldalán, a kültakaró alatt találhatók. A válaszfalakban áramló testfolyadék van kapcsolatban a levegővel.

A **gerinctelenek kopoltyúi** hám- a **gerincesek kopoltyúi** előbél-eredetűek. A vérerekkel átszőtt elágazó lemezek a kopoltyúíveken egymással párhuzamosan ülnek. A kopoltyúk a vízben oldott oxigént veszik fel. A víz mozgását pl. a kagylóknál csillók, a folyami rákoknál az állkapcsi lábak, a halaknál főként a kopoltyúfedők mozgásai biztosítják.

A **gerincesek tüdeje** is az előbélből alakul. Légzőhámából, kötőszövetből és simaizomszövetből áll. A levegő a tüdő vérerekkel átszőtt légzőhámjába a légutakon (orr [száj]üreg, garat, gégefő, légcső, főhörgők) jut le. A tüdő légzőfelülete az evolúció során egyre nagyobb lett. A **kétélűeké** még **zsákszerű**, kis légzőfelületű, ezért bőrlégzés egészíti ki a tüdőlélegzést. A **madártüdő** a legmagasabb fejlettségű gerinces tüdő. A kisebb hörgőcskék apró csövecskékbe, tüdősípokba torkollanak, majd légkapillárisokba (lég-hajszálcsövek) ágaznak el. A gázcseré ezeknek a légkapillárisoknak a felületén (légzőhám) megy végbe. A tüdőkhöz öt-öt légzsák csatlakozik, amelyekből újabb légzsákocskák erednek. Belégzéskor ezek is megtelnek levegővel. Kilégzéskor a légzsákokból a tüdőbe áramló oxigénben dús levegő átszellőzteti azt. Tehát a légzsákok nem a légzőfelületet nagyobbítják meg, hanem levegőraktárak.

1.1. A növények, növényrészek anyagcsere-folyamatainak megfigyelése (hallgatók által elvégzendő kísérletek)

1.1.1. A rügyek légzése

A légzéskor felszabaduló CO₂ mennyiségének változása jelzi a légzés intenzitását. A CO₂ könnyen kimutatható: előzetesen fenolftaleinnel pirosra színezett gyengén lúgos vegyszerrel. A savas jellegű CO₂-nak a légzés intenzitásának függvényében több vagy kevesebb mennyisége semlegesíti a lúgos közeget, amelyet az oldat piros színének eltűnése jelez.

A vizsgálat eszközei és anyagai: fenolftalein (gyógyszertárban kapható, enyhe hashajtóként használt szer), tiszta üvegedény, ami lehet kémcső, orvosságos üveg, üvegpohár; víz; vízforralásra alkalmas edény.

A kísérlet menete: Tegyen fél vagy egész fenolftalein-tablettát egy pohárnyi vízbe, és nagyon erősen forralja fel. A színtelen folyadék kb. negyedóra múlva meggyipiros színű lesz. Egyforma méretű edényekbe öntsön egy-egy gyűszűnyit a piros oldatból. Csúsztasson a folyadék feletti térbe laza vattát, és helyezze a rügyeket annak felületére. Ügyeljen arra, hogy egy-egy edénybe azonos fejlettségű rügyek kerüljenek. Ezután az edényeket zárja le gumidugóval és tartsa azonos hőmérsékleten. Jegyezze fel a beállítás időpontját, majd a teljes elszíntelenedés időpontját is. A fésző rügyek fél-egy óra alatt, a lassúbb anyagcseréjű nyugvó rügyek légzésekor képződő CO_2 pedig ennél hosszabb idő alatt színteleníti el az oldatot.

1.1.2. A csírázó magvak légzése

A légzéskor keletkező CO_2 kimutatására meszes víz (Ca(OH)_2) is alkalmas. Az ugyanis a CO_2 -tól megzavarosodik, mert a reakcióban vízben nem oldódó mészkő (CaCO_3) képződik.

A vizsgálat eszközei és anyagai: 1 db 2 dl-es üveg pohár, üveglap, gáz, égetett mész (CaO), csírázó babszemek.

A kísérlet menete: A kicsírázott babszemeket kösse gézhálóba. Öntsön vizet a pohárba, és keverjen bele egy kevés égetett meszet (CaO). A gézhálót tartalmával együtt rögzítse a meszes víz fölé. Fedje le a poharat az üveglappal. Egy-két nap elteltével a meszes víz megzavarosodik, tehát a légzés végterméke, a CO_2 reakcióba lépett a meszes vízzel, vagyis a Ca(OH)_2 -dal.

1.1.3. Az asszimiláció egyik termékének (O_2) kimutatása

A vizsgálat eszközei és anyagai: üvegtál, üvegtölcsér, kémcső, 2 db egyliteres befőttesüveg, hőmérő, hurkapálca, gyufa, víz, 2-3 db hínár.

A kísérlet menete: Az üvegtálat tölts fel háromnegyedéig vízzel. A szájával vízbe süllyesztett üvegtölcsér alá tegye a hínárnövényeket. A tölcser szárát fedje le kémcsővel és tegye napos helyre, pl. az ablakba. Megfigyelhető az apró oxigénbuborékok felszállása a tölcserben. A kémcsőben összegyűlt oxigén jelenlétét a behelyezett parázsló végű hurkapálca fellobbanása jelzi.

2. A növekedés és fejlődés

A növekedés és a fejlődés egymással összefüggő, bonyolult, többnyire visszafordíthatatlan folyamatok összessége. Végigkíséri az élőlények életét. Mint minden életjelenségre, e kettőre is igaz és ezeknél jól megfigyelhető a szabályozottság. Szoros kapcsolatban vannak az anyagcserével, ami e változások anyagi alapja. Ütemüket belső tényezők és hormonhatás is befolyásolják.

A **növekedés inkább mennyiségi** (méret és tömeg), az **egyedfejlődés pedig minőségi** (differenciálódás) **jellegű változás**. Az utóbbi többnyire magában foglalja az előbbi.

$$\text{egyedfejlődés} = \text{növekedés} + \text{differenciálódás}$$

A **hajtásos növények** sejtjeinek **növekedésében** térben és időben elkülönülő **szakaszok vannak**. Ezek a következők: az **osztódásos növekedés**, a **megnyúlás** és a **differenciálódás**. Az első szakasz az osztódóképes sejtekben megy végbe, a sejtek számának gyarapodásával. A megnyúlási szakaszban hosszanti méretük változik, térfogatuk lesz nagyobb. A sejtek a differenciálódás során nyerik el végleges méretüket, alakjukat, működésük pedig specializálódik. A szakaszok egymás után következnek, de részben fedik is egymást. A szövetekben tehát egyidejűleg vannak osztódó, megnyúló és differenciálódó sejtek. A növények egyes részeinek növekedése eltérő mértékű. Például a gyökér és a hajtás tenyészőkúpján folyamatosan keletkeznek új sejtek, tehát elvben korlátlan növekedésűek. A levelek osztódásos növekedése gyakran már a rügyben befejeződik. Az osztódás előbb a levél csúcsán, majd a levélalapon áll le. A végső levélforma kialakulása után már csak a sejtek tágulásával, megnyúlásával válik nagyobbá a levél.

A virágban sem keletkeznek folyamatosan új sejtek, így az egy bizonyos nagyság elérése után már nem nő tovább. Ezért nevezik korlátozott, illetve korlátozott növekedésű szaporítószervnek. Az évelő fászszerűak sajátos növekedése a vastagodás, amelyet a kambium működése, vagyis egyre táguló körben való osztódása biztosít. (A témával részletesen *A szár szöveti felépítése* c. jegyzetrész foglalkozik).

A **növények növekedésének külső és belső feltételei vannak**. A **külsők**: a **tápanyagok** mennyisége és összetétele, a **víz** (tápanyag is), a **nehézségi erő**, a **levegő** és a faj igényeinek megfelelő **hőmérsékleti érték**. A **fény** inkább gátolja a hajtás növekedését, mint serkenti. A fénynek az erősségén kívül a színe is szabályozó tényező. A sérülések, kártevők is befolyásolják a növény növekedését (pl. a gubacsképzők). A belső feltételek a különböző **növényi hormonok**, az auxinok, a citokininok, a gibberellinek, az abszcizinsav stb. A növényi hormonok hatása kevésbé specifikus, mint az állati hormonoké. A differenciálódás nem a hormonok mennyiségétől, hanem arányuktól függ.

Az **auxinok** szabályozzák az anyagcserét és elsősorban a megnyúlásos sejtnövekedést. Főként a hajtáscsúcsban képződnek. Fontosak a rügyek, a gyökerek fejlődésében, serkentik a kambium sejtjeinek osztódását és a termésérést. A **citokininok** (pl. a kinetin) gyorsítják a sejtosztódást, hatnak a rügyképződésre és a rügy megnyúlására. A **gibberellinek** pedig a virágképződésre és a megnyúlásos növekedésre. Serkentik a csírázást, a termésképzést, befolyásolják annak méretét. Az **abszcizinsav** a nyugalmi állapot és a növekedésgátlás hormonja. Levélhullást, klorofillbomlást is előidézik. Sokszor befolyásolja a virágzást is.

Az **állatok és az ember növekedése szintén a test tömegének és méretének gyarapodását, változását** jelenti. Az egymással kölcsönhatásban alakuló szervek növekedése korlátozott, tehát a szervezet egésze is csak bizonyos életkor, illetve fejlődési szakasz eléréséig növekszik. Üteme az egyes életszakaszokban eltérő és örökléstanilag meghatározott. A **növekedést** az állatoknál is **külső és belső tényezők befolyásolják**. Ilyen **külső tényezők** pl. a **táplálék** mennyisége és minősége, a **hőmérséklet**; a **belső** pedig a különböző **növekedési hormonok** megfelelő termelődése.

A **hajtásos növények egyedfejlődése szakaszos**. A mérsékelt éghajlati övezetben élő növényekre **évi ritmusok is jellemzők**. Egymást váltja a vegetatív, a reprodukzív és a nyugalmi állapot. A fejlődés szakaszait a fázis és a stádium fogalmakkal jelölik. A fázis kifejezéssel az alakbeli változásokat, pl. a csírázást,

a vegetatív fejlődést, a virágképzést, a megtermékenyítést, az embrió- és magképzést. A **stádium** fogalommal pedig az életműködések minőségében bekövetkező változások időszakait. Ilyenek pl.: a vernalizációs (hőszakasz), a fotoperiodikus (fényszakasz) szakasz.

Az egyes **fejlődési fázisok jól felismerhetők**. „A **csírázás** a magvas növények kategóriájában **az embriónális fejlődés heterotróf időszakának utolsó fázisa**, amelyben az embrió a mag tartalékanyagainak felhasználásával kinő a magból és csíranövénné alakul.”³

A **csírázáskor** a sejtosztódás van túlsúlyban. Előbb a gyökérkezdemény, majd a hajtás növekszik. A szervesanyag-szintézis akkor indul meg, amikor a hajtáscsúcs megzöldül. A sziklevek száma és csírázáskori helyzete alapján különböző **csírázástípusok** ismertek. Ezek a **két- és egyszikű, talajban és talaj felett csírázás**. Közülük leggyakoribb a kétszikű, talaj felett csírázás típusa (pl. bab). A mag belsejét kitöltő, tartaléktápanyagban gazdag sziklevek a szárrészen a talaj felszíne fölé emelkednek. Tartaléktápanyagaikat átadják az embriónak, eközben elfonnyadnak. Az első lomblevelek megjelenése után hullanak le.

Talajban csírázó kétszikű típus jelenik meg pl. a lóbabnál, a borsónál, a tölgyeknél, a bokrétafánál. Ezeknél a sziklevek a magban maradnak.

A vöröshagyma képviseli az egyszikű, talaj feletti típust. A sziklevel, mint minden egyszikű növénynél, csak közvetíti a tápanyagot az embrió és a mag táplálószövege között. A sziklevelnek a csúcsa a magban marad addig, amíg onnan a tápanyagokat ki nem szívta. Ilyenek pl. a pázsitfűfélék. A **talajban csírázó egyszikűek** e típusánál a sziklevel a magban marad.

A csírázáshoz is külső és belső feltételek szükségesek. Külső feltételek a környezeti tényezők a víz, a levegő (illetve annak oxigéntartalma), a hő, továbbá a fény és az árnyék váltakozása. Belső: a mag érettsége, csírázóképesége, a csírázást gátló anyagok lebomlása. A környezeti tényezők iránti igény növényfajonként, sőt fajtánként, változatoként is eltérő öröklött tulajdonsága a növényeknek.

A csírázás **irreverzibilis** (visszafordíthatatlan) folyamat. A sziklevekben (kétszikűeknél) vagy a magok táplálószövetében (egyszikűeknél) lévő tartaléktápanyagok (keményítő, zsírok, olajok, fehérjék) enzimek hatására lebomlanak és táplálják a csíranövényt. E folyamat megindulásának, az enzimek aktiválódásának feltétele a víz. Felszívódásának, vagyis a vízmolekulák táplálószövetbe való behatolásának sebessége a maghéj vastagságától függ. A csíra intenzív lélegzéséhez levegő szükséges. Ebben az oxidációs folyamatban szabadul fel az embrió növekedéséhez felhasználható kémiai energia. (Vannak olyan növények is – pl. a gyékényfajok – amelyek oxigénszegény környezetben csíráznak.) A talajlevegő mennyiségén kívül fontos annak oxigénszintje is. Mindkettőt a laza szerkezetű, morzsalékos talaj biztosítja legmegfelelőbben a magvaknak. A növények csírázási hőmérséklete 0–50 °C közötti. A melegebb éghajlatú területekről hazánkba került növények – pl. paradicsom, paprika, sárgadinnye – esetében a csírázáshoz legalább 16–18 °C szükséges. Ha azt akarjuk, hogy terméseik beérjenek, akkor üvegházban (csoportszobában) kell csíráztatni magvaikat, és a szabadföldbe palántaként ültetni ki. Palántának nevezik az egy-két lomblevéllel

3 HARASZTY Á.: *Növény szerkezettan és növényélettan*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1979. 711.

bíró fiatal egyed. A fény és a sötétség váltakozása is hat a csírázásra. A növények egy részénél azonban a fény közömbös tényező, pl. a csattanó maszlagnál. A fagyöngy, a tavaszi hérics, a réti fűzény, a csenkesz stb. magjai igénylik a fényt; a sárgarépa, a saláta, sok hagyma- és dohányfajta stb. magjai annak hatására intenzívebben csíráznak. A borostyán magjainak csírázásához sötétség szükséges.

2.1. A csírázás folyamatának és feltételeinek megfigyelése (hallgatói, otthon is elvégzendő kísérletek)

2.1.1. A csírázás folyamata

A vizsgálat eszközei és anyagai: virágcserepek, virágföld, szike vagy éles kés, bontótű vagy nagy méretű varrótű, fenyőmagok, babmagvak, kukoricaszemek, csonthéjas magvak, kocsányos vagy kocsánytalan tölgy makkjai, datolyamagok stb.

A kísérlet menete: A fenyők közül a fekete fenyő magjai ajánlhatók leginkább csíráztatásra. Októberben csavarjon le a fáról egy-két tobozt. A tobozpikkelyek melegben néhány nap alatt kinyílnak. A kippattanó szárnyas magvakat azonnal szórja szét a cserépbe tett virágföld felszínére, és csak kb. ujjnyi vastagságban takarja be. Folyamatosan tartsa nedvesen. A cserepet fedje le üveglappal úgy, hogy levegő azért jusson be oda. A magvak kb. két hét elteltével kicsíráznak.

Téli csíráztatásra igen alkalmasak a csonthéjasok, a bokrétafa magvai és a különböző makktermések. Gyűjtse össze a dió, a bokrétafa, a közönséges mogyoró, a szelídgesztenye, legkorábban lehullott magvait, illetve terméseit, mert azok csírázási esélye a legjobb. Avarral befedve helyezze el védett helyen, bokor alatt, hogy az eső, a hó, a fagy hatására megedződjenek. December végén, január elején vigye be a csoportszobába és csúcsukkal lefelé néhány centiméter mélyre dugdossa azokat virágfölddel megtöltött cserepekbe. A talajból annyival fedje be a magvakat és a terméseket, hogy a cserép pereméig még maradjon 6–8 cm-es tér. Üveglapot tegyen a tetejére. A megfelelő mennyiségű levegőt az üveglap alá tett ceruzavastagságú fadarab biztosítja.

A **kocsányos** vagy a **kocsánytalan tölgy** makkjai lehullás után azonnal csíráztathatók, mert ún. viaszérésben csíráznak. Nedves talajban egy héten belül hosszú csíragyökereket nevelnek, és hamarosan megjelennek a száron az első lomblevelek is.

A **datolyamagvak** is könnyen csíráznak. Vízszintes bevágásukkal felfelé ültesse el virágföldbe és fedje le üveglappal. Néhány hét múlva megjelennek az első levelek csúcsai, amelyek aztán lassan növekednek. Decemberben ajánlott csíráztatni a **gabonafélék** („Luca”-búza, rozs, kukoricacsövön lévő szemtermések), januárban a **hüvelyesek magvait**. Virágcserepet töltsön meg jó háromnegyedéig virágfölddel. Szórjon szét a felszínén 20–30 db-ot az előbb felsoroltak valamelyikéből. Arasznyi magasra nevelhető a szépen zöldellő növény. További fejlődésének feltételei nem biztosíthatók. A sárgulás, satnyulás előtt tanácsos eltávolítani. Két héten keresztül kétnaponként ültessen 1 cm mélyen 20–20 szem babot, illetve kukoricát a virágcserepekbe. Az utolsó adag elültetése utáni ötödik napon mindegyik cserépből emeljen ki óvatosan egy-egy fejlődő növényt. Azokat növekedési sorrendben tegye egymás mellé és vizsgálja meg. Rajzolja le a látottakat!

2.1.2. A csírázás külső feltételeinek vizsgálata

a) A víz és a fajra jellemző hőmérséklet szükségességének bizonyítása

A vizsgálat eszközei és anyagai: bab, borsó, kukorica, mustármag, négy kisméretű virágcserep, jó minőségű virágföld.

A kísérlet menete: Négy beállításban végezze el a kísérleteket. A jelzett fajoknál azonos fajtájú magokat és azonos minőségű talajt használjon. Töltse meg a cserepeket félig virágfölddel, helyezzen bele a felsorolt fajok magjaiból 2-2 db-ot, takarja be virágfölddel úgy, hogy a cserep pereméig egy ujjnyi hely maradjon még.

A kísérletet a következő feltételek között végezze:

- tartsa szobahőmérsékleten és öntözze;
- tartsa szobahőmérsékleten és ne öntözze;
- tartsa 10°C-nál alacsonyabb hőmérsékleten és öntözze;
- tartsa 10°C-nál alacsonyabb hőmérsékleten és ne öntözze;

Megfigyeléseit két héten keresztül kétnaponként jegyezze fel, és rajzolja le a csíranövénykéik állapotát.

b) A levegő (oxigén) szerepének bizonyítása

b/1. A vizsgálat eszközei és anyagai: bab, borsómagok, kukoricaszemek, víz, étolaj, üvegpoharak.

A kísérlet menete: Az üvegpoharak aljára helyezzen el egy-egy réteg babot, borsót, kukoricaszemet. Öntsön rájuk felforralt és lehűtött vizet úgy, hogy az ellepje a magokat, a szemterméseket. A víz tetejére öntsön vékony réteg olajat. Tartsa szobahőmérsékleten. Mit tapasztal? Mi a jelenség oka?

b/2. A vizsgálat eszközei és anyagai: 2 kémcső, kémcsőállvány, szike vagy éles kés, bontótű, víz, tálca, borsó- vagy babmagok.

A kísérlet menete: Mindkét kémcsőbe tegyen 15-15 borsó- vagy babmagot. Az első öntse tele vízzel. A másodikba annyi vizet öntsön, hogy a magvak éppen a víz felszíne fölé kerüljenek. Folyamatosan pótolja az elpárolgott vízmennyiséget. A negyedik napon vegye ki a magokat a kémcsővekből és szedjen szét mindegyik kémcső tartalmából két-két magot. Hasonlítsa össze a csírák állapotát. Miben és miért különböznek egymástól?

c) A magvak duzzadásának vizsgálata

c/1. A vizsgálat eszközei és anyagai: mérleg, mérőhenger, szűrőpapír, borsómagvak.

A kísérlet menete: Mérjen le 10 db borsómagot táramérlegen. Öntsön pontosan 50 ml vizet egy 100 ml-es mérőhengerbe. A lemerített borsómagvakat tegye bele a vízbe, és olvassa le a víz térfogatváltozását. 24 órán keresztül hagyja a magvakat vízben, s ezután olvassa le ismét a térfogat mértékét. Vegye ki a borsószemeket, szűrőpapír között óvatosan szárítsa meg, és mérje meg a tömegüket táramérlegen. Mit tapasztal? Magyarázza meg a jelenség okát.

c/2. A vizsgálat eszközei és anyagai: babmagok, víz, vékonyfalú befőttesüveg, tálca.

A kísérlet menete: Az üveget töltse meg a nyakáig babbal, és annyi vizet öntsön rá, hogy az ellepje a magokat. Ezután zárja le az üveget. Állítsa tálcára és hagyja szobahőmérsékleten két napig. Figyelje meg, hogy mi történik. Mi a bekövetkezett jelenség oka?

2.1.3. A csírázás belső feltételeinek vizsgálata

a) A csírázást gátló anyagok hatása.

A húsos, nedvességben gazdag valódi és áltermések pl. tök, uborka, paradicsom, alma stb. csírázást gátló anyagokat tartalmaznak, ezért a magok a termésen belül azonnal nem csíráznak ki, csak a termés elszáradása után. Elültetésük előtt le kell mosni a magokról a csírázást gátló vegyületeket.

A vizsgálat eszközei és anyagai: üvegtálkák, szűrőpapír, olló, citromfacsaró, kés, víz, citrom, alma- és paradicsompép, almaszeletek, mustár- vagy babmagok.

a/1. A kísérlet menete: Az üvegtálakat bélelje ki szűrőpapírral. Nedvesítse meg és tartsa nedvesen a szűrőpapírt: az első edényben vízzel, a másodikban paradicsompéppel, a harmadikban almapéppel átitatva. Helyezzen mindegyikre 15-15 db mustár- vagy babmagot, majd fedje le az edényeket. A magvak csírázásának állapotát három-négy nap múlva hasonlítsa össze. Mit tapasztal? Mi a különbség oka? Észrevételeit írja le.

a/2. A kísérlet menete: Tegyen 4 üvegtálkába szűrőpapírt. Tömény citromlével nedvesítse meg az első, a második, harmadik és a negyedik szűrőpapírt pedig a citromlé 10, 25, 50-szeres hígításával. A szűrőpapírokra tegyen 10–15 db mustármagot, és figyelje meg a csírázás folyamatát néhány napig. Mit tapasztal? Észrevételeit írja le és magyarázza meg.

a/3. A kísérlet menete: Két üvegedényt béleljen ki szűrőpapírral. Helyezzen bele azonos számú babot vagy mustármagot. Nedvesítse meg a szűrőpapírt. Az egyik edénybe tegyen közvetlenül a magvak mellé néhányat az almaszeletek közül. Helyezze az edényeket sötét helyre. A magvak által felvett vizet folyamatosan pótolja. Négy-hat nap múlva figyelje meg, mi történt a magvakkal. Magyarázza meg a jelenség okát!

b) A feltételezett csírázást gátló anyagok kimutatása

A vizsgálat eszközei és anyagai: kisebb nagyságú érett sütő- vagy úritök, 4 db üvegtálka, vatta vagy szűrőpapír, éles kés, víz, 4 db kör alakú ragasztópapír.

A kísérlet menete: Ragasszon körcímkéket a tálkákra és számozza meg azokat 1–4-ig. A tököt hosszában vágja ketté. A kabaktermés belső, magokat tartalmazó, nedvdús részét vegye ki és ossza négy egységre. Az első egységből ne szedje ki a magokat, hanem úgy, ahogy kiemelte a tökből, helyezze az 1. számú tálkába. A 2. számút bélelje ki vízzel megnedvesített vattával vagy szűrőpapírral. Erre helyezze a mosatlan magvakat. A másik két tökdarabból vegye ki a magokat és alaposan, bő vízzel mossa le azokat. A megmosott magok felét helyezze a 3. tálkába, vízzel átnedvesített vattára. A 4. számú edényben lévő vattát (szűrőpapírt) a tök puha részéből kinyomott lével nedvesítse át, és erre tegye a megmosott magvakat. Jegyezze fel, hogy a számokkal jelzett üvegedények melyikére milyen anyagot öntött. Ezeket folyamatosan pótolja. Figyelje hét napon át a magvakat, tapasztalatait naponta jegyezze fel. Melyik edényben csíráztak ki a tökmagok és miért?

A mérsékelt éghajlati övezetben, így a hazánkban élő **növényeknek** – mint azt már tudják – a **növekedése és fejlődése szakaszos**, illetve az évszakváltozáshoz való alkalmazkodásnak megfelelően meghatározott **ritmust** mutat. A kedvezőtlen környezeti feltételű időszakokban, nyáron vagy késő ősszel és télen többségük nyugalmi állapotba kényszerül. Mesterséges körülmények között kimozdíthatók kényszernyugalmi állapotukból és télen is virágzásra, levélbontásra serkenthetők. Ezt az **élettani jellegű műveletet** nevezik **hajtatásnak**.

Azok a növények, illetve **növényi részek hajtathatók, amelyeknek** raktározó alap- és más szöveteiben **sok tartaléktápanyag van**. Ilyenek a fák, cserjék ágai, gallyai, vesszői (ezeknél a szár bőrszövete, kéregalapszövete, hancs- és farésze stb. is lehet tápanyagraktár), valamint a különböző gyökér- és szármódosulatok. (Lásd a *Növényi szövetek* c. fejezetben.) A raktározott egyszerű és összetett szénhidrátok, fehérjék enzimikus hidrolízissel lebomlanak, ezért kell **víz** a hajtatáshoz. A szállítószövet vízszállító csöveiben eljutnak a rügyekhez, és felhasználódnak a levelek és virágok kibontakozásához. Tehát a **hajtatásnak is vannak belső és külső feltételei**.

Belső feltételek az előzőekben felsorolt **tartaléktápanyagok, enzimek**, valamint a növény, illetve növényi rész „**pihentségi állapota**”. A nyugalmi állapot a növényeknél szükségszerű, több „fokozatú”. A **mélynyugalomban** a gátló vegyületek hatnak. Ebből kedvező külső tényezők megléte esetén sem mozdíthatók ki a növények. A mélynyugalom időtartama függ a növényfajtól, az öröklöttségtől, az életkortól és a környezettől. Ezt követi a **kényszerpihenő**, a **kényszernyugvás** állapota. Ekkor a növekedést és a fejlődést csak a kedvezőtlen környezeti hatások akadályozzák. Ebben az állapotban már hajtathatók a növények, növényrészek.

A hazai erdők, parkok, kertek hagymás-gumós kora tavaszi növényei közül soknak a téli pihenőn kívül van nyári (száraz) pihenő időszaka is. Ilyenek pl. a hóvirág, a fürtös gyöngyike, a sáfrány, a keltikék, a tüdőfűvek, a jácint, a tulipán. Ezek ősszel meggyökeresednek, leveleik az avar szintjéig nőnek, bimbót képeznek.

A **hajtatás külső feltételei** a megfelelő mennyiségű **víz** és annak felvételéhez szükséges optimális **hőmérséklet**. A hajtatás **helyei** az ablakköz, az ablakpárkány, a nem túl meleg és világos helyiség, a természet-sarok stb. Fás szárú növényeink többségének **hajtatási ideje** január, február, március, a lágyszárúakénak pedig január, február. A százszorszép, a salátaboglárka pedig már ősszel is virágoztatható.

Komplex hajtatás az, amikor a növényrész gyökeret fejleszt, szárat növeszt, levelet hoz és virágzik is. Erre alkalmas pl. a sárgarépa, a petrezselyem, a karalábé, a burgonya, a vöröshagyma.

2.2. Növényrészek hajtatasának megfigyelése (hallgatói, tanórán és otthon elvégzendő kísérletek)

2.2.1. Vékony gyökerű növények hajtatása

A vizsgálat eszközei és anyagai: tavaszi kankalin, százszorszép fajok, gyermekláncfű, mocsári gólya-hír; mély tál vagy tálak; víz.

A kísérlet menete: ezeket a növényeket a talaj átfagyása előtt nagy földlabdával emelje ki a kertből. Helyezze el egy nagyobb vagy több kisebb tálban, és az edényt a földlabda háromnegyed részéig töltsen tele vízzel. Az elpárolgott vizet folyamatosan pótolja. Helyezze a növényeket napos helyre. A felsorolt fajok már november végén, december elején virágot hoznak.

2.2.2. Hagymás növények hajtatása

A vizsgálat eszközei és anyagai: kikeleti hóvirág, nárcisz, tavaszi tözike, tulipán, jácint hagymái; 5 cserép, virágföld, öblös üveg, láda, homokos talaj, konyhasó, víz, faszéndarabok.

A kísérlet menete: A kikeleti hóvirág és a tavaszi tözike hagymáját nyáron ültesse ki a kertbe. Ebben az évszakban kevés öntözést igényelnek. Augusztus végén – szeptember elején a cserepekbe tegyen virágföldet. Azokba a cserép nagyságától függően helyezzen el 6–10 db hagymát, de még hagyja kint a kert árnyékos helyén. Öntözze bő vízzel. A fagyok beálltával takarja le levelekkel a cserepeket, és tegye fűtetlen helyiségbe, erkélyre, ablakközelbe. A hagymás növények előneveléséhez ugyanis hideghatás szükséges. Az előnevelt, jól begyökeresedett növényeket januárban állítsa 12–14 °C-os szoba napos részébe. Rendszeresen öntözve 10–16 nap múlva már virágzik a hóvirág és a tözike.

A tulipán, a jácint, a nárcisz tél végi virágoztatásához korai fajták jól fejlett, teljesen ép hagymáit használja. Augusztusban ültesse ezeket olyan cserépbe, amelyben homokos talaj van. A jácinthagymákat egyesével, a tulipán- és nárciszgagymákat kettesével-hármasával. A hagymák csúcsa a cserép peremével legyen egy magasságban. A cserepeket tegye egy nagyobb ládába. A köztük lévő helyet is töltsen ki homokkal. A hagymák, illetve a cserepek tetejére is tegyen belőle kb. 20 cm-es vastagságban. Alacsony hőmérsékleten, kertben, erkélyen tartsa a hajtás megkezdéséig. Az így elvermelt hagymákat december–január hónapokban szedje fel. A homok letisztogatása után jól öntözze be azokat állott vagy langyos vízzel. Tartsa meleg és sötét helyen. A sötétséget vizes cserépnek, később pedig papírzacskónak a hagymákat tartalmazó cserepekre való borításával lehet biztosítani. A virágkocsány megjelenése után a növények szűrt fényt igényelnek. A hajtás megkezdésétől számított két-három héten belül szirmot bontanak a növények.

A jácinthagyma virágoztatható üvegben is. Az e célra készült öblösszájú edénybe októberben–novemberben helyezze el a hagymát. Tegyen bele kevés vizet, abba pedig késhegynyi konyhasót és egy-két darab faszenet. Az utóbbiak megkötik a bomló anyagokat, így nem lesz poshadt a víz. Tartsa 6–8 hétig sötét, hűvös helyen. Ez alatt az idő alatt behálózza az üveget a hagymák gyökere. Ezután vigye meleg helyre. A bimbó megjelenéséig védje papírsüveggel a napsugarak ellen. Ezután már „süveg” nélkül helyezze szűrt fényű világos helyre.

2.2.3. Egyéb évelők hajtatása

A vizsgálat eszközei és anyagai: szívvirág, kökörcsinfajok, tavaszi sáfrány, nőszirm; virágcserepek, virágföld.

A kísérlet menete: a hajtatásra szánt töveket, hagymagumót (tavaszi sáfrány), gyöktörzset (nőszirm), tápdús talajban, cserépbe ültetve tartsa. Januárban-februárban vigye előbb mérsékelt fűtött 6–8 °C-os, majd melegebb 12–16 °C-os helyre. Öntözze rendszeresen és alaposan állott vízzel úgy, hogy a cserépben lévő talaj átnedvesedjen.

2.2.4. Fák és cserjék hajtatása

A vizsgálat eszközei és anyagai: fás szárú növények ágai, gallyai, 3–5 literes üvegek, faszén, metszőolló, víz.

A kísérlet menete: a hajtatásra fás szárú növényekről virág- illetve vegyesrügyet bőven tartalmazó ágakat válasszon ki, lehetőleg a korona felső részéről. Ha ez nem oldható meg, akkor az elérhető ágak közül a felfelé állókat kell lemetszeni. A levágott ágak az előzőekben részletezett okok miatt ne legyenek a mutatójánál vékonyabbak és 1 méternél rövidebbek. Orgonánál, mandulánál, almánál az ágak, gallyak vastagsága érje el a 3,5 cm átmérőt. A bokrétafának csak az 5–6 cm vastag, legalább 3 m-es ága fejleszt szép virágzatot.

Első teendő a hajtatáshoz szükséges optimális külső feltételek biztosítása. Az ágakat, gallyakat ajánlatos legalább az első napokban naponta többször finoman vízzel megpermetezni és 14–16 °C-os helyiségben tartani. A vízfelvétel megindulása után már szobahőmérsékleten, 18–20 °C-on folytatható a hajtatás. A víz felvételét úgy gyorsíthatja, ha az ágakat, gallyakat ferdén levágva nagy, síma felületeket alakít ki. A vízfelvételre alkalmas felület növelése céljából az ágak alsó részén a parabört 3–4 helyen 10–12 cm nagyságban hosszában hasítsa fel a fatestig. A parabört 5–6 cm hosszúságban fejtse le az ágról. A hajtatóedény űrtartalma legyen minél nagyobb. A legalkalmasabbak a 3–5 literes üvegek. A hajtatóedénybe természetesen ezeknél is célszerű elhelyezni faszéndarabokat. Az ágakat a vízbe helyezés előtt szokták melegvizes fürdetéssel kezelni. Ez azt jelenti, hogy azokat 30–35 °C-os vízben tartják 12–16 órán át.

Hajtatás előtt vágja le az oldalágakat, és tördelje le a felesleges rügyeket. Az ezzel járó sebzés serkenti és gyorsítja a virágzást.

Mérsékelt meleg hajtatással, gyengén vagy közepesen fűtött, 12–16 °C-os helyiségben, ablak közelében a korán virágzó fás növények hajtathatók. Ajánlott fajok pl. a közönséges mogyoró, a húsos som, az aranyvessző, a korai juhar, a fűzfajok, a gyertyán, a közönséges nyír.

Meleg hajtatással, tehát fűtött helyiségben, optimálisan 18 °C-on (még 20 °C is jó) azon fák és cserjék virágoztathatók, amelyek április második felében és májusban-júniusban nyílnak. Ajánlott fajok: a keserű- és a rózsamandula, a nemes szilva, a cseresznye, a japán cseresznye, a közönséges meggy, a vadrkörte, a vadalma, a fehér akác, a fekete bodza, a közönséges orgona.

Gyümölcsfáink ágai eredményesen hajtathatók, de kímélni kell őket! Csak olyan ágakat vágjon le, amelyeket a korona metszésekor, illetve alakításakor amúgy is el kell távolítani.

A **többsejtű állatok egyedfejlődésére** is az egyirányúság, a folytonos, irreverzibilis alaki és működési változások, a szakaszosság és a ritmusosság jellemzők. **Két fő szakasza van:** az **embrionális** és a **posztembrionális**. Az előbbi a megtermékenyítéstől (szűznemzés esetén a meg nem termékenyített petesejtől) a peteburok vagy a tojás elhagyásáig, illetve a megszületésig tart. Ennek **szakaszai** a **barázdálódás**, a **gasztruláció** (szedercsíra, hólyagcsíra, bélcsíra, vagy csak az első ill. a második állapot) **létrejöttének folyamata** és a **szöveti-szervi differenciálódás**. Ez utóbbi szakaszban a külső (ektoderma), a középső (mezoderma), és a belső (entoderma) csíralemezekből kialakulnak a különböző szervek és azok szövetei.

A **posztembrionális fejlődés** az embrionális szakasz végétől a halálig tart. Az egyedek növekedése és fejlődése az ivarérettség eléréséig intenzív. Anyagi alapját az anyagcsere építő folyamatainak túlsúlya biztosítja. Az ezután következő ún. **kifejlett vagy stagnáló szakaszban** egyensúlyban vannak az építő és a lebontó, tehát az asszimilációs és a disszimilációs folyamatok. Ez az utódnemzés időszaka. Az **öregedési szakaszban** a lebontás dominál, a disszimiláció mértéke nagyobb, mint az asszimilációé. Csökken az állati szervezet élet-, teljesítő-, ellenálló-, és alkalmazkodóképessége. Az öregedés és a lehetséges maximális élettartam genetikailag majdnem teljesen meghatározott.

A **posztembrionális fejlődésnek** többféle **formája** ismert.

A **közvetlen fejlődésű** állatok utódai már e szakasz kezdetén hasonlóak szüleikhez. Ez jellemző az édesvízi és a szárazföldi csigák nagy részére, a pókokra, a halak többségére, a hüllőkre, a madarakra és az emlősökre.

Az **átalakulással fejlődőknél** a petékből lárvák lesznek. Aszerint, hogy a lárvák további egyedfejlődése hogyan alakul, **két fő csoport** különíthető el: a **tökéletlen** vagy fokozatos átalakulással, illetve a **teljes átalakulással** fejlődőké.

A **tökéletlen átalakulással fejlődőket** a szakirodalom egy része további csoportokra bontja, a **kifejlésre** és az **átváltozásra**. **Kifejléssel** fejlődnek pl. a sáskák, a szöcskék, a tücskök, a poloskák. A lárvák alakilag hasonló az imágóhoz (kifejlett állat), de mérete kisebb annál, esetleg valamelyik szerve hiányzik. Fokozatos növekedés, tökéletesedés jellemzi. Az **átváltozással** fejlődők lárvái külsőleg szintén hasonlítanak a szüleikhez, de vannak olyan lárvakori szerveik, amelyek a kifejlett egyedeken már egyedekről már hiányoznak. Fejlődésük idején alaki változáson is átmennek. Ilyen típusú átalakulás van pl. a szitakötőknél, a vízcigáknál, a kagylóknál, a kételtűeknél.

A **teljes (tökéletes) átalakulással** fejlődő élőlények lárvái hormonhatásra bebábozódnak. Abból fajra jellemző időtartam után bújik ki a kifejlett, ivarérett rovar. A lárvák külső megjelenésükben, mozgásukban, élőhelyeikben, életmódjukban, táplálékaikban is eltérnek a szülőktől. A bogarak, a lepkék, a darazsak, a hangyák, a méhek, a szúnyogok, a legyek stb. fejlődési típusa ilyen.

A különböző rendszertani csoportokba tartozó állatok **lárváinak nevei** különfélék. Például: a lepkéké hernyó, a legyeké nyű vagy kukac, a cserebogaraké pajor vagy csimasz, a cincéreké pondró, a pattanóbogaraké drótféreg, a békáké ebihal.

A **bábtípusok** is többfélék. Például: szabad bábjuk van a bogarak rendjébe tartozó fajoknak (a lábak és a szárnyak elállnak a testtől, mozgathatók), fedett vagy múmiabábjuk a lepkéknek (kitinburkán kirajzolódnak a test körvonalai), tonnabábjuk a legyeknek (sem a végtag, sem a fej nem különül el).

3. A mozgás

A mozgás az anyagcserével igen szoros kapcsolatban lévő, minden élőlényre jellemző életjelenség. A **passzív** és az **aktív** mozgás között az az alapvető különbség, hogy a **passzívhoz** az energiát a külső környezet valamelyik tényezője, pl. víz, levegő (szél) biztosítja. Tehát **ez nem életjelenség**. Ennek ellenére fontos és egyes élőlénycsoportok életében néha meghatározó. A szél megmozgatja például a levelet, ezzel fokozza a párologtatást, a légáramlás szállíthatja a virágport; a szél és a víz is továbbviheti a spórákat, terméseket, magokat. Az erős szél letördelheti, a viharos pedig kidöntheti a fás szárú növényeket. A **passzív mozgás** tehát **lehet hely- és helyzetváltoztató** egyaránt.

Az **aktív mozgás** energiaforrása az élőlény energiatartaléka. Ez a mozgástípus lehet **belső** és **külső**. Az előbbi a szervezeten belüli, az utóbbi pedig az élőlény **hely- és helyzetváltoztatása**. **Belső** pl. a sejten belüli mozgások, az anyagcsere során a szervezet szervei, anyagai, illetve néhány sejttípus (hímivar-sejt, fehérvérsejt) által végzetek.

Külső helyváltoztató mozgásra az egysejtű növények és állatok, továbbá a többsejtű állatok képesek. Az **egysejtűek plazmamozgással** (amőboid), **csilló-** és **ostormozgással** változtatják helyüket, a **többsejtűek** pedig **izommozgással**. A kültakaró és a simaizomszövet összenövésével létrejött **bőrizomtömlővel** haladnak a gyűrűsféreg (pl. földigiliszta), a puhatestűek stb. A **harántcsíkolt izomszövet (vázizom)** a törzsfajlás során az ízeltlábúaknál jelent meg először. Az e törzsbe tartozóknál még külső kitin alapanyagú vázra, a gerinceseknél már belső porcos, illetve csontos vázra tapad. Az izommozgás kémiájával és az emlős mozgásszervrendszerrel az anatómia-élettan tantárgyban már foglalkoztak, ezért ezekre e jegyzetben nem térünk ki.

A **rák**ok végtagjai módosultak. Csápjaikkal érzékelnek, állkapcsi lábaik a táplálkozásban játszanak szerepet, járólábaik (a folyami ráknál öt pár) közül az első pár ollóvá alakult. Ezzel a táplálékot fogják meg, a többivel helyüket változtatják. Potrohlábaikkal úsznak, szállítják utódaikat.

A **rovarok** tor részéről **három pár ízelt láb** ered. Izomzatuk önálló. **Részei** a csípő, a tompor, a comb, a lábszár, a lábfej (lábtő). Ezek mozgékonyan kapcsolódnak egymáshoz. A rovarok lábai az életmódnak és/vagy a táplálkozásnak megfelelően sokfélék. Például a szöcskéknek, sáskáknál a 3. pár láb fejlett izomzatú **ugróláb**. Az imádkozó sáska elülső **fogólába** a **ragadozó láb** típusa. Ezen a lábszár és a lábfej kinyitható, összezárható, a zsákmány megragadására módosult. A háziméh hátulsó lába **gyűjtőláb** (tisztogatóláb). Lábszárán „kosár”, a lábfejen pedig „kefe” alakult ki. Ez utóbbival söpri bele a kosárba a kitinszőreire tapadt virágpor szemeket. Gyakran láthatók az ablaküvegen, falon, mennyezeten mozgó legyek, darazsak stb. Ezt az utolsó lábfejen lévő tapadókorong és karom teszi lehetővé.

A **rovarok szárnyai nem végtagok**, hanem a torlemezeket összekötő kitinhártya kitüremkedései. Mozgásukat csak közvetve biztosítják a tor háti és hasi lemezei között feszülő repülőizmok. A szárnyak felülete, minősége, száma, a repülési sebesség, a másodpercenkénti szárnycsapások száma fajra jellemző értékek. A poszméh pl. 240-et, a házilégy 200–330-at, egyes szúnyogfajok 1000-nél is többet csapnak szárnyaikkal másodpercenként. A jellegzetes „poszméhdöngés”, „légyzümmögés”, „szúnyogzizzenés” nem a felsorolt állatok szervei által kibocsátott hangok, hanem a szárnycsapásaikkal keltett levegőrezgés hangjai. (A tücsköknek, szöcskéknél, sáskáknál viszont vannak **hangadó szerveik**. Az előbbi kettőnél a szárnyakon, a sáskáknál pedig a hátsó combon és az elülső szárnyon helyezkednek el. Működési elvük azonos. A hangot egy fogazott kitinléc és egy másik, általában sima kitinfelület összedörzsölése kelti.)

A **kagylók lába** a héjak között kinyújtható szerv. Ezzel az állat lassan halad, szinte csak „vonszolja” magát a vizek aljzatán. Sok fajuk úgy is rögzíti testét a talajban, hogy abba belemélyíti lábát.

A **szárazföldi csigák** testének alsó felülete sima **csúszótalp**, amellyel hullámszerű mozgással „siklanak”. A mászás feltétele a talp feszült állapota illetve az, hogy megfelelő nagyságú felülettel érintkezzen, tapadjon az aljzatra. A tapadást az állat által elválasztott nyálkaréteg biztosítja. Valójában ezen a nyálkaszalagon halad a csiga.

A **gerincesek csontvázának fő részei** a fejtörz (koponya), a törzsváz és a végtagok, amelyek függesztőövvel – vállöv, medenceöv – kapcsolódnak a törzshöz.

A **halak** váza fejre, törzsre, farokra tagolódik. Egész testük részt vesz a mozgásban. **Végtagjaik az úszók** (lágyszőrök, amelyeket úszósugarak merevítenek). Páratlan úszók a hát-, a farok- és a farok alatti. Közülük az előrehaladásban a farokúszó a legfontosabb. Párosak a mell- és a hasúszók, amelyek a test egyensúlyozásában, kormányzásában jelentősek. A halak úszása kigyózó mozgás. Az izomzatukban lévő szálkák az izomrostok közötti kötőszövet elcsontosodásai, tehát nem tartoznak a vázrendszerhez.

A **kételtűeknek jelent meg a törzsfejlődés során a szárazföldi ötujjú végtagtípus**. A fejlettebb gerinces állatok végtagjainak alapszerkezete lényegében megegyezik a kételtűekével. Az egyes csontok mérete, egymáshoz viszonyított helyzete és ezáltal a végtag alakja a környezethez (élőhelyhez) való alkalmazkodás során sokféleképpen módosult. Néhány példa következik erre az emlősök köréből: a talajban élő **vakond** mellső lába ásólábbá, a vízi életmódú **bálnaké, delfineké** úszószerű evezővé alakult. A hátsó pár végtagjuk elcsökevényesedett. Náluk a nagy csöves csontok rövidültek meg, az ujjak nem különülnek el. A vízben úszó, de a szárazföldön is előrehaladni képes **fókaalakúak**nál az ujjpercek megnyúltak, egyéb végtagcsontok pedig megrövidültek. Az ujjak között legyezőszerűen szétnyíló úszóhártya van. A **denevérek**nél az igen hosszú ujjak között feszül a repülőhártya. A **patások** lábain azok az ujjak redukálódtak, amelyek nem érintik a talajt.

A **farkos kételtűeknek** és a **hüllőknek** tolólábaik vannak. Ezek nem tudják tartósan a felszín fölött tartani az állat testét, a **madarak** és az **emlősök** járólábai igen. A békák (**farkatlan kételtűek**) hátsó végtagpárja ugróláb, a madarak mellső végtagja a szárny. A **kígyók** és a **látatlan gyíkok** végtagjai elcsökevényesedtek. A kígyók

között vannak olyan fajok, amelyek harmonikaszerű, vannak, amelyek oldalirányú hullámmozgással, és olyanok is, amelyek oldalirányú tekeredéssel, illetve egyenes vonalú mozgással haladnak előre.

4. A növények ingerlékenysége

Nemcsak az állatok, hanem a növények is képesek környezetük változásaira, ingereire válaszolni. Külső ingerek hatására a növényi szervezetben bonyolult reakciósorozat indul el, amely ingerválaszban, pl. mozgásban fejeződik ki. Az inger tehát nem energiaforrása a válasznak!

A prokarióták és az egysejtű növények helyváltoztató, a többsejtű, helyhez kötöttek pedig helyzetváltoztató mozgást végeznek.

A **taxisok** – pl. foto-, kemotaxis – fény, illetve kémiai inger által irányított **helyváltoztató mozgások**. Kemotaxis pl. a hímivarsejtek mozgása a petesejt felé, az utóbbi által kibocsátott anyag érzékelése után.

Aktív helyzetváltoztató növényi mozgások a tropizmusok és a nasztiák.

A **tropizmusoknál** kapcsolat van az inger iránya és a növényrész elmozdulásának iránya között, a **nasztiáknál** nincs. Az **előbbieknél mindegyike növekedési mozgás**, tehát a mozgást végző szerv növekedésének megváltozásán alapszik (a növekedési hormonok más helyen halmozódnak fel). A **nasztiák egy része növekedési, más része pedig turgormozgás**. Ez utóbbinak az alapja a növényi sejtek, szövetek vagy szervek víztartalmának hirtelen megváltozása.

A **tropizmus lehet pozitív és negatív** aszerint, hogy a szerv elmozdulásakor közeledik vagy távolodik az ingerforrástól. A **kiváltó inger szerinti típusai**, a foto-, a geo-, a kemo-, a hidro- és a tigmotropizmus.

A **fototropizmus** ingere a fény. A hajtások pozitív fototropizmust mutatnak, tehát a fény felé hajlanak, görbülnek. Ez azért alakul ki, mert a megvilágítás felőli oldalon a növekedés sebessége csökken, az ellentétes oldalon fokozódik. Ez a folyamat az auxin (növekedési hormon) mozgásán alapszik. A fény felőli oldalról ugyanis az árnyékosba vándorol, és ott fokozza a sejtnövekedést.

A **geotropizmust** a **Föld nehézségi ereje** váltja ki. A növények főgyökere a Föld középpontja felé nő, pozitív geotropizmus jellemzi. A kétszikűek elsőrendű gyökérágai és az egyszikűek mellékgyökerei a nehézségi erő irányával többnyire hegyesszöget zárnak be. A másod-, harmad- stb. rendű gyökérágak érzéketlenek a tömegvonzásra. Ez a magyarázata annak, hogy a növények gyökerei minden irányban, többnyire egyenletesen nőnek. A növények föld feletti főhajtásai negatív geotropizmust mutatnak, vagyis a nehézségi erővel ellentétes irányban növekednek. Az oldalágak viszont hegyesszöget alkotnak a nehézségi erő irányával. A geotrópos ingert az ún. „sztatociszták”, könnyen mozgó keményítőszemcsék fogják fel. A szerv térbeli helyzetének megváltozásakor ezek elmozdulnak.

A **kemotropizmus** kémiai ingerek hatására bekövetkező pozitív vagy negatív irányú mozgás. Például a lucernán élősködő aranka magjából kikelt csíranövény megérzi a lucernából áramló gázokat és abba az irányba kezd nőni. Ha elérte, akkor szívógyökereket növeszt a lucernába.

A **hidrotropizmus** a kemotropizmus egy formája, amelynél a víz az ingerforrás. A növények egy részénél a gyökerek képesek a jobb vízellátottságú hely felé nőni, így eltérnek a nehézségi erő által meghatározott iránytól.

Tigmotropizmusról akkor beszélünk, ha a növényrész görbüléssel válaszol a „támaszték” érintésére, nyomására. Sok növény a szára mellé szúrt támasztékra rátekeredik. Az érintkezéssel ellentétes oldal indul gyors növekedésnek, ezáltal a külső oldal túlnő a belsőt. Így módon létrejön a görbülés, tekeredés.

A **nasztiás mozgások típusai** a kiváltó inger alapján: termo-, foto-, szeizmo-, tigmonasztiák.

A **termonasztia** a hőfokváltozásra, a **fotonasztia** a fényerősség változására bekövetkező mozgások. A hőmérséklet emelkedésekor a szíromlevelek felső oldalán, csökkenésekor az alsó oldalán erőteljesebb a növekedés. A tulipán, a sáfrány virágai ezért melegben kinyílnak, hűvösben bezáródnak. A fészkesek, egyes kaktuszok virágai, fény hatására kinyitódnak, erősségének csökkenésekor pedig becsukódnak.

A **szeizmonasztiát** különböző mechanikai hatások váltják ki, pl. rázás, ütés, érintés, sebzés, a **tigmonasztiát** pedig valamely növényrésznek, pl. a kacsnak érdes felülettel való találkozása. Legismertebb a **mimóza** leveleinek **szeizmonasztiája**. Ingerléskor az ingerhullám igen gyorsan tovaterjed a levélkéken, a levélgerincen, és fokozatosan minden levél lekonyul illetve összecukódik. Ez, mint azt már jeleztük, **turgormozgás**. A sejtekből a víz a sejtközi járatokba áramlik, ezért csökken belső feszültségük, a turgoruk, és a sejtek egymás után „összeesnek”.

A **növényi kacsok** többsége (pl. földitöknél, borsónál) szilárd testhez érve **tigmonasztiás** mozgást végez. A görbülés elején szerepe van ebben a kacs két oldala közötti eltérő turgornak és az eltérő növekedési sebességnek egyaránt.

4.1. A növények helyzetváltoztató mozgásainak megfigyelése (hallgatói, tanórán elvégzendő kísérletek)

4.1.1. Pozitív és negatív geotropizmusok megfigyelése

A vizsgálatok eszközei és anyagai: parafadugók, gombostűk, csírázó borsó- és babszemek, babpalánta, virágcserep, virágföld, géz, befőttesüveg, 2 kistányér, víz.

a) A kísérlet menete: csírázó borsó- és babszemeket szúrjon fel gombostűvel parafa dugókra úgy, hogy gyököcskéik különböző irányba álljanak. A parafa dugókat tegye a vízzel telt kistányérokba és

borítsa be őket a 2–3 literes befőttesüveggel. Figyelje meg 3 nap múlva a gyökércsúcsok helyzetét! Mit tapasztal? Milyen irányban nőnek minden esetben a borsó- és babszemek gyökércsúcsai? Miért?

b) A kísérlet menete: szépen fejlett babpalántát ültessen cserépbe. Kösse át többszörösen gézzel úgy, hogy a virágföld a cserép lefelé fordításakor se hulljon ki. Függessze fel a lefelé fordított cserepet a gáz segítségével. A palántát normál helyzetben öntözze. Mérje meg naponta a szár elhajlásának mértékét. Jegyezze fel, hogy hány nap telt el addig, amíg a növény szára ismét visszahajlott a napfény felé!

4.1.2. A fototropizmus megfigyelése

A vizsgálat eszközei és anyagai: kis cserepek, virágföld, kukoricaszemek, babmagok, fekete kartonból készített „süvegek”, víz.

A kísérlet menete: tegyen az egyik cserépbe babmagokat, a másikba kukoricaszemeket. Öntözze a virágföldet. A csíranövényke hajtáscsúcsának megjelenésekor fedje be a cserepeket a „süvegekkel”. A palántákat addig nevelje a „süvegek” alatt, amíg azok kb. 2 cm nagyságúak lesznek. Ezután helyezze el a függőleges helyzetben álló növénykéket – „süveg” nélkül – az ablak közelében. Nézze meg 2 nap múlva a növénykéek hajtásának helyzetét. Mit tapasztal? Mi a jelenség magyarázata?

4.1.3. A tigmotropizmus megfigyelése

A vizsgálat eszközei és anyagai: virágcserep, virágföld, futóbabpalánta, vékony léc, víz.

A kísérlet menete: a futóbabpalántát ültesse a cserépbe. Szúrja le mellé a lécet. 4–5 nap múlva figyelje meg a változást! Mi a jelenség magyarázata?

4.1.4. A foto- és a termonasztia megfigyelése

A vizsgálatok eszközei és anyagai: virágzó százszorszép, hajtatott tulipán, hűtőszekrény, 2 üvegpohár, víz, 2 nagyobb üvegedény.

a) A kísérlet menete: a hajtatott tulipánt tegye meleg helyiségbe. Ha a virág kinyílt, akkor tegye 5–6 °C-os helyre, pl. hűtőszekrénybe. Januárban–februárban ablak közé téve is megfigyelhető a változás: már 1–2 óra elteltével bezárul a virág. Csukott virággal ellenkező irányú virágmozgás is megfigyelhető. Tegye azt lámpa közelébe: 1–2 óra múlva a virágszirmok kitárulnak. Magyarázza meg a jelenséget!

A fény, illetve a sötétség is hat a tulipán virágnyitására és -zárására.

b) A kísérlet menete: egy cserepes, virágzó százszorszépet tegyen sötét helyre, egy másikat pedig erős fényre. Milyen változást tapasztal 1–2 óra múlva a fészekvirágzatnál?

II. GENETIKA

A **genetika**, vagy más néven örökléstan, az **élőlények öröklődését és változékonyságát tanulmányozó tudomány**.

Az öröklődés az élő szervezetek azon képessége, hogy képesek átadni utódaiknak azokat a genetikai információkat, melyek a környezeti tényezőkkel összhangban meghatározzák az utód(ok) morfológiai, fiziológiai, biokémiai és viselkedési sajátosságait.

A **változékonyság** a **fajok és populációk tulajdonsága**, mely biztosítja az öröklött és szerzett tulajdonságok alapján az egyedek különbözőségét, vagyis hogy két teljesen azonos egyed ne forduljon elő.

A **gén** az örökítőanyag működési egysége, amit a DNS hordoz. A szó származása a görög *genos* (γένος, jelentése: 'eredet') szóra vezethető vissza, és először **Wilhelm Johanssen** használta 1909-ben. Számos biológiához, orvostudományokhoz kapcsolódó tudományág használja, beleértve a klasszikus genetikát, a molekuláris genetikát, a populációgenetikát és az evolúcióbiológiát is.

Egy gén meghatároz egy tulajdonságot (egy fehérje építésére vonatkozóan), s biztosítja a szülőről utódra való információátadást.

Az öröklődéssel kapcsolatos első ismeretek már a növények termesztésével és az állatok házasításával egyidőben megjelentek: feljegyzések, kőtáblák tanúsítják, hogy kiválogatással különböző állatfajták lettek kitenyésztve, vagy e korai történelmi időkben mesterséges megporzást és keresztezéseket végeztek növényekkel. Az ókori görög orvosok megfigyelték, hogy bizonyos betegségek és testi hibák öröklődnek. Az öröklődéssel kapcsolatos ismeretek bővülése csak hosszú idő után, a 19. században folytatódott.

A gének létezésének megsejtése **Gregor Mendel** brünni apát nevéhez fűződik, aki az 1860-as években borsónövények öröklődését tanulmányozta, és felvetette a szülőkről az utódokra öröklődő tényezők jelenlétét. Habár nem használta a gén szót, megfigyeléseit örökíthető jegyekkel magyarázta. Mendel állította fel az öröklődés 3 alaptörvényét, ő tett először különbséget a domináns és recesszív jegyek, a heterozigóta és homozigóta, illetve a fenotípus és genotípus között.

A természettudományok története egyik legemlékezetesebb eseményének számít, amikor 1953-ban **James D. Watson, Francis Crick** és **Maurice Wilkins** felfedezték a DNS molekuláris felépítését. Ezáltal bizonyítást nyert, hogy a gének a DNS-makromolekula szakaszai.

1. Genetikai fogalmak

Tulajdonság (fen) – adott élőlényre vonatkozó minőségi vagy mennyiségi jellemző, amit a gének meghatároznak (pl. testmagasság, testsúly, intellektus). A gén adott fen kialakulását határozza meg. A sejteknek,

II. GENETIKA

az egyedeknek nagyon különböző alaki, működési sajátossága, azaz fenje van. Azt, hogy az utódok (vagy utódsejtek) elődeikhez hasonlítsanak, a sejtben található genetikai információ változatlan továbbadása biztosítja. Ez a genetikai információ a génekben található.

Fenotípus – egy élőlény szemmel látható tulajdonságainak összessége.

Genotípus – egy egyed genetikai felépítése (lényegében maga a genom), általában DNS formájában, ami az egyed fenotípusát kódolja.

Genom – egy szervezet teljes örökítő információját jelenti, amely a DNS-ben van kódolva. A szabályozó régiók (információt kódoló DNS-szakaszok) és a hulladék-DNS (információt nem kódoló DNS-részek) együttesen alkotják egy élőlény genomját, amely a legtöbb fajban kromoszómákra van osztva.

Lókus – egy adott génnek a kromoszómán elfoglalt helye.

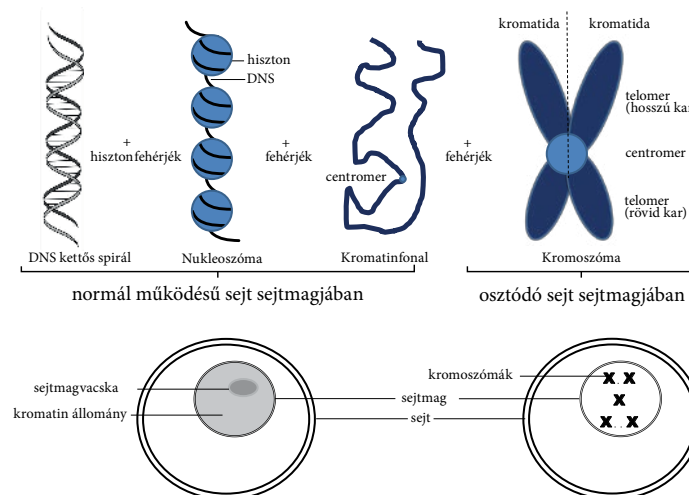
Homológ kromoszóma – a kromoszómapár apai, ill. anyai eredetű tagjai. Ezek a kromoszómák külsőleg azonosak, genetikai tartalmuk azonban különböző.

Allél – a gének változatai. Ezek a gének a kromoszóma azonos lókusán helyezkednek el, azonos tulajdonságot határoznak meg, de különböző módon.

Gén – az öröklődés egysége.

Onkogén – egy olyan gén, amely arra serkenti a sejtet, hogy tumorsejtté (daganatsejt) váljon, esetlegesen rákos megbetegedést okozva.

Kromoszóma-kromatin – a sejt genetikai információit hordozó DNS általában kromoszómának nevezett makromolekulákba van csomagolva sejtosztódáskor (1. ábra). A sejt nyugalmi állapotában a sejtmagban található kromatin formájában tárolja a DNS-t (eukromatin, heterokromatin).



1. ábra. A kromoszóma felépítése és elhelyezkedése a sejtben belül

Mutáció – az örökítőanyag spontán, maradandó megváltozása, amelynek során új genetikai tulajdonság keletkezik.

Mutáció típusai:

- ♦ addíció (hozzáadódás)
- ♦ delécia (kiesés, kivágódás)
- ♦ duplikáció (kettőződés)
- ♦ inverzió (megfordulás)
- ♦ transzlokáció (áthelyeződés).

A mutációk lehetnek:

- ♦ váratlanok – a mutáció ugrással, hirtelen alakul ki, a szervezet nem készül rá;
- ♦ nem irányítottak – a szervezet számára lehetnek előnyösek és károsak is, és sem nagyságuk, sem hatásuk nem jelezhető előre;
- ♦ tartósak – olyan változások, melyek öröklődnek, vagyis az utónemzedékre átvivődnek;
- ♦ egyediek – mutációval korábban nem létező új allél, vagyis genotípus keletkezhet.

Pontmutáció – a kromoszóma egy génjében néhány nukleotidnál (a DNS- és az RNS-lánc szerkezeti egysége: egy nitrogéntartalmú szerves bázisból, egy pentózból és egy foszforsavból épül fel) következik be változás (pl. albinizmus).

Kromoszómamutáció – a kromoszóma egyes részei mutálódnak (pl. Down-kór).

Spontán mutációk – természetes módon jönnek létre vagy emberi behatásra keletkeznek (indukált mutáció).

Haploid – az ivarsejtek (generatív sejtek) csak egy kromoszómasorozattal rendelkeznek, ezek haploidok (n) (pl. petesejt, hímivarsejt).

Diploid – egyes élőlények diploidok (2n), azaz homológ kromoszómapárokkal, azon belül pedig egy gén két kópiájával rendelkeznek a testi (szomatikus) sejtjeikben (pl. hámsejt, izomsejt, mirigysejt, csontsejt).

Homozigóta/heterozigóta – olyan egyed esetében, melynek testi sejtjeiben ez a két kópia teljesen azonos, homozigótáról, amelyben pedig különbözik, heterozigótáról beszélünk.

Heterozigóta – pl. a borsónövény maghéjának színét egy génpár határozza meg, mindkét szülőtől egy-egy gént örököelve. Azok a borsószemek, melyek két génjükre nézve más-más színt örökölték, heterozigóták.

Homozigóta – pl. azok a borsószemek, melyek a maghéj színét meghatározó mindkét génjükre nézve ugyanazt a színt örökölték a szülőktől, homozigóták.

2. Genetikai kód

A **DNS-molekulában** a fehérjék szintéziséhez (előállításához) szükséges információk biokémiai kód segítségével tárolódnak. A **DNS tulajdonképpen a fehérjék képződésének a programját tartalmazza**, vagyis azt az információt, amely meghatározza az adott fehérje felépítésében részt vevő aminosavak sorrendjét.

A DNS-molekulát felépítő nukleotidok sorrendje, valamint a fehérjemolekulát alkotó aminosavak sorrendje közötti kapcsolatot a genetikai kód biztosítja.

A **triplet (kodon)**, a DNS-molekula három olyan egymás utáni nukleotidja, melyek együttesen határozzák meg egy aminosavnak a fehérjemolekulába való beépülését.

A DNS-molekulában **4 különböző nitrogéntartalmú szerves bázist** figyelhetünk meg. Ezek: az adenin, a guanin, a timin és a citozin. Az RNS-molekulában timin helyett uracil található. Ennek a négyféle bázisnak kell az élővilágot felépítő fehérjék alkotásában részt vevő 20-féle aminosavat kódolniuk.

Ha egy bázis egy aminosavat kódolna, az azt jelentené, hogy a DNS-ben található négy bázis összesen csak négy aminosavat kódolna, így 16 aminosav nem tudna előállítani.

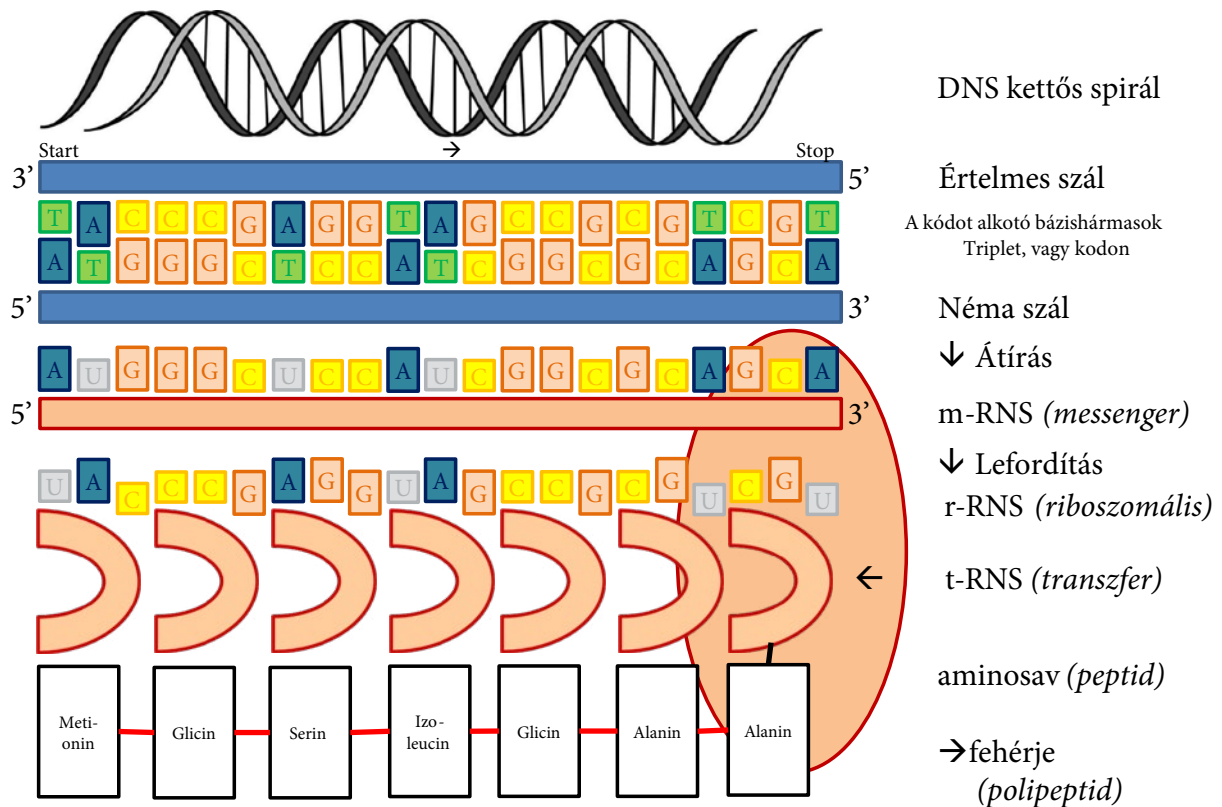
Ha 2 bázis kódolna 1 aminosavat, akkor még mindig csak 16-féle aminosav állítódna elő, négy még mindig hiányban lenne.

Viszont, ha 3 bázis kódol 1 aminosavat, így már a 20-nál jóval több, összesen 64 variáció alakulhatna ki aminosavak kódolására (2. táblázat). Ez a kódolási típus jellemző az élőlények DNS-ére.

A kodon első betűje	A kodon második betűje				A kodon harmadik betűje
	U	C	A	G	
U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
	Phe	Ser	Tyr	Cys	C
	Leu	Ser	STOP	STOP	A
	Leu	Ser	STOP	Try	G
C	Leu	Pro	His	Arg	U
	Leu	Pro	His	Arg	C
	Leu	Pro	Gln	Arg	A
	Leu	Pro	Gln	Arg	G
A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
	Ile	Thr	Asn	Ser	C
	Ile	Thr	Lys	Arg	A
	lánckezdő és Met	Thr	Lys	Arg	G
G	Val	Ala	Asp	Gly	U
	Val	Ala	Asp	Gly	C
	Val	Ala	Glu	Gly	A
	Val	Ala	Glu	Gly	G

2. táblázat. A genetikai kódszótár

Jegyezzük meg, hogy a **genetikai kód redundáns**, azaz egy aminosavat több triplet is kódol; valamint, hogy a genetikai kód visszaírhatatlan (a DNS-ben található információk alapján fog a fehérjék aminosavsorrendje összeállni és végső soron magát a fehérjét felépíteni; de fordítva ez nem lehetséges: fehérjéből nem lehet DNS molekulát előállítani). A **DNS-molekuláról az információ először átírással (transzkripció) átkerül egy hírvivő RNS- (mRNS-) molekulára, majd erről dekodifikálódik az információ (transzláció) és átalakul aminosavrészletté (2. ábra).**



2. ábra. A genetikai információ áramlásának iránya

3. A génműködés szabályozása

Méretét tekintve a sejt nagyon kicsi, ennek ellenére nagy mennyiségű terméket állít elő, kizárólag annyit, amennyire éppen szükség van. Minden sejtben minden gén jelen van, ami az adott élőlényre jellemző. Egy-egy sejtben nem kell valamennyi génnek működnie, csak az adott sejt típusra jellemzőkre van szükség, és azokra is csak a megfelelő időben. Tehát az adott gének a sejt szükségleteitől függően kezdik meg vagy hagyják félbe aktivitásukat.

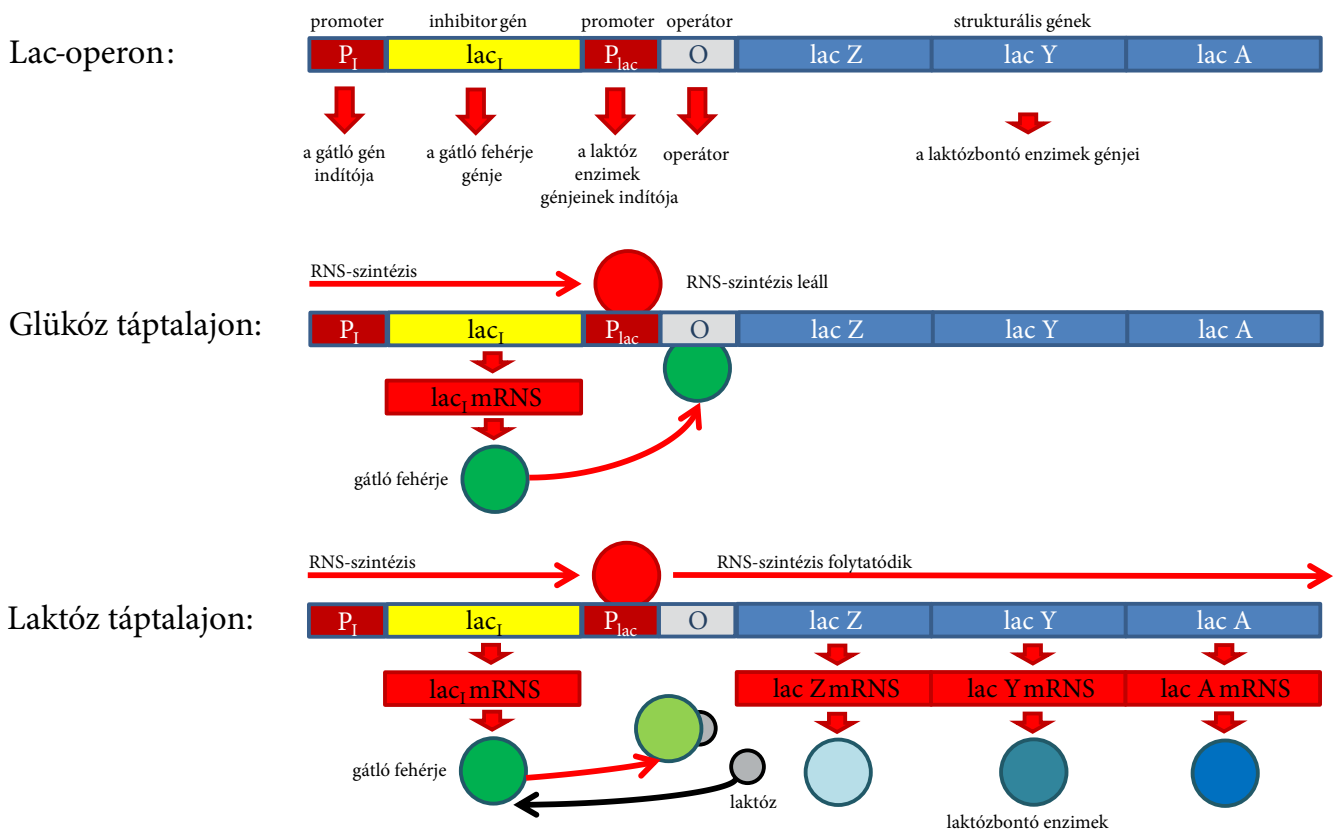
Egyes működő géneket, a környezet változásával párhuzamosan, a sejt életének bizonyos szakaszaiban (időben szabályozottan) ki kell kapcsolni, illetve más, addig nem működő géneket be kell kapcsolni.

II. GENETIKA

A génműködés szabályozása, a szervezet összetettségének függvényében, a prokariótákban egyszerűbb, az eukarióta szervezetekben sokkal bonyolultabb. Ennek oka, hogy a hírvivő RNS- (mRNS-) képzés és a fehérjeszintézis más helyszínen megy végbe (prokariótáknál ugyanazon térben, eukariótáknál más tér-félben), valamint, hogy az eukarióta DNS kódoló szakaszai (exonok) nem kódoló szakaszokkal (intronokkal) vannak megszakítva, ezeket ki kell vágni az mRNS-ből (mRNS érése).

A könnyebb átláthatóságért a továbbiakban csak a prokarióták génszabályozását tekintjük át *Escherichia coli* (*E. coli*) baktériumban, a tejcukor-operon (továbbiakban: *lac-operon*) bemutatásával (1961-ben, François Jacob és Jacques Monod ennek alapján dolgozták ki a sejtműködés genetikai szabályozásának elméletét, amiért 1965-ben orvosi Nobel-díjjal tüntették ki őket).

Az *E. coli*-kísérlet lényege: glükóz- (szőlőcukor) tartalmú táptalajon nevelve a baktériumokat, szaporodás figyelhető meg náluk. Laktóz- (tejcukor) tartalmú táptalajra áthelyezve a szaporodás rövid időre megáll, majd újraindul. Ez azzal magyarázható, hogy a baktériumsejtekben a glükóz lebontására még korábban aktiválódott géneket (melyek a glükózbontó enzimek termelését szabályozzák) ki kell kapcsolni, mivel megváltozott a táplálékforrás (laktóz táptalaj). Ez egyrészt azért fontos, hogy a szervezet saját energiatartalékait pazarlóan ne fordítsa feleslegesen továbbra is glükózbontó enzim termelésére. Másrészt, be kell indítani (aktiválni kell) a laktózbontó enzim (galaktozidáz enzim) termeléséért felelős géneket, hogy a szervezet az új táplálékforrásból is energiát tudjon nyerni. Ez az átváltás (lekapcsolás, illetve felkapcsolás) időbe telik, ezért áll le a baktériumtenyészet szaporodása egy időre.



3. ábra. Az *E. coli* DNS-ének *lac-operon*jának működése glükóz és laktóz táptalajon

A génekre vetítve, a következő szabályozási mechanizmus figyelhető meg:

operon (3. ábra) – a DNS-nek az a szakasza (működési egysége), mely tartalmaz

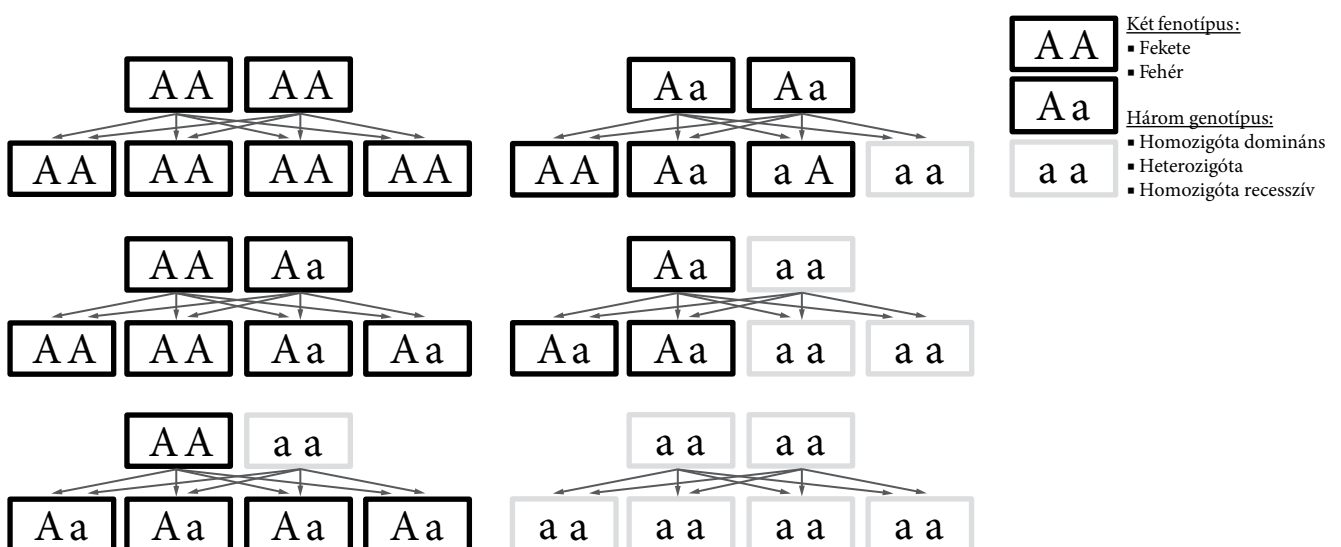
- ♦ egy regulátorgént (valamilyen folyamat szabályozásában vesz részt, lehet gátló vagy serkentő);
- ♦ egy promóter régiót (indító, az RNS-polimeráz kapcsolódási helye);
- ♦ egy operátor régiót (a szabályozás helye);
- ♦ egy vagy több struktúrgént (enzimet/enzimeket kódoló szakasz).

Glükóz táptalajon a regulátorgén által kódolt fehérje az operátor régióhoz kapcsolódik, meggátolva az RNS-polimeráz enzim DNS-láncon való továbbhaladását, így a laktózbontó enzimekről sem készülhet átírás (nem képződik mRNS, ami a fehérjeszintézis helyére kerülve beindítaná a laktózbontó fehérjék keletkezését) (3. ábra). **Laktóz táptalajon** viszont a sejtbe bejutott laktóz a gátlófehérjéhez kapcsolódik, megváltoztatja annak térszerkezetét, így az már nem lesz képes az operátor régióhoz kapcsolódni (leválik onnan). Az RNS-polimeráz végighaladhat a DNS-en (a struktúrgéneken), ezáltal laktózbontó enzimek készülnek. Ezek elbontják a laktózt, ami így az *E. coli* lebontó folyamataiba kerülhet. Mint láttuk, az enzimek előállításához idő kell, ezért áll le egy darabig táptalajváltáskor a baktérium szaporodása. Ha elfogy a laktóz, a gátlófehérje ismét az operátor régióhoz kapcsolódik, így újra gátolva lesz a laktózbontó enzimek szintézise.

4. Öröklődéstípusok

4.1. Domináns–recesszív öröklésmenet

Az **allél lehet domináns** vagy **recesszív**. Egy domináns allél akkor is kifejeződik, ha egy allél van jelen; míg egy recesszív allél csak párban tudja kifejteni hatását. Pl. szemszín esetében a barna domináns, a kék recesszív jelleg.

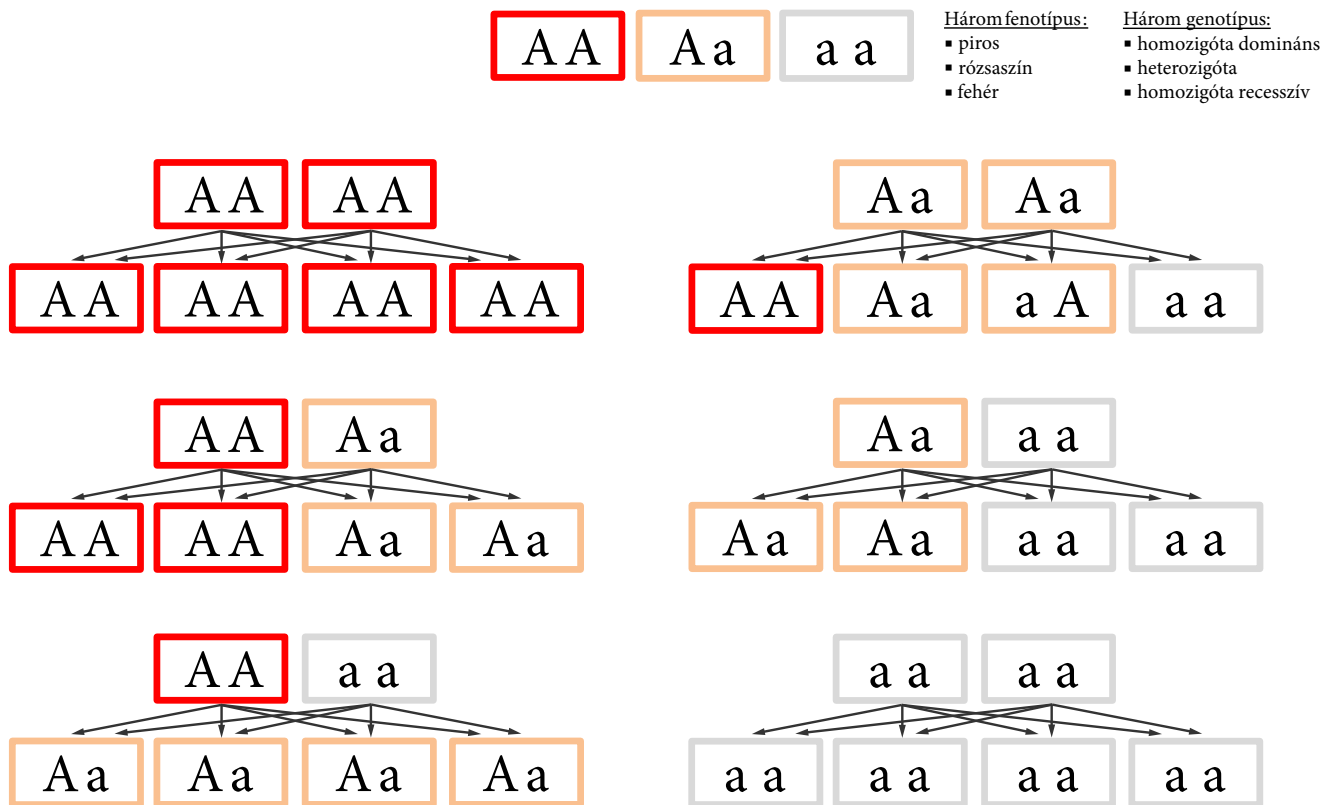


4. ábra. Domináns–recesszív öröklésmenet

Domináns–recesszív öröklésmenet esetében csak **kétféle fenotípus** tartozik a **háromféle genotípushoz** (4. ábra). Az egyik homozigóta és a heterozigóta kinézetében nem különbözik egymástól. Ezt az állást nevezzük uralkodónak (domináns), míg azt, amelyik csak homozigóta formában fejeződik ki, visszahúzódónak (recesszív).

4.2. Intermedier öröklés

Az **intermedier öröklés**nél a **háromféle genotípus háromféle fenotípussal** jár együtt (5. ábra). A heterozigóták általában valamiféle köztes állapotot képviselnek a kétféle homozigóta között. Gyakran találunk ilyen öröklődést a színeknél, hiszen ebben az esetben kétféle színanyag termelődik egyszerre, és hatásuk összeadódik (pl. csodatölcsér – *Mirabilis jalapa*).



5. ábra. Intermedier öröklés

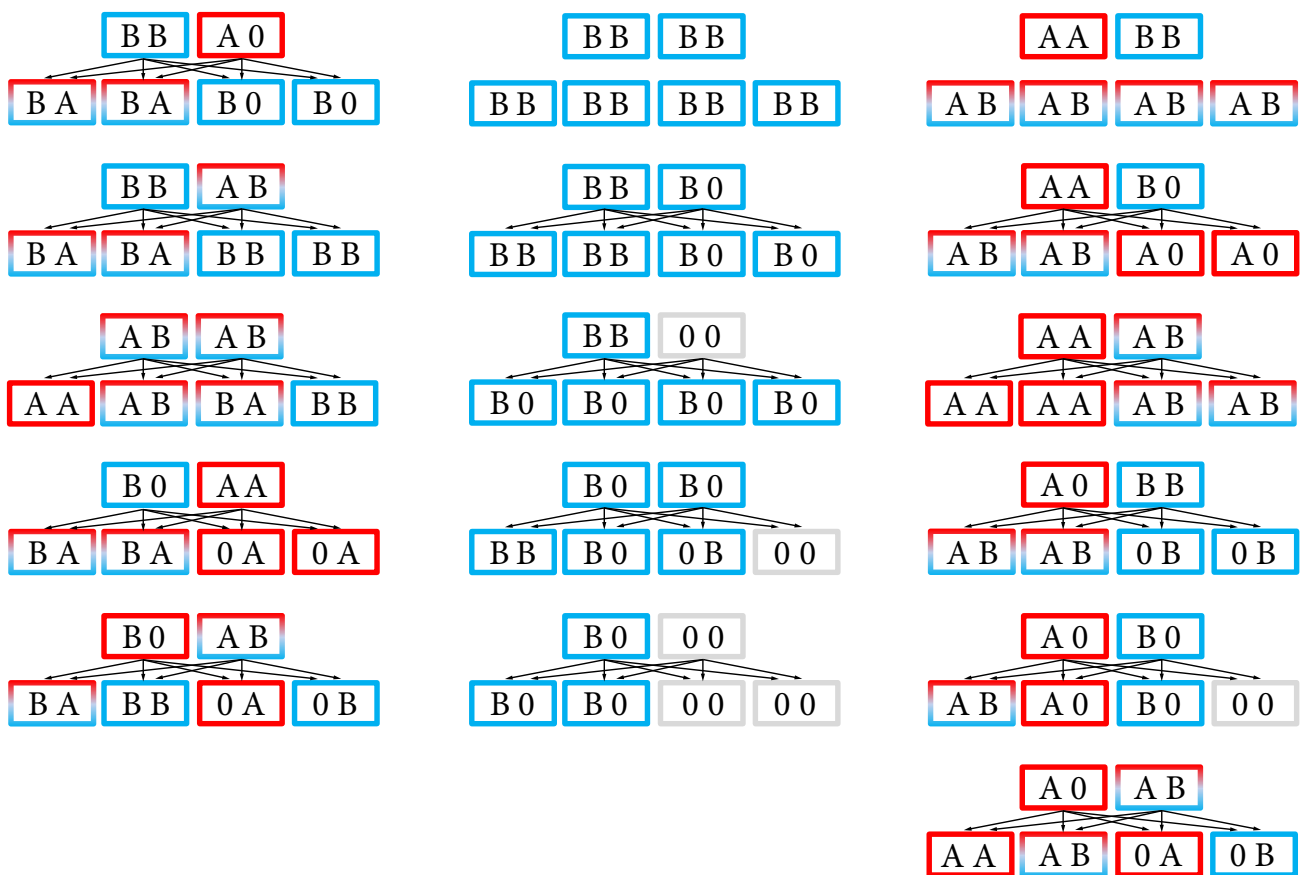
4.3. Mennyiségi–minőségi tulajdonságok öröklése

Egy **adott tulajdonságot több gén határoz meg** (poligén öröklődés), s ezek együtthatása alakítja ki. Ilyen mennyiségi **tulajdonságok** pl. a bőrszín, a testsúly, a testmagasság.

4.4. Kodominancia

Kodominancia esetében, egy adott tulajdonság meghatározásánál **két domináns és egy recesszív allél** lehet jelen. A **két domináns allél találkozásakor mindkettő hatása érvényesül**, így egy új fenotípus jön létre. Ez a jelenség az AB0 vércsoportnál mutatkozik meg, amiknek a létrejöttét két domináns (A és B) és egy recesszív allél (0) határozza meg (3. táblázat, 6. ábra). Ebben az esetben így jön létre az AB vércsoport.

AA	BB	<i>Négy fenotípus:</i>	<i>Hat genotípus:</i>
A0	B0	▪ A (piros)	▪ 2 homozigóta domináns (AA, BB)
AB	00	▪ B (kék)	▪ 3 heterozigóta (A0, B0, AB)
		▪ AB (piros-kék)	▪ homozigóta recesszív (00)
		▪ 0 (fehér)	



6. ábra. Kodomináns öröklésmenet

5. Mendeli öröklődés törvényei

5.1. Uniformitás törvénye

Ha homozigóta szülőket keresztezünk, a megjelenő első utódnemzedékben 100%-ban a domináns allél érvényesül (7. ábra).

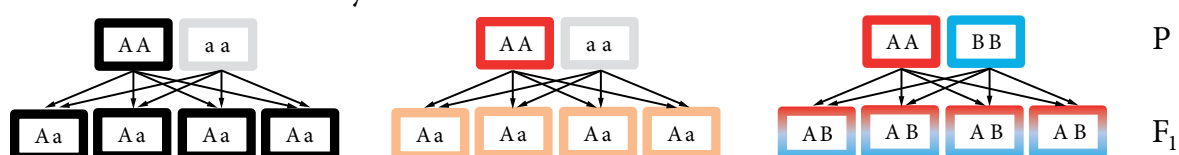
5.2. Hasadás törvénye

A második utódgenerációban megjelennek a szülői tulajdonságok 25%–50%–25% arányban (7. ábra).

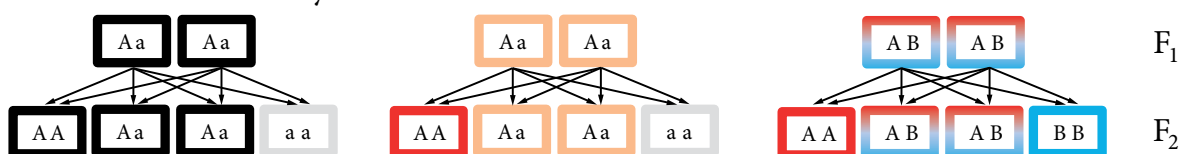
5.3. Szabad kombinálódás törvénye

Itt két vagy több tulajdonság egyidejű keresztezését figyeljük. Eredményeként kapjuk, hogy a tulajdonságok egymástól függetlenül variálódhatnak (7. ábra).

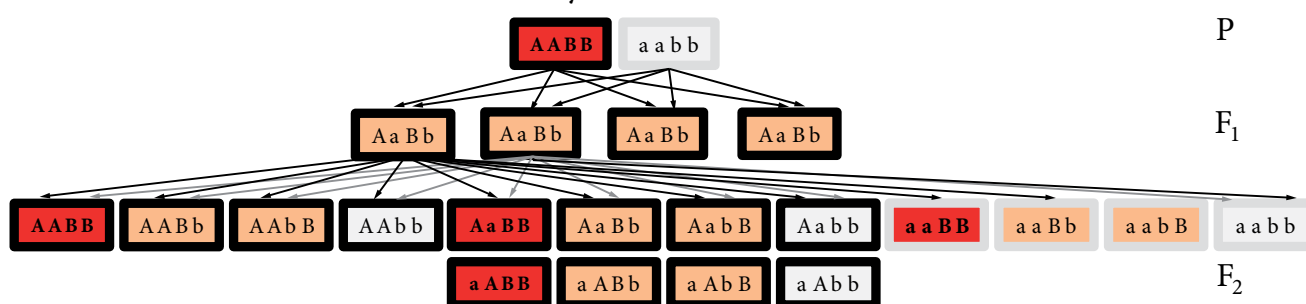
Mendel I.: Uniformitás törvénye



Mendel II.: Hasadás törvénye



Mendel III.: Szabad kombinálódás törvénye



7. ábra. A mendeli öröklődés törvényei

6. Kromoszómához kötött megbetegedések

6.1. Pontmutáció esetén:

sarlósejtes vérszegénység – a vörösvérsejtek alakjának megváltozása, oxigénhiány és az abból adódó szövetkárosodások;

fenilketonúria – súlyos idegrendszeri károsodás;

albinizmus – a festékképződés hiányából adódó fényérzékenység, szemtengelyferdülés;

hermafroditizmus – ugyanazon egyedben mindkét nemre jellemző belső nemi szervek megtalálhatóak, fenotípusban általában az egyik nem dominál;

vörös-zöld szintévesztés – a színlátás zavara;

hemofília – súlyos véralvadási zavar.

6.2. Genommutáció:

Down-kór – triszómia, ebben az esetben egy plusz 21-es kromoszóma látható;

Patau-kór – általában halálos rendellenesség, mely a magzat 18-as kromoszómájának számbeli többletét jelenti;

Edwards-kór – a 13-as kromoszóma triszómiája;

chimérizmus – adott szervezetben idegen kromoszóma-összetételű sejtömörülés található.

6.3. Nemhez kötött öröklődés

A klasszikus öröklésmenetek különleges fajtája a nemhez kötött öröklődés. Ebben az esetben a tulajdonságot meghatározó gén a nemet meghatározó (23.) kromoszómán van.

A nemet egy különleges kromoszóma határozza meg. Ez a kromoszóma két változatban létezik (X és Y), az egyes egyedek genotípusa XX vagy XY lehet. Emlősökben az XX a nőstény és az XY a hím.

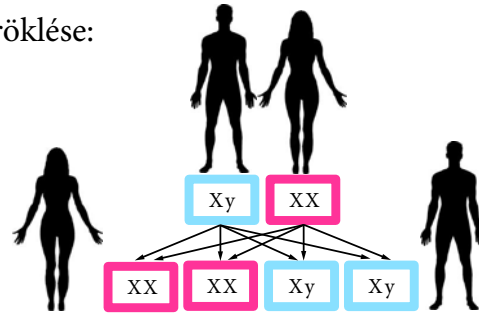
Ennek az öröklésmenetnek a fontossága abban rejlik, hogy az X-kromoszómához képest az Y csökevényes, alig tartalmaz géneket. Ezért egy X-kromoszómán található gén recesszív változata egy hordozó nő esetében rejtve marad (X⁰X genotípus), míg a recesszív X⁰ kromoszómával rendelkező férfiakban kifejeződik (X⁰Y genotípus).

Ennek köszönhetően az XY genotípusúakban gyakrabban jelenik meg az adott tulajdonság. Míg az Y-kromoszómán alig vannak fontos gének, az X-kromoszóma bővelkedik bennük.

A legnevezetesebb ilyen nemhez kötött öröklődésen alapuló betegségek talán a vörös-zöld szintévesztés és a vérzékenység (8. ábra), de a mániás depressziótól, a rákos megbetegedésre való hajlamig sok mindent meghatároznak az X-kromoszóma génjei.

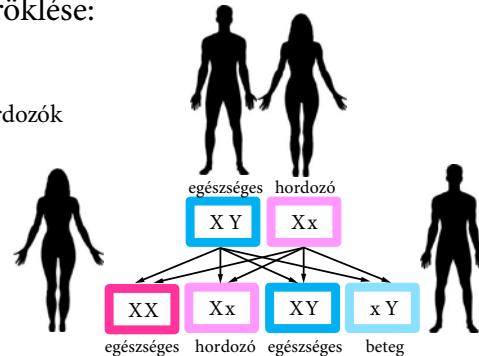
Y-kromoszómához kötött tulajdonságok öröklése:

- minden fiúgyermeken megjelenik
- egy leánygyermek sem hordozó



X-kromoszómához kötött tulajdonságok öröklése:

- pl. hemofília öröklődése
- a fiúgyermekek fele egészséges, fele beteg
- a leánygyermekek egészségesek, de felerészből hordozók



8. ábra. A nemhez kötött öröklődés

6.4. Számbeli nemikromoszóma-rendellenességek:

Turner-szindróma – A tipikus két nemi kromoszóma (XX) helyett csak egy X-kromoszóma van, a másik hiányzik (X0). **Külső megjelenés:** alacsony termet, extra bőr a nyakon, széles mellkas, mellbimbók egymástól távol helyezkednek el, gerinc esetleg ferdült (*scoliosis*), a karok enyhén kifelé fordulnak könyöktől, rövid ujjak, kövér kezek és lábak. **Belső elváltozások:** fejletlen petefészkek, meddőség, nincs menstruáció. **Lehetséges problémák:** szívproblémák, magas vérnyomás, fül- és hallási problémák, rövidlátás, tanulási nehézségek, pajzsmirigyproblémák, veseproblémák, cukorbetegség (*diabetes*), csonttritkulás (*osteoporosis*).

Tripla X-szindróma („szupernő”-szindróma) – Az X-kromoszómák növekedésével nem fokozódik a nőies jelleg, hanem éppen ellenkezőleg, csökken. Gyakran az értelmi képességek is csökkentek. A női nemi szervek lehetnek szabályosak vagy gyengén fejlettek. Jellemző a cikluszavar, vagy a korai menopauza. A betegek 75%-a fogamzóképes (fertilis).

XYY-szindróma („szuperférfi”-szindróma) – Az XYY-szindrómás fiúknak nagyobb eséllyel vannak lemaradásaik a beszéd- és mozgásfejlődés terén, valamint a tanulásban, gyakoriak a viselkedésbeli problémák. A kettőnél több humán Y-kromoszóma esetleg a mentális retardáció bizonyos fokaival jellemezhető, de más tünetet nem okoz. Az XYY-szindróma nem öröklhető.

Klinefelter-szindróma – A tipikus XY-kromoszómapár helyett van egy többlet X-kromoszóma (XXY vagy néha XXXY). **Fenotípusos jellemzők:** nyúlánkság, keskeny vállak, nagyobb mellek, széles csípő, hosszú karok és lábak, alacsony homlok, vékony vagy hiányzó szakáll, mellszőrzet is alig van, nőies szeméremszőrzet, kis herék.

III. ETOLÓGIAI ALAPISMERETEK

Az etológia szó a görög *éthosz* (ἔθος, jelentése: 'szokás') szóból származik. Az **etológia** (szokástan, viselkedéstan) a biológia azon, viszonylag fiatal ága, amely az állatok természetes és mesterséges környezetben megnyilvánuló viselkedésével foglalkozik, de sajátos ismereteivel az embert vizsgáló tudományokat is segíti.

Már az ókori görög tudósokat is foglalkoztatta az állatok viselkedése, és nem egy megállapításuk mai napig érvényes. Ismereteinket az állatok viselkedéséről sokáig naiv anekdoták, illetve a vadászok, állattenyésztők megfigyelései képezték.

Az első jelentős biológus, aki ma is vitathatatlan megfigyeléseket tett az állatok viselkedéséről, **Charles Darwin** (1809–1882) volt.

Konrad Lorenz (1903–1989) osztrák tudós nevéhez fűződik a modern etológia megalapítása. Elmélete szerint csak evolúciós keretben értelmezhető az állatok viselkedése, hiszen minden viselkedésformájuk a lét- és a fajfenntartás érdekében alakul. Lorenz előtérbe helyezte a természetbeli megfigyeléseket. A nevéhez fűződő etológiai elmélet szerint az állatok öröklött mozgásminták szerint viselkednek, melyek fajonként változnak. Ezeknek a mozgásmintáknak egy része veleszületett, más részük tanulással fejlődik. Ezekhez a magatartásmódokhoz tartoznak a megfelelő reakcióért felelős kulcsingerek és kioldó mechanizmusok.

A másik jelentős személyiség **Nikolas Tinbergen** (1907–1988) volt, aki hierarchikusan (rangsor szerint) szervezett mechanizmusnak fogta fel az ösztönöket, amelyek meghatározott külső ingerektől függenek. A tüskés pikó szaporodási viselkedésének vizsgálata Tinbergen legismertebb etológiai vizsgálata.

A harmadik nagy egyéniség **Karl von Frisch** (1886–1982) osztrák tudós. Legfontosabb felfedezése a méhek kommunikációjának megfejtése volt.

A három etológus munkásságáért 1973-ban orvosi Nobel-díjat kapott.

A **viselkedés** az állat reakcióiban és mozgásában megjelenő változás, amely akár szabad szemmel, vagy különböző vizsgálati módszerekkel érzékelhető. Az egyes viselkedési elemek kombinációjából bonyolult magatartásformák alakulnak ki, amelyek pontos leírása egy adott faj esetében az akciókatalógus, az etnogram.

A darwini alapokon álló viselkedéstudomány abból a feltételezésből indul ki, hogy az állatvilág evolúciója során a túlélésre és a szaporodásra nézve előnyös viselkedési minták és tanulási képességek részesülnek előnyben a természetes szelekció útján. A viselkedés az állatok tevékenységének összessége (táplálékszerzés, kommunikáció stb.), amelyet az érzékszervek által felfogható környezeti ingerek, valamint az állat belső

állapota együttesen vált ki. Különbő **ingerszűrők** biztosítják, hogy az állat csak a fontos hatásokra reagáljon. A **perifériás ingerszűrők** az érzékszervek szintjén működnek. A **központi ingerszűrők** két fontos fogalma a **kulcsinger** és a **kiváltó mechanizmus**. A kulcsinger az öröklött magatartási elemeket kiváltó inger, ilyen pl. a vörösbegy területvédő viselkedése. A különösen erős reakciót kiváltó kulcsinger az ún. szupernormális inger, pl. a csigaforgató madárnak a tojás nagysága, embernek a csokoládé. Minden kulcsingerhez egy veleszületett központi kiváltó mechanizmus tartozik. Ez az idegrendszer azon része, ahol a kulcsinger felismerése történik, és a válaszreakció megszerveződik. Egyszerre több kulcsinger közül az vált ki reakciót, amely az állat belső állapotával összefüggésben áll. Azaz, a különféle viselkedések az állat belső készletének, a motivációnak a megnyilvánulásai.

Az állatok viselkedését **E. Mayer** angol etológus (1970) szerint kétféle program határozza meg, az **ún. zárt** vagy a **nyitott genetikai program**.

A **zárt genetikai program** merev, minden eleme genetikailag meghatározott sorrendben zajlik le, előzetes tapasztalatok nélkül. A **nyitott genetikai program** az öröklött és a tanult elemek együttese, s az előbbinél rugalmasabb. A nem teljesen zárt tanulási folyamat során a környezet írja be a nyitott részbe a teljes biológiai működéshez szükséges információkat.

Az **öröklött magatartásformák (zárt genetikai program)** azok, amelyeket az állatok megszületésük után azonnal képesek elvégezni, akár fajtársaktól izoláltan nevelve, mindenfajta gyakorlás nélkül. Az egyedek életben maradását szolgálják. Ezek az alábbiak:

1. az **öröklött mozgásminták** (ÖMM), pl. az élelem elrejtése: róka–főtt tojás, mókus–mogyoró.
2. a **feltétlen reflex**, ami egy adott ingerre feltétlenül bekövetkező egyszerű válasz, pl.: rovarok, halak lefagyási reakciója; béka menekülési reflexe; térd- és pupillareflex.
3. **taxis**, az inger által irányított helyváltoztató mozgás, pl. a repülő rovarok fény felé mozgása.

A **tanult magatartásformák (nyitott genetikai program)** tanulás, tapasztalatszerzés, gyakorlás hatására bekövetkező viszonylag állandó viselkedésváltozást eredményeznek. A tanulás elengedhetetlen feltétele a környezethez való rugalmas alkalmazkodás kialakulásának. A nem teljesen zárt genetikai programba a működéshez szükséges információkat a környezet írja be a tanulás során. Az információk beépülnek az állat memóriájába.

A tanulás formái:

1. **Megszokás (habituáció)**: az állat nem válaszol egy gyakori, közömbös ingerre, mert megszokja azt. A megszokás feladata, hogy megkülönböztesse az újat és az állat számára már ismerőst pl. csiga – koppintás. Általában a gyenge, közömbös ingerek váltják ki.
2. **Érzékenyítés**: egyre érzékenyebbé válik az állat az ismételt ingerek hatására. Általában fontos erős (táplálék, fájdalom) ingerek váltják ki.

3. **Társítás (kondicionálás):** feltételes reflex (I. P. Pavlov – kutya nyálevlasztása), operáns tanulás (próba-szerencse vagy vezérlő tanulás). Utóbbival E. L. Thorndike és B. F. Skinner szinte egyidőben kísérleteztek (vezérlő inger, pozitív/negatív megerősítés → viselkedésváltozás, pl. macska, patkány, galamb).
4. **Bevésődés:** tanulás érzékeny periódusban (K. Lorenz – madarak). Lehet pl. szülői bevésődés – fészek-hagyók; szexuális bevésődés – fajtársak jellegzetességei.
5. **Belátásos tanulás:** a megoldás elemeit az állatok észbelileg (mentálisan) illesztik össze (csimpánz).
6. **Szociális tanulás:** társas kölcsönhatások révén alakul ki a viselkedésváltozás.

A különféle állatok hasonló magatartásának csoportosítása a szakirodalomban nem egységes. A könnyebb áttekintést az alábbi (a gyakorlatban jól bevált) felosztás segíti. A legfontosabb magatartásforma-csoportok:

1. az állatok létfenntartási viselkedése;
2. az állatok társas viselkedése.

1. Az állatok létfenntartási viselkedése

Ennek a viselkedési formának az elemeivel találkoznak a gyermekek a leggyakrabban. Ezek: a tájékozódás, a táplálkozás, a támadás – védekezés (menekülés), a pihenés – alvás, a komfort mozgás.

1.1. Tájékozódás

A **tájékozódás** alapvetően fontos létfenntartási viselkedés. Tájékozódáskor az állat a testhelyzetét viszonyítja környezetének valamely eleméhez, érzékszervei, idegközpontjai és mozgásszervei összehangolt működtetésével.

1. A **taxisokkal** leírható helyváltoztatás alapját (öröklött viselkedési formák) az inger által kiváltott és irányított mozgások képezik.
2. A **tárgyak megjegyzéséhez kötött tájékozódás** hely, forma, szín alapján történik (méhfarkas).
3. A **test helyzete rögzülhet** valamilyen külső viszonyítási ponthoz, pl. a naphoz („méhek” tánca, hangyák tájékozódása a sivatagban, katicabogarak, ganajtúró bogarak, tegzesek). A maguk által kibocsájtott jelzések visszaverődéséből is képesek tájékozódni egyes állatok (denevérek, cetek).
4. **Egyéb tájékozódási formák:** a hangyák illatanyagokkal jelölik meg útvonalukat, így találhatnak vissza a bolyhoz zsákmánykereséskor. A lazacokat az édesvíz kémiai jellemzői vezetik.

Egy ismeretlen helyről a célpont elérését **navigációnak** nevezik. Mi, emberek ehhez iránytűt használunk. A postagalamb a földi mágneses teret érzékeli; egy őserdei hangyafaj egyedei a boly képe fölötti fák sziluettje alapján tájékozódnak; a borult időben hazainduló vadkacsa spirálisan táguló vonalban repül addig, amíg ismerős táj fölé nem ér. A rendszeres vonulás iránya (apálykor, évenként, havonta) lehet tanult (pl. a gnúk vándorlása az esőfelhők után, a vadlibák vonulása), az idősebb madarakat követik a fiatalok. A legtöbb madárfaj fiataljai vándorlásukat az ősi, öröklött irányban kezdik meg, így a nyugat-európai gólyák a Gibraltári-szoroson, a kelet-európaiak a Boszporuszon kelnek át.

A fennmaradásért, a létért állandó versengést folytatnak a különböző állatfajok és az azonos fajhoz tartozó egyedek. Elsősorban a megfelelő mennyiségű és minőségű táplálékért folyik a verseny.

1.2. Táplálkozás

A **táplálkozás** a táplálék felismerését, megszerzését (különböző táplálékszerző technikák), elfogyasztásának módját (táplálkozás), az anyagcsere-végtermék leadását, elrejtését jelentik. Az evolúció során az állatok erre igen változatos magatartási formákat alakítottak ki.

A **táplálék** felismerése történhet:

1. **veleszületett táplálékfelismerő mechanizmussal** (a varangy követi a giliszta nagyságú és formájú modellt);
2. **bevésődéssel** (a görény a prédát szagáról ismeri fel);
3. egyes **állatok magukon hordozzák a kulcsingereket** (kiscsirkék csipegető mozgását saját lábujjaik látványa indítja be).

A **táplálékszerzés** annak kereséséből, kiválasztásából, megszerzéséből és elfogyasztásából tevődik össze. A táplálkozás típusa erősen befolyásolja: egy szarvas például többször táplálkozik és nagyobb mennyiséget fogyaszt, mint a magasabb tápértékű húst fogyasztó tigris.

A **táplálékszerző technikák a következők:**

1. vannak fajok, amelyek **kiszűrrik a vízből** táplálékukat (bálnák, kagylók);
2. a legelő állatok táplálékszőnyegen járnak;
3. amely állatok számára a táplálék rejtve van, **megkeresik** azt, pl. **vadásznak**. A vadászat a zsákmányállat megöléséhez vezet: a **rejtőzködők** lesből támadnak (pl. az ájtatos manó; a csapdaállítók, pl. a pókok); sok hal **a szája közelébe csalogatja a prédát**. A ragadozók többségére a mozgó **vadászat** jellemző: a préda felderítése, üldözése, megragadása.

Vannak **szerszámokat használó állatok** (madarak, vidra, dögkeselyű). Más fajoknak **pontos mozdulatsort** kell megtanulniuk (görények).

A táplálékszerzést **hosszú tanulással sajátítják el** a magasabb rendű állatok.

A **keresési stratégia** igazodik a táplálék fellelhetőségéhez. Az állatok többségének fel kell kutatnia a táplálékot, így az ehhez szükséges érzékszerveik rendkívül kifinomultak. Például a réti sas a 10–15 cm-es pockot 500 m magasból is felismeri.

A méhek a nektárgyűjtésre legkedvezőbb időpontban keresik fel a virágokat. A patkány azonnal továbbáll az eleség megtalálása után, hiszen a szétszórt táplálékot így érdemes keresni. A seregélyek az előzőleg sikeres lelőhelyen kutatnak tovább, a foltokban előforduló táplálék kiaknázására ez a megfelelő mód.

A táplálék **kiválasztása** kulcsingerek (az öröklött viselkedési elemet kiváltó inger) segítségével történik.

Vannak **egyféle táplálékot fogyasztók** (monofágok) és **mindenevők**.

A valódi monofágok nagyon ritkák és nagyon sebezhetőek, pl. a koalák kipusztulásához vezet az eukaliptuszfajok esetleges kipusztulása.

A mindenevőkre is jellemző bizonyos táplálékok előnyben részesítése, kedvelése, pl. az édes ízűeké. A kevésbé jellegzetes ízű táplálékok is tartalmazhatnak értékes anyagokat (vitaminok, sók), amelyek fogyasztásához hozzájárul a kedvező hatásukat felismerő tanulás is. Például az őzgida felnőttként anyjához hasonló táplálékot fogyaszt, az emberevő oroszlán kölykei nagy valószínűséggel ugyancsak emberevővé válnak.

Ősszel sok madár (a kakukk, a gólya- és a fecskefajok) elvonul a táplálékhiány miatt, vannak emlősök (a sün, az ürge, a pelefajok), amelyek inaktív (tétlen) állapotba kerülve téli álomba merülnek. Vannak olyanok, amelyek csak időszakosan húzódnak be védett vackukba (a medve), mások táplálékgyűjtéssel vagy -raktározással (a mókus, a hörcsög,) vészelik át a táplálékhiányt.

Az állatok életmódjából adódik a **táplálék elfogyasztásának módja**. Az evolúció során erre sajátos szervek alakultak ki. A gyermekek a közelükben élő állatokon ezek közül sokfélét közvetlenül is meg tudnak tapasztalni, megfigyelve az állatok táplálkozását a természetsarokban, a „vendégségbe hívott” állatokon vagy az óvoda, iskola udvarán, illetve a séták, kirándulások alkalmával. Így például a csigák reszelőnyelvét, a rovarok szájszerveit (a cserebogáré rágónyelv, a lepkéké nyaló-, ún. pödörnyelv, a szúnyogoké szúró-szívó, a poloskáké szívónyelv), a madarak csőr- és lábtípusait. A madarak csőrének alakja táplálkozásuknak megfelelő: a rovarevőké keskeny kávájú, nagyra tátható (pl. fecske); a magevőké erős, vaskos (pl. meggyvágó); a vízben, mezőn vadászóké hosszú, hegyes (pl. fehér gólya).

Néhány állatfaj **eszközt** használ. Például a galápagosi kaktuszpinty „kaktusztüskével” piszkálja ki a fában élő lárvákat; a tengeri vidra követ használ a rákpáncél feltöréséhez, a dögkeselyű követ a tojás feltöréséhez.

A táplálkozásnak **napi** vagy **évszakos ritmusa** lehet. Egyes fajok folyamatosan táplálkoznak, mások kifejezett formájukban egyáltalán nem. Meglehetősen szabályos időközönként táplálkoznak például a szarvasmarhák. Az őzek legaktívabban napkeltekor és napnyugtakor táplálkoznak. A megfelelő tápnövény kiválasztása rendkívül fontos. Ezt legtöbb esetben illóolajok és alkaloidák teszik lehetővé. Sok állatfaj a táplálkozása megkezdéséhez bizonyos kulcsvegyületeket keres, pl. a burgonyabogár a burgonya alkaloidáit, a folyami rák a bomló állati tetemek aminosavait.

A **táplálékhiány időszakában sok állat elraktározza a táplálékot**, amelyet szűkösebb időkben, főként télen fogyaszt el, például a harkályok a makkot a kéreg repedéseibe dugdossák; a mókusok fészket készítenek, oda halmozzák az összegyűjtött terméseket; a hörcsög több kilónyi gabonát rejt el a föld alatt. Vannak állatok, amelyek utódaik részére gyűjtenek és raktároznak, pl. néhány ganajtúró bogár, amelyek lyukat ásnak, behordják a talált ürüléket, rápetéznek, majd betemetik azt. Így az utódok számára biztosított a táplálék.

A **készletgyűjtés** elsősorban az államalkotó rovarok jellemzője (méh, hangya), de néhány magányosan élő állatnál is megfigyelhető (mókus, pénzmapocok).

Időszakonként **változhat a táplálék iránti igény**. A dankasirályoknak (amelyek télen és a költési időszakban nem mennek vízbe) kedvenc tápláléka márciusig a hal, júliusig a rovar, augusztus és október között ismét a hal, amelyet aztán télen ismét nem fogyasztanak. Ilyenkor a szántókon, a szeméttelepeken gyűjtenek, valamint az emberek etetik őket. A szarvasmarhák fejlődésük során más és más növényt vagy ugyanannak a növénynek más részét kedvelik.

A száraz körülményekhez alkalmazkodott sok faj a **táplálékban lévő vizet hasznosítja**. Az ivás gyakorisága és a felvett víz mennyisége több tényezőtől függ: mikor ivott utoljára az állat, milyen volt a táplálék nedvességtartalma, milyen a külső hőmérséklet és páratartalom. Az ivás módja jellemző egyes, a gyermekekkel jól megfigyelhető fajokra. Pl. a galambok és a patások felszívják a vizet, a lúdfélék, a tyúkidomúak a fejük felemelésével juttatják le tápcsatornájukba a csőrükbe vett folyadékot. A rágcsálók, a kutya- és a macskafélék nyelvükkel kanalazzák, lefetyelik. Repülés közben „harapnak” ki vizet a vízfelszínből a fecskék és a denevérek.

Minden állat **kiüríti** a szervezetéből az **emészthetetlen táplálékmaradványokat** és a **salakanyagokat**. A legtöbb állatfajnál ez minden „ceremónia” nélkül történik meg, pl. az énekesmadarak ott végzik el a dolgukat, ahol éppen szükségét látják. A macskafélék gödröt ásnak, amelyet azután akkurátusan betemetnek; a nyestek gondosan kiteszik fatuskókra, kövekre a territórium megjelölésére is szolgáló ürüléküket; a borzok és egyes egérfajok, rendszeresen használnak egy kiválasztott helyet. Egyes fajoknál az ürüléket a végbélnyílás körüli illatmirigyek váladéka teszi jellegzetes, egyedi szagnyommá, pl. vidránál ez ánizs illatú. A vizeletben lévő speciális szaganyag a territórium kijelölését szolgálja a kutya- és macskaféléknél. Vészhelyzetben reflexes módon is megtörténhet a vizelet és ürülék kibocsátása.

1.3. Támadó és védekező (menekülő) magatartás

Az állatok **támadó** magatartása az esetek többségében egy másik faj egyede ellen irányul. Nem tévesztendő össze az agresszióval, amely a fajtársak közötti viszony jellemzője, és így a szociális viselkedés része. Például a tyúkok tarajának félrehajtása, foltosra festése vagy a vedlő madár csapzott tollazata elegendő a támadó reakció kiváltásához, ami a beteg vagy abnormális egyedek kiiktatásával a faj védelmét szolgálja. A zsákmány megszerzésének sajátos módjai is tulajdonképpen a támadási módok közé tartoznak.

A **vadászat** a ragadozókra jellemző táplálékszerzési mód, amely különböző zsákmányolási taktikákkal történhet. **Helyben ülve** vadászik hálójával a keresztespók, csaliként működő nyelvvel az aligátorteknős. **Becserkészi, majd hirtelen lerohanja** az áldozatát pl. a csuka, a róka. **Nyílt hajszában üldözi** a kiszemelt zsákmányt, saját gyorsaságára alapozva pl. a sólyom, a gepárd. Különböző módokon vadásznak ugyanazon életközösség ragadozói a versengés csökkentése érdekében.

A **védekezésnek** is igen változatos formái alakultak ki. A **rejtőzés** megnehezíti a zsákmány felismerését. A környezetbe való tökéletes beleolvadást segítik a **rejtő- és kontúrfeloldó színek, minták** (zebrák, tigrisek csíkozottsága), gyakori az **ellenárnyékolás** is. A gyermekek által is kedvelt, a víz felszínén úszó molnárpoloskának például világos ezüstsínű a hasoldala és sötétbarna a hátoldala; a hanyattúszó poloskának világosabb a háta és sötétebb a hasa. Így a szín a felszín alatti és a felszín feletti ragadozóktól is véd. Ez az ellenárnyékolás jól látható a legtöbb hazai halfajon és a vízimadarakon is. A **mimikri** jelensége jól biztosítja a környezetbe való tökéletes beolvadást, pl. a botsáska (bizonyos fajok terráriumban jól tarthatók a csoportszobában), a vándorló levél (poloskafaj) esetében. A **rejtőzés** különleges módja a búvóhelyek készítése. A vakond el sem hagyja a járatrendszerét, egyes rovarok (cserebogár, szarvasbogár) életük java részét a felszín alatt töltik, az üregi nyúl veszély esetén egyenesen földalatti várához fut.

A **támadás elterelése** egy másik védekezési taktika. A fecskefarkú lepke vagy a fűrgye gyík a megmenekülésért testének egy kevésbé értékes darabját áldozza fel. A gulipánszülők sérülést mímelve csalják el kicsinyeik közeléből a ragadozót.

A mérgező vagy más veszélyes önvédelmi fegyverrel felszerelt fajok taktikája a **ragadozó elrettentése**, mely akkor a leghatékonyabb, ha feltűnő. A madarak messze elkerülik a feltűnően csíkos darazsakat. Az elrettentő jelzéseket adó tigris és a zengőlégy csíkozata is hatékony, bár nincs méreganyaguk. Az egyed és a faj fennmaradása szempontjából az egyik legfontosabb adaptációs (alkalmazkodási) képesség a **menekülés** a vetélytárs, a ragadozók, a káros környezeti hatások elől. Az állatok leggyakrabban a veszélyforrástól való távolodásban találhatnak menedéket. A menekülési reakciót a potenciális támadó pusztta megjelenése is kiválthatja (pl. a ragadozó árnyképe baromfiaknál), de van, amikor csak bizonyos testhelyzet (támadást jelző pozitúra, pl. lelapuló oroszlán). Ha a támadó kritikus távolságon belülre kerül, a sarokba szorított állat **ellentámadásba** kezd, amely olykor valóban sikeres lehet, pl. a malacait féltő koca vagy a nőstényeiket védő páviánhímek meg is ölhetik a támadót. Különleges módja az ellentámadásnak a pihenő ragadozó zargatása. Az apró énekesmadarakból például gyülekezést és látszattámadásokat vált ki a nappali fényben pihenő bagoly látványa.

Az egy helyben kereső állatok ellen védelmet nyújt a **szétszóródás**. Növeli a védekezés hatékonyságát az eltérő fajú egyedek **együttműködése** is (zsiráf és zebra, pávián és antilop). A sünnfélék **tüskékkel**, a teknősök a páncéljukkal **védekeznek**. A patások **szélesebesen futnak**.

1.4. Pihenés és alvás

Minden állatnak szüksége van **pihenésre és alvásra**. A pihenés a fizikai elfáradást követő, teljes ébrenlét melletti mozgásbeli nyugalom. Az alvás naponta ismétlődő viselkedési elem, ha meggátolják, az állat előbb-utóbb elpusztul. A legtöbb állat a pihenéshez, amikor védtelenebb, búvóhelyet keres, pl. a rágcsálók fészket készítenek, a fácánok természetes védett helyre húzódnak. A madarak többsége éjszaka alszik, de pl. a sünn és a denevérek napközben. Egyesek összefújnak az alvás idejére (pl. rókák, kisnyulak, denevérek), így hőt takarítanak meg, ez viszont a paraziták és a betegségek terjedését segíti. Alvás során energiát is megtakarítanak, pl. a sarlósfecskék, kolibrik, denevérek, cickányok testhőmérséklete a napi alvás alatt jelentősen csökkenhet. A pihenés szintén energiamegtakarítás, ugyanakkor csökkenti a predáció veszélyét is. Különleges módja az alvásnak a téli álm, amellyel a táplálékszegény időszakot változatos módon vészelik át az állatok. A denevérek október végén–novemberben húzódnak be fagymentes telelőhelyekre (bánya, pince, barlang, faodú), a sünnök az avar alatt bújnak meg. Az állatok valamennyi szervének működését megváltoztatja a téli álm, pl. csökken a testhőmérsékletük, a szívverésük, a légzésszámuk, vizeletkiválasztásuk lelassul. Érdekes, hogy az emlősökön található élősködők is nyugalmi állapotot vesznek fel.

1.5. Komfortmozgás

A **komfortmozgás** is létfenntartási viselkedés. A paraziták elleni védekezést szolgálja a testápolás. A kültakaró tisztán tartása fajra jellemző. A gyermekek által is jól megfigyelhető házi légy mellső lábaival sűrűn tisztogatja a fejét, ezáltal a csápokat és a tapogatókat tartja tisztán, hátulsó lábaival gondozza a szárnyát, a potrohát. A madarak por- és vízfürdője szintén a tisztálkodást szolgálja. Különösen fontos a fürdés a ragadozó madaraknak és a dögevőknek, hogy megszabaduljanak a zsákmányról a tollazatukra került szennyeződéstől. A vízimadarak, pl. a récék, időnként bekenik tollaikat fartőmirigyük faggyújával, hogy vízlepergetővé tegyék. Az emlősöknél szintén gyakran megfigyelhető a por-, víz- vagy sárfürdőzés: a vad-disznó, a szarvas dagonyázik, sárfürdőt vesz, majd a testükre száradt iszapot ledörzsölik, így szabadulnak meg a rájuk tapadt élősködőktől, a házimacska is nyalogatja a szőrét, ezzel kielégíti konyhasószükségletét is. A főemlősök gyakran kurkásszák magukat vagy társaikat, aminek fontos szerepe van a majmok társas viselkedésében is.

2. Az állatok társas viselkedése

A **társas viselkedés alapjai: a csoportszerveződés, az agresszió, a kommunikáció, altruizmus (önzetlen magatartás), az együttműködés a fajtársakkal, a szaporodási viselkedés.**

2.1. Csoportszerveződés

Az állatok természetes élőhelyeiken fajra jellemző módon magányosan élnek, vagy időlegesen, illetve tartósan valamilyen csoportba tömörülnek.

A szociális kötődés szempontjából a csoportosulás többféle típusát különböztetjük meg:

1. **Gyülekezet:** hiányzik a szociális vonzódás, pl. alpesi szalamandrák telelése.
2. **Anonim csoportosulás:** az egyedek között nem alakul ki személyes kapcsolat. Ez lehet **nyitott anonim csoportosulás**, ahol az egyedek szabadon csatlakozhatnak és távozhatnak, pl. halak. A **zárt anonim csoportosulás** tagjai egyedi kapcsolatot nem tartanak fenn, de valamilyen közös jelzésről felismerik a kolónia tagjait, és csak velük viselkednek békésen, elüldözik az idegen fajtársakat. Közös jelzés pl. patkányoknál az egymás levizeléséből származó szag.
3. **Individualizált csoport:** ezen belül az egyedek kölcsönösen felismerik egymást, különböző pozíciókat foglalnak el az egyedi kapcsolatok, az együttműködés és az agresszió eredményeként, pl. majmok, kutyafélék, oroszlánok. A csoportokban élő fajok egyedeinek viselkedését meghatározó tényezők a szociális vonzódás, az agresszió, a szociális funkció, a kommunikációs képesség.

A madarak és emlősök között gyakori a **család** kialakulása, amely szülőállatok és ivadékaik közössége. Általában az ivadékok felneveléséig tart, de vannak állatok, amelyeknél egész életen át (nyári ludak, hattyúk, gibbonok). Az ivadékgondozás alapján a család lehet szülői család, pl. a nyári ludaknál; anyacsalád pl. a pajzsos cankó madárfajnál; valamint apacsalád, pl. a tüskés pikó családja. Az egyes fajok családjai (pingvinek, vetési varjak, kormoránok, kócsagok) nagyobb méretű közösségekbe, **kolóniákba** (telepekbe) tömörülnek. Némely faj (mezei pockok, vándorpatkányok) közösségei közös territóriumban élnek, több nemzedék együtt falkát alkot, amelyet **nagycsaládnak** neveznek. Összehangoltan működő **államot** alkotnak a hangyák, a méhek és a termeszek. Az összehangolt működést elsősorban nagy hatású feromonok biztosítják.

A csoportban élő állatok egyedei a rendelkezésre álló tér egy részére igényt tartanak. Egy részük kifejezetten törekszik ilyen **személyes tér** kialakítására. Ezek az úgynevezett távolságtartó állatok. Az apró énekesmadarak többsége ilyen, például a saját fészkelőhelyüket jelölik ki és védik. A személyes tér tartása rugalmasan változik a közelítő állat magatartásával. A kontaktust tűrő állatok (denevérek, méhek stb.) a testi érintkezést is elviselik.

2.2. Agresszió

Az agresszió az erőforrások (terület, táplálék, nőtények, búvóhely stb.) optimális elosztását eredményezi az egyedek között. Ennek során az erőforrások használatában igyekeznek egymást korlátozni az egyedek. Mindig csak fajtársak között figyelhető meg.

Típusai:

1. A **territoriális** (területi) **agresszió** célja egy terület (territórium) birtoklása. Fokozatai: a) a territórium határait hanggal (madarak), szagjelzéssel (emlősök: vizelet, illatmirigy) kijelölik. Ha ez nem elegendő, b) ritualizált harc következik, amikor testtartásokkal, hanggal ijesztgetik a betolakodót, ez inkább kommunikációs mintsem tényleges támadó aktus. c) A valódi harc, amely gyakran halálos kimenetelű lehet, ezután következik.
2. A **rangsorral kapcsolatos agresszió** során a rangsor (egyfajta alá- és fölérendeltségi viszony) teszi lehetővé az erőforrások legkisebb energiaráfordítással történő elosztását. A gyengébb egyed életben maradását szolgálja a behódolás (kutyák a hasukat, majmok a feneküket mutatják), amely viselkedésváltozást igényel.
3. A **szülői fegyelmező agresszió** az emlősökre jellemző. Kölykeiket rendszeresen fegyelmezik valamilyen okból, pl. hogy csendben tartsák, hogy lassabb vagy gyorsabb mozgásra ösztönözzék.
4. Az **elválasztási agresszió** az utódok szülői leválásának kényszerítése, fenyegetéssel, sőt bántalmazással.
5. Az **emberi agresszió**, amely lehet biológiai (sok benne az örökletes tényező, kisgyermekekre jellemző) vagy kulturális (csoportos pl. a háború).

2.3. Kommunikáció

Az **állatok kommunikációja** jelrendszer alapján történő információcsere, a társas kapcsolatok kialakulásának és fenntartásának alapvető feltétele. Fontos, hogy felismerjék egymás indítékait, állapotait. A gyermekeknek is fontos, hogy a közvetlen környezetükben élő állatok jeleit, jelzéseit értelmezni tudják.

Az állatok kommunikációja zárt. Ez azt jelenti, hogy a fajra jellemző jelkészletet tartalmazza az állati „nyelv”. Az információt a jeladás intenzitása hordozza.

Formái: kémiai, vizuális és akusztikus.

A **kémiai kommunikáció** alapját az egyedek kültakarójának mirigyeiben termelt szaganyagok, feromonok adják. A feromon hormonszerű anyag, amelyet az egyik állat a külvilágba ürít, és ezzel megváltoztatja egy másik állat viselkedését, annak ízlelésére vagy szaglására hatva. Ilyen pl. a méhek halálferomonja, amelyet ha a dolgozók észlelnek, kidobják a kaptárból a társuk tetemét. Jelentős lehet a párválasztásban, a terület kijelölésben, a veszélyre figyelmeztetésben, egymás felismerésében.

A **vizuális kommunikáció** az állatok látására épül, amelynek során jelzés lehet a szín, a mintázat, a testtartás és a mozgás.

Leggyakrabban a szaporodási viselkedésben van szerepe. Igen érdekes, összetett kommunikációs forma pl. a méhek tánca.

A fajok között is történhet kommunikáció riasztó színekkel, pl. az erő méreganyagot termelő fajok élénk színűek, valamint más élőlény vagy a környezet mintájának, színének, külalakjának, mozgásának utánzásával, ez a mimikri jelensége.

Az **akusztikus kommunikáció** alapja az állatok hangadása és hallása. A rovaroknál és a kételtűeknél a szaporodással kapcsolatos. Legváltozatosabb a madarak jelrendszere. Az emlősök képesek a legösszetettebb kommunikációra.

Az állatok vizuális jelekkel és a hangadással történő kommunikációja a gyermekek számára is jól értelmezhető. A séták, kirándulások során közvetlen élményként meg tapasztalhatják/meg tapasztalják egyes állatok viselkedését, utánozhatják/utánozzák azt, megjelenhet/megjelenik a játékban, a mozgásos feladatokban.

2.4. Altruizmus

Az **altruizmus** (önzetlenség) az egyed fajtársak segítségét szolgáló magatartása, azon az áron, hogy saját maga hátrányba kerül. A populáció fennmaradásának esélyét növeli. Az államalkotó hártóasszárnyúak és az emlősök (majmok, oroszlánok, ürgék, mormoták) körében figyelték meg, hogy az önzetlenség mértéke egyenesen arányos a rokonság fokával.

2.5. Együttműködés a fajtársakkal

Az **együttműködés a fajtársakkal** a közös célok érdekében minden szociális vonzódást mutató állatnál megjelenik valamilyen mértékben. Igen nagymértékű az együttműködés a méhállamban, ahol a munkamegosztás szinte tökéletes. A társasan élő hódcsaládok is nagyon összehangolt munkát végeznek a várak, duzzasztógátak építésével.

2.6. Szaporodási viselkedés

Az **állatok szaporodási** (szexuális) **viselkedése** a faj fennmaradását szolgálja. Az ivarérett állatokra jellemző belső (pl. hormonok) és külső (pl. táplálékbőség) tényezőktől függ, és meghatározott időszakoként ismétlődik. A mérsékelt éghajlati övezetben az állatok többségükben tavasszal, nyár elején szaporodnak.

A szexuális viselkedés a faji elkülönülés részének is tekinthető. A szexuális viselkedés jellemzői: a szexuális szelekció, az udvarlás, a nász és az ivadék gondozás.

A **szexuális szelekció**, amikor nem minden egyed vesz részt a párválasztásban, jellegzetes viselkedési mechanizmusok kialakulásához vezet. (A hímek többsége nem jut szaporodási lehetőséghez, versengeniük kell a nőstényért mint erőforrásért.)

A **párválasztást** különböző ingerek (látási, hallási és kémiai) segítik elő.

A látási ingerek szerepe az ellentétes nem felismerésével, a párok kialakulásával van szoros kapcsolatban. Rovaroknál példa erre a szentjánosbogár fénykibocsátása, a halak hímjeinek nászruhája, pl. a tüskés pikó tűzpiros hasa, a madarak hímjeinek imponáló, dürgő testhelyzetei, feltűnő színű tollazatuk.

Hallási ingerekre példa a sáskák, tücskök hímjeinek ciripelése, a békák hímjeinek hangos brekegése, a madarak dalolása.

Az emlősök szagjelzéseket adnak le. A kémiai ingerként ható feromonokat a vizelet tartalmazza. A rovarok is feromonok segítségével találják egymásra.

Az **udvarlás és a nászjáték** fajra jellemző (a hím lugasépítő madár színe jellegtelen, ezért „építmény, lugas” létrehozásával hívja fel magára a figyelmet), megakadályozza a rokon fajok kereszteződését, az ivari partnerek izgalmi állapotát fokozza és összehangolja, az egyedek közötti távolságot csökkenti.

A **párizás** az udvarlást és a nászjátékot követi. Ennek során monogám vagy poligám csoportok alakulnak ki. A monogámia során egy hím és egy nőstény között történik a párosodás, az egyedek együtt maradnak a szaporodási időszakok között is, több évre vagy egész életre. Előnyei: csak egyszer, a kapcsolat elején kell az udvarlásra energiát fordítani, az egymást kiismerő pár tagjai között kevesebb az agresszió, az ivadékgondozásban részt vesz a hím. Az emlősök között ritka, a madárfajok 90%-a monogám. Egy életre választanak párt pl. a szirti galambok, a hattyúk, a darvak, a ludak, egyes gibbonfajok. Egy-egy szaporodási periódusra alakítanak monogám párt a kisebb testű énekesmadarak. A tüskés pikó monogám hímje egy szaporodási időszakban egy-egy nősténnyel egymást követően többször monogám párt alkot. Szezonális monogámia az, amikor a pár csak a szaporodási időszakra alakul ki, pl. gólyák, sirályok, kistestű vándormadarak között. A gólyáknál a régi fészkek iránti hűség igen nagy, a külön töltött tél után a régi fészkekbe térnek vissza. Előnye, hogy pl. az ismerős párok előbb kezdenek a fészekrakáshoz.

Poligámia esetén 2-3 nősténnyel is párosodnak a territoriális hímek, az ivadékgondozásba általában nem kapcsolódnak be. Erőforrás-védelmű poligámia fordul elő pl. egyes pacsirtafajoknál, ahol a hím territoriális viselkedése befolyásolja a nőstények párválasztását. A nőstényeket védő poligámia esetén a párosodástól függetlenül csapatokba verődött nőstényeket kisajátítják egyes hímek, megakadályozva ezzel a többi hím párosodását.

Poligám családban, többnejűségben szaporodnak az emlősöknél pl. a fókák, a szarvasok; a madaraknál pl. a pulykák, a fácánok, a házi tyúkok. Többférjűségre példák a guvatok, a fürjek. A nőstény az összegyűjtött néhány hímmel költeti ki 2-4 tojást tartalmazó fészkealját.

Szabad szerelem jellemző a kakukkfélék nemzetségének egyes fajaira.

Változatos formákban valósul meg a párzás is. A kecskebéka hímje, a nőtényt hátulról átkarolva, kiszorítja abból a petéket. A madaraknál a tojó jellegzetes lehúzódása váltja ki a hím párzó aktivitását.

Ivadékgondozásnak azokat az önzetlen magatartásformákat nevezzük, amelyek növelik az utódok fennmaradási esélyeit, elősegítik zavartalan felnövekedésüket. A viselkedésformáknak ezt a részben öröklött, részben tanult sorozatát az utódok viselkedése mint kulcsinger váltja ki. Ilyen a madárfiókák csórtátogatása, az emlősök kicsinyeinek hangja.

A lerakott peték és/vagy az utódok számával fordítottan arányos a gondozás mértéke. Semmilyen ivadékgondozás nincs számos rovarnál, a halak nagy részénél, a kétélűeknél és a hüllőknél általában. A madarak és emlősök kisebb számú utódaiknak gondos szülei, etetik és gondozzák azokat.

Néhány példa az ivadékgondozás speciális eseteire:

- ♦ A növényevő rovarok többsége egyesével vagy kisebb-nagyobb csomókban a tápnövényeikre rakja petéit. A paraziták mások lárvájába (fejlődési alak), néha az imágóba (kifejlett rovar) petéznek. Egyes darazsak megölt pókot vagy hernyót helyeznek el petéik mellé. A társasan élő, ún. államalkotó rovarok és néhány magányos rovarfaj eteti és gondozza kicsinyeit. A százlábú gyűrűbe csavarodva védi petéit és kikelt ivadékait. A temetőbogarak ivadékgondozása fejlett: az emésztőnedveikkel felpuhított tetem biztosította táplálékon túl az anya az ivadékait gyomorváladékával is eteti. A folyami rákok potrohuk hasoldalán hordják a petéiket és egy darabig a kikelt ivadékokat is.
- ♦ A fészekhagyó madarak (tyúk, kacs, liba) többnyire több tojást raknak, mint a fészeklakók (cinke, fekete rigó, fecske). Néhány madár nem a teste melegével költi ki a fiókáit (a kalapácsfejű tyúk a tojásait vulkáni hamu melegítette talajra rakja, a homoki lábastyúk félsivatagos területen a talajba kapart fészkébe eukaliptuszlombot helyez, amelynek a bomlásából származó hő és a nap melege költi ki a tojásokat).
- ♦ Az ivadékokat a szarvasok, a vaddisznók vezetik, védik. Hordja a fiatalokat a búbos vöcsök, a denevérek, az erszényesek, a majmok.

A gyermekek mindegyik viselkedési forma „szemtanúi” lehetnek. A párválasztás, udvarlás, pl. galambok, az ivadékgondozás (az óvoda, iskola udvarán, kertjében fészkelő madárfajok fiókanevelése, valamelyik családnál lévő kisállat utódgondozása) azok a viselkedési formák, amelyek a legtöbb, számukra legérthetőbb tapasztalatgyűjtési lehetőséget jelentik.

IV. ETOLÓGIAI FOGALOM- ÉS PÉLDATÁR

Ebben a fejezetben az előző, *Etológia* fejezetben használt legfontosabb fogalmakat gyűjtöttük ki, így részben ismétléseket tartalmaz. A fogalmak magyarázata mellett egy vagy több példát is felsorolunk, ezzel is segítve az alaposabb és mélyebb ismeretek megszerzését.

1. Ösztön: sajátos szerepű magatartáscsoport. Benne vagy uralkodnak az öröklött elemek, esetleg kizárólagosak lehetnek, vagy meghatározott hierarchiában kapcsolódnak egymáshoz az öröklött és a tanult elemek.

- ♦ *Fiatal pulykatojó tapasztalat nélkül felneveli a csibéit. Öröklötten jó anya? Az első költés előtt megsiketített tojók megölték a kicsinyeiket. Ha olyan tojókat fosztottak meg a hallásuktól, amelyek már többször költöttek, azok önfeláldozóan felnevelték csibéiket. Ebből az következik, hogy az első alkalommal a pulykatojó a kicsinyeit hangjukról ismeri fel, majd a hangingert követően megtanulja, hogy milyenek. Ezért később már látás alapján is azonosítja azokat. Tehát az ösztönös viselkedésben összefonódhatnak az ösztönös és a tanult viselkedéselemek.*

2. Öröklött viselkedés: A környezettől függetlenül az állat génjeiben található a magatartásforma teljes kifejlődéséhez szükséges valamennyi lényeges információ, nincsenek benne tanult mozzanatok. **E. Mayr** angol etológus (1970) szerint, az öröklött viselkedési elemek előzetes tapasztalatok nélkül valósulnak meg, genetikailag meghatározott sorrendben zajlik le minden elemük, ún. **zárt genetikai program** alapján.

- ♦ *Egy pókfaj (Cupeinnius salei) nőténye petetokját több mint 6400 elemi mozdulattal szövi. Ha a 2300. mozdulatnál, amikor elkészült a petetok alsó része, a pókot új helyre teszik, nem kezd új petetok készítéséhez, a zárt genetikai program alapján ott folytatja a munkáját, ahol abbahagyta. A 6400. elemi mozdulat után lerakja a petéit, amelyek természetesen kihullanak a lyukas tokból.*
- ♦ *Minden fészekparazita madár, így a kakukk is, amelyet nem a szülei költenek ki, tévedhetetlen biztonsággal felismerik fajtársaikat a fészek elhagyása után.*
- ♦ *A prédaállatok nem tanulják, de elsöre, azonnal felismerik a ragadozókat. Madarak röpképmoelljeit mozgatva baromfiak (libák, kacsák, házityúk) felett, azok csak akkor keltettek riadalmat, ha rövid nyakuk és hosszú farkuk volt, ami a ragadozókra jellemző. A vadlúdmodell fejjel előre felé mozgatva (hosszú nyak, rövid fark) nem keltett riadalmat, de megfordítva (rövid fark, hosszú nyak) a testállatok erőteljes vészreakciót mutattak.*

2.1. Feltétlen reflex: az öröklött viselkedési elemek legegyszerűbb formája. A neki megfelelő (adekvát) ingerre vagy ingerek csoportjára automatikusan (szabályosan és tipikusan) bekövetkező válaszreakció. Formaállandó, azaz az inger hatására egyféleképpen játszódik le. A feltétlen reflex lényege tehát: meghatározott válaszreakció következik be, valamilyen meghatározott ingerre.

IV. ETOLÓGIAI FOGALOM- ÉS PÉLDATÁR

- ♦ *A rovarok és halak körében gyakori az ún. lefagyási reakció. A kellemetlen ingerre, pl. a predátor megjelenésére az állat teljes mozdulatlansággal reagál, mintegy halottnak tettetve magát. A predátor nem nyúl a halott prédához, ez rögzült a törzsfejlődés során genetikai állományában.*
- ♦ *Egy kutya, ha megérzi a táplálék szagát, megindul a nyáleválasztása; ha belelép egy tüskébe, felkapja a lábát.*
- ♦ *Béka menekülési reflexe: a vízzel telt edény elé helyezett béka lábát csipesszel, enyhe erővel megcsípve, a béka az inger hatására az edénybe ugrik és úszva menekül.*
- ♦ *Amőba legömbölyödési reflexet mutat, ha tűvel megszúrják.*
- ♦ *Emberi reflexek: a) csecsemőkori: karoló, fogó, szopó; b) maradó: szembogár és szemhéj, nyáleválasztó és térdkalács reflex.*

2.2. Taxis: az inger által irányított mozgás, amikor az inger orientálja is az állat viselkedését, nem csak kiváltja. Ez már nem formaállandó, mert az inger irányától függ a válaszreakció.

- ♦ *A kullancsok mozgása, amelyet a vajsav (az emlősök verejtékében lévő jellegzetes illatú karbonsav) és a melegvérűek által kibocsátott hő vezérel.*
- ♦ *A fénykedvelő lepkék spirális pályán közelítik meg a fényforrást, amelynek következtében beleesnek.*
- ♦ *Papucsállatka odaúszik a táplálék szemcséhez, és elúszik a szén-dioxid buboréktól.*
- ♦ *Léglárva bebábozódás előtti negatív fototaxisa.*
- ♦ *Örvényféreg két szemét használva elcsúszik a két fényforrás között.*
- ♦ *Béka zsákmányszerzése, menekülése – méretfüggő: vagy odafordul, felugrik és csapónyelvvel megszerzi a zsákmányt, vagy ha az túl nagy, elfordul és a víz felé ugrik.*

2.3. Öröklött mozgáskombináció (öröklött mozgásmintázat): szigorú sorrendben lezajló, merev magatartás, amelyet többnyire külső ingerek vagy ingercsoportok váltanak ki. Ilyen pl.:

- ♦ *a Cupiennius salei pók petetokszövése;*
- ♦ *a kutyafélék táplálékrejtő viselkedése jóllakottság esetén – elássák a maradékot;*
- ♦ *a mókus táplálékrejtő viselkedése – fém ketrecben tartva is „elrejt” a diót, makkot (mintha lyukat ásna a fém alapba, bár az elrejtendő elgurul, betemeti a lyukat);*
- ♦ *a madarak fészeképítése;*

- ♦ *embernél az evés közbeni többszöri körültekintés (a ragadozók észlelése céljából az emlősöknél gyakori).*

2.3.1. Kulcsinger: azok az ingerek, amelyek kiváltják az öröklött elemeket.

- ♦ *A hím vörösbegy agresszív magatartását a szaporodási időszakban a fajtárs hímekkel szemben azoknak a begyén lévő vörös folt váltja ki. Egy vörös tollcsomót is megtámad, viszont ha elfedik a vörös foltot a vetélytárs begyén, az ép és teljes állat sem vált ki belőle agressziót.*
- ♦ *A tüskés pikó is hasonlóképpen védi területét: a piros hasú de durva kidolgozású modelleket (állatkísérletekben) sokkal erőteljesebben támadja meg, mint az élethű, de nem piros hasú modellt.*
- ♦ *Önfenntartó viselkedést válthat ki pl. szűnyogcsípés, új táborhely, finom étel.*
- ♦ *Szaporodási viselkedést – küzdelmet – válthat ki pl. a hím tüskés pikó behatolása egy másik hím felségterületére.*
- ♦ *Társas viselkedést válthat ki pl. ha egy tanár két diákot küld ki az óráról.*
- ♦ *Akusztikus jellegű kulcsinger, amikor a pulykatojók a hangjukról ismerik fel a csibéiket. Egy kitömött görényen is nyugodtan kotlanak, ha pulykacsibe csipogása hallatszik a belsejéből.*
- ♦ *Nagyon általános jellegű kulcsingerek is vannak: a menekülési reakciót pl. sokféle környezeti hatás kiválthatja (erős hang, erős fény, árnyék, mozgás).*

2.3.2. Szupernormális inger: a különösen erős reakciót kiváltó ingerek.

- ♦ *A csigaforgató madár számára a fészekalj nagysága, ill. a tojás nagysága a kulcsinger. Mindig arra a fészekre ül, amelyik több, illetve nagyobb tojást tartalmaz. A fészken kívül lévő saját és a strucctojs közül, a sajátjával nem törődve, a nagyobbakat akarja a fészekbe gördetni.*
- ♦ *A kakukkfőka nagyobb, és jóval kifejezőbb a tátogatási reakciója is, mint a gazdamadár fiókáié.*
- ♦ *A reklámok is kihasználják a szupernormális ingerek ellenállhatatlanságát: extra méret, 'super size', big ..., mega-..., hiper-...*
- ♦ *A csokoládé édes íze és magas zsírtartalma miatt az emberré válás során ritka kincs volt. Ezért tekinthető szupernormális ingernek.*
- ♦ *A szexfilm maga alá gyűri a magányos serdülők vagy ifjúkorúak gondolatvilágát.*
- ♦ *A nagyobbra méretezett piros lámpa (közlekedésnél, tiltó vagy vészjelzésként) hatékonyabban teljesíti a feladatát.*

2.3.3. Öröklött kioldó mechanizmus (K. Lorenz): a kulcsinger és a motiváció (intenzitásának jellemzője a *drive*) együttes hatása.

- ♦ *gyenge kulcsinger – gyenge motiváció → nem váltja ki a magatartást;*
- ♦ *erős kulcsinger – gyenge motiváció → hatástalan: egy ragadozó emlősállat ivarzásakor nem törődik a mellette legelésző prédával, mert az éhségét elnyomja a szexuális késztetés;*
- ♦ *erős kulcsinger – erős motiváció → mindig hatékony;*
- ♦ *nagyon erős motiváció – nagyon gyenge kulcsinger (vagy annak hiánya) → kiválthatja a viselkedést. Például a kismacskának egy pamutgombolyag is elég az egér „fárasztásának” gyakorlásához.*

3. Tanult magatartásformák (nyitott genetikai program)

3.1. Bevésődés (imprinting):

- ♦ *A fiatal egyedek így tanulják meg elválasztani az ehető és nem ehető táplálékokat.*
- ♦ *Ragadozóknak ez a tanulási folyamata teszi lehetővé nem mérgező élőlények számára, hogy a mérgező rokonaikéhoz hasonló megjelenéssel elkerüljék az áldozattá válást.*
- ♦ *Szülei bevésoedés: A kiskacsa (és más fészekhagyó madarak fiókája) 13–16 órás életkorában minden mozgó élőlényt vagy tárgyat követ, mintegy fajtársának tekintve azt. (Kiscsirkénél ez a bevésoedési intervallum 10–35 óra). Előtte semmit nem követnek, utána mindentől félnek. A csecsemőnek második és hatodik hónapos életkora körül alakul ki kötődése az édesanyjához.*
- ♦ *Szexuális bevésoedés: Az állat egyedfejlődésének igen korai szakaszában megjegyzi szexuális szempontból a körülötte lévő fajtársak jellegzetességeit. Bizonyos fajok állatkertben nevelt egyedei gyakran gondozók iránt mutatnak felnőtt korukban szexuális érdeklődést, mint pl. az óriáspanda hímek. Így lehetetlenné válik állatkerti szaporításuk.*

3.2. Megszokás (habituáció):

- ♦ *A megszülető sirályfióka kezdetben minden feje felett mozgó tárgyra összehúzza magát (lehulló falevelek, ártalmatlan madarak), később ezt a magatartásformát a ragadozó madarak kontúrja váltja csak ki.*
- ♦ *A zöld hidra gyenge mechanikai inger hatására (szőrszállal simogatva a karját) összehúzódással válaszol, az ingerlést folytatva csökken ennek intenzitása.*

- ♦ *Az asztalon mászó csiga azonnal megáll és még a házába is visszahúzódik, ha az asztalra koppintunk. Kis szünet, aztán kibújik, folytatja útját, újabb koppintásra megint visszahúzódik, de már hamarabb előbújik, a további koppintások egyre kevésbé váltanak ki válaszreakciót, míg végül az inger teljesen hatástalan lesz.*

3.3. Érzékenyítés, érzékennyé válás (szenzitizáció)

- ♦ *Planáriák (laposférgek) áramütés hatására összerándulnak (feltétlen reflex). Sorozatos áramütések után az áramütés helyett felvillanó fényre is összerándulással reagálnak. Ez azt jelzi, hogy annyira érzékennyé váltak, hogy a feltétlen reflexet egy közömbös inger is kiváltja.*
- ♦ *A gyengébb önuralmú ember erős terhelés, nagyfokú stressz hatására dühkitöréssel, sírógörccsel, hisztériázással reagál egy jelentéktelen ingerre is. (A népnyelv szerint ez a gyenge, közömbös inger „az utolsó csepp a pohárban”.)*

3.4. Aktiválás: amikor aktiváló, rávezető inger szükséges egy meghatározott magatartásforma megjelenéséhez és tartós rögzüléséhez.

- ♦ *Egymástól izoláltan nevelt kiscsirkék közül, amelyek legtöbbször így is csipegetett, egy dús pihékkel borított fajta egyedei nem csipegettek. Egymás mellé rakva viszont igen gyorsan egyszerre csipegetni kezdtek. Több kísérlet eredményeként megállapították, hogy a csirke lábujjainak látványa mint rávezető, aktiváló inger idézi ezt elő. Ha az állatok együtt vannak, először egymás lábujját csipegetik, azután a magvakat. Az egyedül tartott csirke rávezető ingere a saját lábujja, amit a dús tollazatúak nem látnak, így akár éhen is halhatnak, bár előttük van a táplálék. A normális tollazatú csirkéknél, ha a lábukra papírgallért húztak, nem alakult ki a csipegető magatartás.*

3.5. Tanulás belső tanítóprogram alapján (veleszületett tanítómechanizmus): amikor az állat genetikai memóriája tartalmazza azokat a magatartási elemeket, amelyeket az állat a külső ingerforrás (préda) aktiválására válaszként ad.

- ♦ *Példa: a görény prédaölési technikája. A felnőtt görény a préda nyakszirtjét megragadva erős harapással öli meg azt. Elkülönítve nevelt görények a kiscsirkét először nem prédának, hanem játszótársnak tekintették. Azután az izolált állatokhoz betett patkány, amikor a görény játszani akart, durván visszaharapott. A görény ezt elkerülendő ott ragadta meg, ahol a patkány a legveszélytelenebb, azaz a nyakszirtjén. Egyetlen ilyen tapasztalat birtokában a görény biztosan és gyorsan megölte a következő csirkét.*

3.6. Tanulás ismétléssel: az állat különféle válaszreakciók hatékonyságát megtapasztalva az ingerre a legeredményesebb reakcióval válaszol.

- ♦ *Egy akváriumi hal enyhe áramütésre lefagyási reakcióval válaszol. Áram alatt maradva olykor elmenekül az áramforrástól. Megismételve a kísérletet egyre többször, majd minden áramütésre elmenekül. Megtanulja a számára előnyösebb viselkedést választani.*

3.7. Tanulás társítással (kondicionálás) – benne alapvetőek az öröklött elemek.

3.7.1. Feltételes reflex: Pavlov kutyakísérlete

- ♦ *Ez a mechanizmus az alapja azoknak a reklámoknak, amikor egy terméket társítanak valamilyen mindenki számára kíváncsi állapottal (például egy gépjárművet a szerelem képével vagy egy mosószer a boldog családi reggeli képével tesznek kíváncsiat).*
- ♦ *A békák, ha véletlenül bekapnak egy sárga-fekete csíkos (társinger) zsákmányt, ami csíp (kulcsinger), szinte azonnal megtanulják, hogy elkerüljék az ilyen prédát.*
- ♦ *Patkányok tájékozódása labirintusban.*

3.7.2. Operáns tanulás (instrumentális tanulás): az állat véletlenszerű próbálgatás során azt tanulja meg, hogy melyik cselekvésnek mi a következménye, vagyis bizonyos célok eléréséhez milyen magatartásra van szükség.

- ♦ *Próba-szerencse: B. F. Skinner – Skinner-box (ún. „billentyűlenyomásos módszer”): Kísérleteiben egy éhes állatot, általában patkányt vagy galambot helyezett egy dobozba, melyben csak egy pedál volt, alatta pedig egy etetőtál. Az állat a dobozban körbejárt és véletlenül megnyomta a pedált. A kísérletvezető bekapcsolta az ételadagolót, innentől kezdve ahányszor az állat rálépett a pedálra, étel hullott a tálba. A patkány megette az ételt, majd ismét megnyomta a pedált, az étel megerősítette a pedálnyomást, azaz a sikeres viselkedést.*
- ♦ *E. L. Thorndike az állatok problémamegoldó gondolkodásának vizsgálatára ún. problémaketreceket (Thorndike-féle ketrec) konstruált, amelyekbe macskát, kutyát vagy csirkét helyezett el. Az éhes macska egyszerű retesszel ellátott ketrecén kívül egy darab halat helyeztek el. A macska először a rácson keresztül próbálta elérni, amikor nem sikerült, idegesen fel-alá járkált. Egyszer véletlenül rácsapott a nyitó-szerkezetre, kiment és megette a halat. Többszöri kísérlet után a macska, elhagyva minden felesleges mozgást, rögtön a nyitó-szerkezethez ment.*
- ♦ *Ilyen módon tanulja meg a kutya, hogy milyen mozgássorozattal tud gazdájától élelmet kérni.*
- ♦ *A cirkuszi állatmutatványok túlnyomó többsége is operáns tanuláson alapul.*

3.8. Belátásos tanulás: ilyen esetekben az élőlény valamilyen korábban ismert mozgássorozatot egy új cél elérésére alkalmaz, mert felismeri, hogy az ebben az esetben is segít. Eddig csak madarakban és emlősökben sikerült kimutatni ilyen magas szintű tanulási folyamatot.

- ♦ *A belátásos tanulás kísérleti bizonyítéka volt, amikor csimpánzokat a siketnémák jelbeszédének nagyon leegyszerűsített változatára sikerült megtanítani, amit azok az egymás közötti kommunikációban is alkalmazni tudtak.*
- ♦ *Csimpánzok banánszerzése, általuk meghosszabbított bottal (W. Köhler kísérlete).*

V. EVOLÚCIÓ

1. Evolúció fogalma

Az evolúció latin eredetű szó, eredeti jelentése egy könyvtekercs kibontása, olvasása (*ex + volvere*). Hétköznapi értelemben az evolúció alatt elsősorban az élővilág történeti fejlődését értjük, vagyis azt a folyamatot, amelynek során élőlények sokasága alakult ki, és többségük ki is halt az évmilliók alatt. Gyakran még általánosabban is használjuk az evolúció szót, amikor valamely folyamat, eszköz, játék vagy akár társadalom hosszabb-rövidebb idő alatt bekövetkező fejlődésére, bonyolultabbá válására utalunk.

Napjainkban az élővilág evolúciójának általánosan elfogadott definíciója: a fajok természetes úton való kialakulása, melynek irányát a faj genetikai jellemzői által meghatározott tulajdonságok, valamint az élő és élettelen környezet változásai és ezek folyamatos egymásra hatása befolyásolják.

2. Evolúciós elméletek

Az élet keletkezésére vonatkozó elméleteket már érintettük e jegyzet elején, a **teremtéstanok**, az „**ősnevezés**”, az „**öröktől való létezés**” és a „**pánspermia**” elméletek egymást váltva, kiegészítve, egymás mellett létezve egészen a 19. század közepéig kitartottak. Habár az evolúciós gondolkodás gyökerei már az ókori filozófiai gondolkodásban megjelentek, a biológiával foglalkozók körében sokáig uralkodott a **fajok változatlanságának teóriája**. Az évek során azonban egyre több ősmaradvány került elő, és egyre szembeötlőbb volt a korábban élt élőlények és a maiak közti különbség. Az ellentmondásokat eleinte pl. több egymást követő özönvíz bekövetkeztével, **katasztrófaelméletekkel** magyarázták; és a teremtményszó még nagyon sokáig uralkodó maradt. A 18. század végére kezdtek megjelenni geológia bizonyítékok is, amelyek azt igazolták, hogy maga a jelenleg ismert földfelszín is egy fejlődési folyamat során alakult ki, és az ezt létrehozó erők még mindig működnek; később ugyanezt feltételezték a kozmoszról is. Ezen elméletek alapozták meg azt, hogy a fajok folyamatos változásáról mint tényről beszélni lehessen. Megjelentek az első **evolucionista elméletek**, amelyek egyik korai képviselője **Erasmus Darwin** (a mindenki által ismert Charles Darwin nagyapja) volt, aki az élő szervezetek közös őstől való származásának gondolatát vetette fel. Számos teória született mind az evolucionista, mind a katasztrofista oldalon. Kiemelendő **Jean-Baptiste de Lamarck** 1809-ben megfogalmazott elmélete, amelyben a szerzett tulajdonságok öröklődését feltételezte. Szerinte az élőlények a folyamatosan változó környezeti feltételek hatására új viselkedésformákat vesznek fel, amelyek következtében megváltozik az egyed felépítése, és ezek a változások átöröklődnek az utódokra. Nem foglalkozik az élővilág közös eredetével, de kimondja, hogy az élőlények folyamatosan és lassan megváltoznak, így alakulnak ki az újabb és újabb fajok. Elmélete szerint a folyamatok az egyszerűbbtől a komplexebbé való fejlődés irányába haladnak: a gyakrabban használt szervek tökéletesednek, míg

a kevésbé használtak elcsökevényesednek, és az így szerzett tulajdonságok öröklődnek. Magyarázatai ma már nem állják meg a helyüket, de fontos előrelépést jelentettek az evolúció tudományának fejlődésében.

A mai modern evolúciós gondolkodás alapjai **Charles Darwin** és **Alfred Russel Wallace** nevéhez köthetők. Wallace Darwinnal egy időben jutott nagyon hasonló következtetésekre, de a köztudatban Darwin neve vált ismertebbé. Darwin saját megfigyeléseit és elődei tudását összegezve alkotta meg az evolúció tudományos magyarázatát. Elméleteit 1895-ben megjelent könyve tartalmazta, amelynek címe: „A fajok eredete a természetes kiválogatódás útján”.⁴

Darwin evolúciós elmélete négy alapvető tézisen alapul.

- ♦ Több utód születik, mint amennyi életben fog maradni, vagyis a populációk potenciális szaporodóképessége miatt egyre gyorsuló ütemben nőhetne egy populáció mérete.
- ♦ Az életben maradásért folyó küzdelem miatt eltérés van az utódok száma és az életben maradtak száma között.
- ♦ Nincs két teljesen egyforma egyed egy fajon belül, vagyis az egyedek különböznek egymástól. Azok az egyedek maradnak életben, amelyek előnyös tulajdonságaik révén rátermettebbnek bizonyulnak adott környezetben (természetes szelekció).
- ♦ A szelekció során életben maradt egyedek utódai hozzájuk hasonlóak lesznek, vagyis a következő generációkban a sikeres tulajdonság gyakoribbá válik. Darwin szerint az idő múlásával ezek a változatok új fajokként különülhetnek el.

Darwin, mivel **Mendel** eredményeit (lásd *Genetika* fejezet) nem ismerte, nem tudott magyarázatot adni arra, hogy miért változatosak a fajok egyedei.

Darwin munkásságának nyomán alakult ki egy **modern evolúcióelmélet**, amely mind a mai napig folyamatosan fejlődik és változik. A molekuláris biológiai, populációgenetikai, rendszertani, ökológiai, és paleontológiai kutatások fejlődése új alapokra helyezte az evolúciós elméleteket is. A napjainkban uralkodó felfogás szerint az evolúciós változások a populációk szintjén mennek végbe, és a populációk genetikai polimorfizmusán, illetve az allélek gyakoriságának megváltozásán alapulnak. A populáció génállománya módosulhat véletlen események miatt, a természetes szelekció vagy elszigetelődés következtében, a környezethez való alkalmazkodás során.

⁴ DARWIN C. (2001): *A fajok eredete természetes kiválasztás útján*. Typotex, Budapest.

3. Az evolúció szintjei: mikroevolúció és makroevolúció

Az evolúció folyamatában fajok keletkeznek és halnak ki, alkalmazkodnak környezetükhöz és más fajokhoz, közben megváltoznak, átalakulnak. Fogalmazhatunk úgy is, hogy az evolúció során az egymást követő populációkban folyamatosan változnak az öröklődő tulajdonságok. Milyen folyamatok állnak ezen változások háttérben? Az evolúciós folyamatok részben faj alatti, részben faj feletti szinten zajlanak, ennek alapján megkülönböztetünk mikroevolúciót és makroevolúciót. A **mikroevolúció** egy-egy faj populációján belüli, vagyis a faj alatti szinten történő változásait foglalja magában. Ilyen folyamatok: a mutáció, a genetikai rekombináció, a génátvitel, a természetes szelekció, a génáramlás, a genetikai sodródás – vagyis minden, amelynek során a populációk genetikai variabilitása változik. Ezen változások következménye az új fajok létrejötte is. A mikroevolúció rövidebb időtávon értelmezhető.

A **makroevolúció** a faj feletti szintek változásait foglalja magában, voltaképpen ez vezet a magasabb rendszertani egységek megjelenéséhez, egészen a törzsek szintjéig. A mikroevolúció során kialakult új fajok populációi annyira megváltoznak a kiindulási populációhoz képest, hogy új nemzetség, új család, új osztály, végül új törzs jön létre. De ide sorolhatók az evolúciós újdonosságok, az evolúciós trendek és a fajok közötti interakciók következtében bekövetkező evolúciós változások is. Ezek a folyamatok a mikroevolúciós léptékhez képest jóval hosszabb időtávon értelmezhetők.

4. Mikroevolúciós változások

A populációk fontos jellemzője a **genetikai összetétel**. A populáció minden egyede többféle tulajdonsággal jellemezhető, melyek nagyrészt megegyezők vagy hasonlóak, azonban az egyedek között kisebb-nagyobb különbségek előfordulnak. Így például eltérő magasság, hajszín, szemszín, bőrszín ellenére is meg tudjuk állapítani, hogy mely egyedek tartoznak az emberi populációba. A populáció génjeinek összessége a populáció génállománya, amely annál változatosabb, minél több allélja fordul elő egy-egy génnek. Mi tartja fenn ezt a változatosságot? Bizonyos tényezők növelik a genetikai variabilitást (meiózis, mutáció, génáramlás, poliploidia) míg mások csökkentik (szelekció, gén sodródás).

A variabilitás növekedésének egyik nagyon fontos hajtómotorja maga a **meiózis**, vagyis az ivaros szaporodás. A homológ kromoszómák véletlenszerű párba rendeződése és szétválása, a rekombináció során történő allél-kicserélődés és az ivarsejtek véletlen egyesülése már önmagában fenntartja a változatosságot. Ezzel azonban csak a már meglévő allélek eloszlása változik. A legfontosabb variabilitásnövelő folyamat a **mutáció**, amelynek során új allélek, ezáltal új tulajdonságok jelennek meg a populációkban. A mutációk lehetnek károsak, szélsőséges esetben életképtelenséget is okozhatnak. A közömbös hatású mutációk akár hosszú ideig fennmaradhatnak, és egy esetleges környezetváltozásnál derülhet ki az előnyük. Ekkor megnő arányuk a populációban. Néha olyan mutáció történik, amely adott helyen és időben előnyös. Ide tartozik továbbá a **génátvitel**, amelynek során a gazdasejt genomjába épül be örökítőanyag.

A **szelekció**, vagyis valaminek a kiválogatása, kiválogatódása nagyon fontos evolúciós hajtóerő. A **természetes szelekció** az a folyamat, amelynek során az adott környezetben kedvezőtlen tulajdonságú egyedek kiválogatódnak, vagyis eltűnnek a populációból. A nőtények csak a legerősebb, legrátermettebb hímekkel párosodnak, így a következő generációba a gyengébbek tulajdonságai nem kerülnek át. Ilyen folyamat például az antibiotikumoknak ellenálló, rezisztens baktériumok kialakulása. Az antibiotikumnak ellenálló tulajdonság a baktériumokban meglévő genetikai változat volt, akkor tudott elszaporodni amikor a többiek az antibiotikum elpusztította. A természetes szelekció minőségi és mennyiségi jellegekre is befolyással lehet. A minőségi jellegek gyakran domináns–recesszív öröklésmenettel jellemezhetőek, és a szelekció érintheti a homozigóta domináns jelleget és/vagy a heterozigótákat vagy a homozigóta recesszív egyedeket. Mennyiségi tulajdonságok esetében három fő típusát különítjük el a természetes szelekciónak. Ha a szelekció a szélsőértékek ellenében hat, vagyis az átlagérték közelében lévő egyedek élveznek előnyt, akkor **stabilizáló szelekció**ról beszélünk. Az **irányító szelekció** valamelyik szélsőérték ellen hat, ekkor az adott tulajdonság eltolódik a másik irányba. Például ha adott körülmények között a hosszabb fark kedvezőbb, mert segít az ágakon való egyensúlyozásban, és ezzel a ragadozók elleni menekülés sikeresebb, akkor a természetes szelekció a rövidebb farkú egyedek fokozatos eltűnését okozza, az átlagérték pedig fokozatosan eltolódik a hosszabb farkméret felé. A harmadik típus a **szétválasztó szelekció**, amely azon eseteket fedi le amikor a két szélsőérték kedvezőbb, mint az átlag körüli érték.

A szelekció egy másik típusa a **mesterséges szelekció**, amely már tudatos emberi tevékenység. Az emberek voltaképpen már az ősidők óta alkalmazzák ezt a technikát, mióta a vadon élő állatokat házasítani kezdték vagy kitenyésztették azokat a növényeket, amelyek terméshezama a legkedvezőbb.

Az evolúciós folyamatok másik ismert csoportosítása, hogy elkülönítünk adaptív és nem adaptív evolúciót. **Adaptív evolúció**ról akkor beszélünk amikor az evolúciós változások lassan, fokozatosan mennek végbe, ennek egyik legfontosabb hajtóereje a természetes szelekció. Leggyakrabban bemutatott példa a gerincesek mellső végtagjának környezethez való alkalmazkodása. A gerincesek közös eredetét is alátámasztja, hogy végtagjaik belső alapszerkezete, felépítése nagyon hasonló, annak ellenére, hogy külső megjelenésükben igencsak különböznek egymástól. Gondoljunk csak a bálna uszonyára, a macskafélék mancsára vagy a békák lábára, valamint az ember kezére. Ezeket a szerveket **homológ** szerveknek nevezzük, és a kialakulásuk folyamatát **divergenciának**. Divergenciáról akkor beszélünk, amikor egy alaptípus az eltérő környezeti hatásokra különféle típusokká alakul. A hasonló környezeti hatás következménye az is lehet, hogy teljesen eltérő alaptípusból hasonló típusok alakulnak ki, ekkor **analóg** szervek jönnek létre. Jó példa erre a különböző csoportokban megjelenő szárny. A madarak és rovarok szárnya nagyon eltérő felépítésű, holott külső megjelenésükben fel lehet fedezni a hasonlóságot. A folyamatot, amely külsőleg hasonló, illetve hasonló működésű de eltérő eredetű szerveket hoz létre, **konvergenciának** nevezzük.

Nem adaptív evolúciós folyamatról akkor beszélünk, amikor véletlenszerű változásra reagálnak a populációk, és nem a környezethez való alkalmazkodás a fő hajtóerő, hanem a populációk egyedszámának változása és az izoláció. Egyik formája a **génáramlás**, ami voltaképpen az egyedek populációk közti vándorlásának következménye. A populációból elvándorló egyedek csökkenthetik az adott populáció genetikai változatosságát, génállományát, míg az új populációnak növelhetik a genetikai állományát. Ha két populáció között folyamatos az egyedek vándorlása, akkor ez homogenizálhatja a két populáció génállományát.

A génáramlásra nagyon jó példa a B vércsoport gyakorisága Európában. Ezt a vércsoportot feltehetően a mongolok hozták be Európába, és jól megfigyelhető, hogy keletről-nyugat felé haladva csökken a B allél gyakorisága.

A nem adaptív evolúciós változások másik típusa a **genetikai sodródás**, ami a populáció életében véletlenszerűen bekövetkező változás, melynek során megváltozik az allélek gyakorisága. Például elvesznek olyan allélek, amelyek lehetővé tennék a környezetváltozásához való alkalmazkodást, vagy megnő a kedvezőtlen hatású allélek gyakorisága. Ilyen folyamatok általában kis egyedszámú populációkban következnek be. Ez a veszély fenyegeti például azon vadállatokat, amelyeknél a populáció mérete néhány vagy néhány tíz egyedre csökkent, és ebből próbálnak a szakemberek visszaállítani egy nagyobb populációméretet. Ez történt az északi elefántfóka és az európai bölény esetében is, amikor azok egyedszáma túlvadászat miatt nagyon megritkult, vagy a gepárdok esetében, amelyek számát a pleisztocén során egy járvány tizedelte meg. A jelenlegi populációk genetikai változatossága mindegyik felsorolt esetben rendkívül alacsony.

A genetikai sodródás speciális esete az **alapítóelv** folyamata, amikor új populáció jön létre kisméretű egyedszámmal – például elvándorlás miatt –, és az eredeti populáció génállományának csak egy része található meg az alapító tagokban. Könnyen belátható, hogy az utódpopulációk génállománya valószínűleg sokkal szegényesebb lesz, és előfordulhat, hogy kedvezőtlen hatású allél válik gyakorivá. Jó példa erre az amerikai *amish* közösség. Körülbelül 200 fős csoport alapította ezt a meglehetősen zárt vallási közösséget. Ennek következményeképp közöttük meglehetősen magas például a recesszív öröklésmentet mutató Ellis-van Creveld-szindrómával érintettek aránya. Ez a szindróma törpenövést és *polydactyliát* (sokujjúságot) okoz.

A populációk méretének hirtelen csökkenésekor a **palacknyak**-effektus vagy palacknyakhatás érvényesül. A jelenséget jól demonstrálja az a kísérlet, amikor egy szűk nyakú üvegbe színes golyókat töltünk, amelyek átmérője nem sokkal kisebb a nyak átmérőjénél. Ha a palackból csak néhány golyót öntünk ki, könnyen előfordul, hogy csak egy vagy két színű golyó kerül ki. Ilyenkor a populáció génállománya nagyon lecsökkenhet, szélsőséges esetben egy génnek egyetlen allélja marad meg. A csökkenést természeti katasztrófák is okozhatják, pl. áradás, vulkánkitörés, járványok terjedése, de akár egy új ragadozó megjelenése is.

5. Fajok keletkezése

Fajok keletkezése történhet fokozatos evolúciós folyamatokkal és ugrásszerű evolúciós változással is. Fokozatos evolúciós folyamatok a fentebb ismertetett mikroevolúciós folyamatok, de ide tartozik az adaptív radiáció és az izoláció, vagyis elszigetelődés is.

Adaptív radiációról akkor beszélünk, amikor egy populáció új élőhelyeket tud meghódítani, ahol a populációban már meglévő genetikai változatosság miatt tudnak az egyedek alkalmazkodni a megváltozott szelekciós körülményekhez. Ez tehát egy olyan folyamat, amelyben az egyedek szétterjedése és az alkalmazkodás evolúciós tényezővé válik. Az adaptív radiáció sokszor olyan változásokat okoz a populáció genetikai állományában, hogy új fajok alakulnak ki. Ennek legszebb példája a galapagosi Darwin-pintyek kialakulása. A Galapagos-szigetek a Csendes-óceánban található szigetcsoport, amely vulkanikus aktivitás

eredményeképpen jött létre, vagyis sohasem volt szárazföldi összeköttetésben a szárazfölddel, azaz Dél-Amerikával. Jelenleg 14 pintyfaj él a szigeteken, amelyek néhány véletlenül bevándorolt egyed leszármazottai. Az ide érkező pintyek konkurencia hiányában olyan élőhelyeket is el tudtak foglalni, amelyekre a szárazföldön esélyük sem volt. Az új körülményekhez alkalmazkodva megváltoztak a táplálkozási szokásaik, testfelépítésük, méretük és a csőrük felépítése is. A különbségek idővel olyan nagyok lettek, hogy külön fajok alakultak ki. Ezen pintyfajok kialakulásában nagy jelentősége volt annak is, hogy a különböző szigeteken élő pintypopulációk izolálódtak, elszigetelődtek egymástól. Az eredetileg rokon populációk között megszűnő kapcsolat szintén új fajok kialakulását okozhatja. Az elszigetelődés lehet térbeli, ivari és genetikai.

A **térbeli izoláció** egyik típusa a **földrajzi izoláció**, amelynek során a rokon populációk egyedeit valamilyen földrajzi akadály választja el egymástól, pl. folyómeder, hegység, amely számukra áthatolhatatlan akadályt jelent. A két populáció külön fejlődik, és köztük olyan nagy különbség is kialakulhat, hogy ha megszűnik a földrajzi akadály (pl. kiszárad a folyó), már nem képesek közös utódot létrehozni, vagyis két külön faj alakul ki.

A térbeli izoláció másik típusa az **ökológiai izoláció**, amikor a korábban rokon populációk ökológiai igényei olyan mértékben változnak meg, hogy már nem képesek egymás között szaporodni.

Az **ivari izoláció** többféleképpen is kialakulhat, például a populációk között időbeli eltérés alakul ki az ivarszervek működésében, vagy az ivarszervek felépítése változik meg és már nem tudnak egymás között szaporodni az egyedek. A genetikai hibridizáció pedig olyan változást jelent, amelynek első lépcsőjeként létrejön a közös utód, de az már nem szaporodóképes (pl. öszvér), majd további változások azt okozzák, hogy már közös utód sem jön létre. Az eddig bemutatott fajkeletkezési folyamatokhoz meglehetősen sok idő szükséges.

A **poliploidizáció**, vagyis a kromoszómakészlet sokszorozódása előbbiekkal szemben viszonylag gyorsan képes új fajokat létrehozni, ilyenkor megvalósul az ugrásszerű evolúció. A búza vad alakjából így alakultak ki a ma termesztett búzafajok. A Közel-Keleten élő vad búzának 14 kromoszómája van, ebből jött létre a 28 kromoszómájú tönkebúza, majd a 42 kromoszómaszámú közönséges búza és a tönkölybúza is. A kromoszómakészlet többszöröződése elsősorban a növényvilágra jellemző, állatok esetében ez nagyon ritkán fordul elő.

6. Az evolúció bizonyítékai

A **biológiai evolúció bizonyítékai** részben közvetlen, részben közvetett bizonyítékok. **Közvetlen bizonyítékok** a **fossziliák**, amelyek régvolt élőlények emlékét őrzik, mind a mai napig. A fossziliák lehetnek megkövesedett vázok, lehetnek lenyomatok, vagy akár az egész elpusztult élőlény konzerválódott (pl. jégbe-fagyott maradványok). A fossziliák tanulmányozása során képet kaphatunk a korábban élt csoportok testfelépítéséről, tanulmányozhatjuk a változásokat, a fejlődést. A fejlődéstani sorrend kialakításához szükség van a fossziliák korának megállapítására. Régen ezt a befogadó kőzetréteg alapján becsülték, amelyből az adott példány előkerült, ezt nevezzük relatív kormeghatározásnak (a kort ugyanis csak becsülni lehet); illetve a rétegek egymásutáni sorrendje alapján sorolták be időben az előkerült fossziliákat. Manapság már lehetőség van **abszolút kormeghatározásra** is, amely a radioaktív atomok bomlási sebességén alapul, ilyen például a radiokarbonos kormeghatározás.

Az **evolúció közvetett bizonyítékait** a biológia különböző tudományterületei szolgáltatják, például vannak rendszertani, morfológiai, anatómiai, embriológiai, őslénytani, élettani, biokémiai, molekuláris biológiai, etológiai és biogeográfiai bizonyítékok. Az evolúció talán legrégibb közvetett bizonyítékait biogeográfiai megfigyelések szolgáltatták. Például megfigyelték, hogy a fajok eltérő ökológiai igényei csak a Föld bizonyos részein teszik lehetővé az előfordulásukat. Ugyanakkor a hasonló adottságú területek élővilága között lehet lényegesen nagyobb különbség, például az Északi- és Déli-sark állatvilága teljesen eltérő. Anatómiai bizonyíték például a korábban már említett divergens és konvergens fejlődés. Biokémiai vizsgálatok segítettek tisztázni a madarak leszármazási viszonyait. Madarak farkcsíkmirigy-váladékának biokémiai vizsgálata során mutatták ki a közelebbi és távolabbi rokonsági fokokat.

7. Az élet kialakulása a Földön

7. 1. Fizikai és kémiai evolúció, prebiológiai evolúció

Az élet keletkezéséhez szükséges feltételek voltaképpen a fizikai, kémiai és prebiológiai evolúció folyamán alakultak ki. E jegyzet elején 'Az élet fogalma, kritériumai, keletkezése' című fejezetben, illetve a *Természetismeret I. Természetföldrajz az ELTE TÓK hallgatóinak* című jegyzetben (https://www.eltereader.hu/media/2017/05/TOK_Termeszetiismeret__READER.pdf) már megismerkedhettek a fizikai- és kémiai evolúció fontosabb lépéseivel, állomásaival és elméleteivel. Így itt most csak a biológiai evolúció szempontjából fontosabb problémák felvetése és az elméletek összegzése jelenik meg röviden.

A **fizikai evolúció** során alakult ki a Naprendszerünk, benne a Nap és a különböző égitestek, köztük a Föld is. Napjainkban a legelfogadottabb hipotézis az Ősrobbanás (*Big Bang*) elmélete. A Föld kialakulása 4,6–4,8 millió évvel ezelőttre tehető, és mintegy 4 milliárd évvel ezelőtt szilárdult meg a kéreg annyira, hogy elindulhatott a kémiai evolúció. A fizikai evolúció során kialakult a földfelszín, a légkör (elsődleges, másodlagos redukáló légkör) és a vízburok. A **kémiai evolúció** során alakultak ki a biológiai szempontból fontos szervetlen és egyszerűbb szerves vegyületek.

A fő kérdések amelyekre jelenleg is választ keresünk: hogyan alakultak ki a szerves vegyületek, az egyre összetettebb szerves molekulák és az első élő szervezetek? Számos elmélet próbálja megmagyarázni, hogy az evolúció során hogyan alakulhattak ki azok a szerves makromolekulák, amelyek ma bonyolult bioszintézis folyamán jönnek létre az élő szervezetekben. Az egyik a **pánspermia** elmélete (lásd: *Az élet keletkezésére vonatkozó elméletek* c. fejezetet). A korabeli állapotokat figyelembe véve, jelenlegi tudásunk szerint sokkal adekvátabb magyarázatot adnak az „ősleves”-, a „**prebiotikus pizza**” és a „**prebiotikus palacsinta**” elméletek. Az ősleves-elmélet a szerves vegyületek abiogén képződésére ad magyarázatot. Kísérletesen ezt Miller bizonyította be híres kísérletében (lásd *Az élő rendszerek kialakulása a Földön az evolúciós elméletek szerint* c. fejezetben). A „prebiotikus pizza” és a „prebiotikus palacsinta” a makromolekulák keletkezésére és összekapcsolódására ad megoldást. Egyes ásványi felszínek (agyagásványok) adszorbeálni képesek bizonyos molekulákat, és katalizátorként segítik azok összekapcsolódását, – így keletkezhetek egyszerűbb szénhidrátok, polipeptidek, nukleinsavak.

A következő probléma a már létrejött szerves vegyületek további **makromolekuláris rendszerekké, mikrostruktúrákká való szerveződése**. Az óriásmolekulák vizes közegben spontán nagyobb cseppekké aggregálódnak. **Alexander I. Oparin** orosz biokémikus fehérjéket és gumiarábikumot (poliszacharid) összekeverve mikroszkopikus cseppeket figyelt meg, amelyeket koacervátumoknak nevezett. Oparinnak az élet keletkezésére irányuló laboratóriumi kísérletei során sajátos kolloid állapotú anyagrendszer jött létre, amely az életjelenségek előfutáraként fogható fel (lásd *Az élet fogalma, kritériumai, keletkezése* c. fejezetben).

Oparin definíciója szerint minden olyan rendszer élőnek tekinthető, amely szaporodásra és mutációra képes. A legtöbb evolúcióbíológus egyetért ezzel a nézettel (és bizonyos mértékig igazuk is van). A fenti két a tulajdonsággal rendelkező rendszerek az adaptáció (alkalmazkodás) segítségével képesek komplex tulajdonságok megszerzésére. Számos kutató ugyanakkor kétségbe vonja e megközelítési mód helyességét. A vita szempontjából döntő fontosságú, hogy a vírusok élőnek tekinthetők-e vagy sem. Gánti Tibor (vö. **életkritériumok**, *Az élet fogalma, kritériumai, keletkezése* c. fejezetben) szerint ugyanolyan konceptuális probléma a vírusokat élőlényeknek tekinteni, mint egy számítógépes programot a számítógéppel azonosítani.

Az élet megjelenéséhez vezető következő lépés az **élő sejt kialakulása** volt, amely nyílt rendszerként funkcionált és rendelkezett azokkal a tulajdonságokkal, amelyeket életkritériumokként definiáltunk a jegyzet elején. Az ide vezető utat jól modellezi Gánti Tibor *chemoton*-elmélete.

A **chemoton** egy kémiai szuperrendszer, amely három autokatalitikus alrendszert tartalmaz, melyek összehangolt működésre képesek. Az egyik alrendszer az anyagcsereciklus, ahol szervesanyag felvétele és szervetlen anyag leadása megy végbe; a második alrendszer az információtárolásért, azaz a nukleinsav felépítéséért és szétválásáért felelős; míg a harmadik alrendszer a határolórendszer, vagyis a membránok képződésért felelős, ami megteremti a szétválás lehetőségét. Jól meghatározott feltételek mellett ez a rendszer képes növekedni és szaporodni, a nyersanyag (táplálék) és hulladék (végtermék) közötti energia és anyagmennyiség különbség terhére. A *chemoton*-modell az életjelenségeket mutató élő rendszerek leegyszerűsített modellje.

Következő probléma: az élet keletkezésének egy máig megválaszolatlan kérdése, hogy a **fehérjék vagy az örökítőanyag (DNS) jött létre előbb** a kémiai evolúció folyamán. Nincs genetikai kód fehérjék nélkül, és nincs fehérje genetikai kód nélkül. Ez egy klasszikus „tyúk–tojás” probléma, amire a részleges választ a ribozimok (katalitikus aktivitást mutató RNS-ek) felfedezése szolgáltatta.

Az **RNS-világ** fogalmának megalkotása **Walter Gilbert** nevéhez fűződik, aki visszanyúlt **Carl Woese** (1967), **Leslie Orgel** (1968) és **Francis Crick** (1968) brit, illetve amerikai tudósok hatvanas évekbeli munkáihoz, akik felismerték, hogy az RNS-ek is lehettek katalizátorok, hiszen ezek is makromolekulák: kémiaiilag különböző funkciós csoportokkal rendelkező építőkövekből állnak, és saját szekvenciájuk által kódolt globuláris, háromdimenziós szerkezetük van.

Egyes RNS-ek ugyanis

- ♦ képesek arra, hogy enzimként (ribozimként) működve a saját molekulájukat vagy más RNS-eket hasítsanak (*splicing*);

- ♦ létrehozhatnak például a fehérjékben az aminosavakat összekapcsoló peptidkötéseket (riboszómákon belül).

Ezért számos kutató véleménye szerint a legelső ősi sejteknek RNS volt az örökítőanyaguk. Ebben az ún. RNS-világban az RNS-molekulák töltötték be mind az információ tárolásának, mind pedig az információ átírásának, kifejeződésének feladatát.

A következő probléma, hogy az RNS nem önreplikátor. Manapság replikáz enzim szükséges még a közepes hosszúságú RNS-ek replikációjához (másolásához) is. Egy replikáz ribozim megoldhatná ezt a problémát, de eddig még senkinek sem sikerült ilyet készítenie.

Az első életformák legrégebbi fosszilis maradványainak korát 3,5 milliárd évre becsülik (sztromatolitok – ősi kékbaktériumok), az élet tehát már ezt megelőzően, akár 4 milliárd éve megjelenhetett a Földön – 10–13 m magas vízoszlop alatt, ahová a roncsoló UV sugárzás nem jutott le. A legrégebbi kövületek alapján az élet megjelenését a Földön 3,8 milliárd évvel ezelőtre tesszük. Ezek ősi formáját utolsó egyetemes közös ősnak (*Last Universal Common Ancestor*, LUCA) nevezik. Kb. 3,5 milliárd évnél korábban, de kb. 4,3 milliárd évnél később jöhettek létre a ma ismert élővilág legelső képviselői.

7.2. Biológiai evolúció

Az **ősi élet** sokáig csak a tíz méternél mélyebb vizekben maradt fenn. A felszínen és a felső vízrétegekben ugyanis a világűrből érkező intenzív ultraibolya sugárzás a nukleinsavak és a fehérjék roncsolódását okozta volna. Az első sejtek **anaerob, heterotróf prokarióta ősbaktériumok** lehettek, az általuk felhasznált szerves vegyületek abiotikusan keletkeztek (lásd fentebb).

Ősbaktériumok ma is élnek a Földön szélsőséges körülmények között.

- ♦ A termofilek viszonylag magas hőmérsékletű, 80 °C-nál melegebb helyeken, gejzírekben, óceán fenekén található hőforrásokban is képesek élni és szaporodni.
- ♦ A halofilek rendkívül sós, savas vagy lúgos vizekben találhatók meg (Holt-tenger).
- ♦ A metanogének a kénhidrogén bányájában, illetve a természet emésztőcsatornájában, anaerob környezetben végzik feladatukat.

Az **első válság** akkor következ(het)ett be az élővilágban, amikor a környezetből **elfogytak az energia-szolgáltató szerves vegyületek**. Emiatt azok a sejtek jutottak előnyhöz, amelyek a környezeti CO₂-t mint szénforrást hasznosítani tudták (autotróf szervezetek). A környezetben CO₂ nagy mennyiségben volt jelen (másodlagos redukáló ösléghő), de a hasznosításához energiára volt szükség. A sejtek a CO₂ hasznosításához az energiát fényből nyerték (fotoszintézis).

Az oxigéntermelő fotoszintézis megjelenése kb. 3,5 milliárd évvel ezelőttre tehető és ősi kékbaktériumokhoz köthető (maradványaik a sztromatolitok).

Mivel az élet O_2 -mentes, anaerob környezetben alakult ki, és a környezetben lassan növekvő mennyiségű oxigéngáz erősen oxidáló (nagyon reaktív, ezért mérgező hatású) volt az első anaerob élőlényekre, ez újabb szelekciós tényezőként hatott. Az oxigéntartalom növekedése miatt az anaerob sejtek jelentős része kipusztult (O_2 – **második válság**).

A korábban kialakult, és az oxigén felhalmozódása miatt előnybe került aerob (oxigént felhasználó) sejtek egyre jobban elterjedtek. Amikor a légkörben az oxigén koncentrációja elérte a mai érték 1%-át, akkor lehetővé vált az erjedés mellett a biológiai oxidáció, vagyis a sejtlégzés. A **sejtlégzés** az erjedésnél mintegy hússzor jobb hatásfokú energianyerést biztosít, ami előnyt jelentett ezeknek a sejteknek. A légkör oxigénkoncentrációjának növekedése következtében elkezdett kialakulni az **ózonréteg**, amely részben elnyelte a Nap roncsoló UV-sugarainak jelentős részét, ez pedig lehetővé tette először a felszíni és partközeli sekély vizek, majd később a **szárazföld meghódítását**.

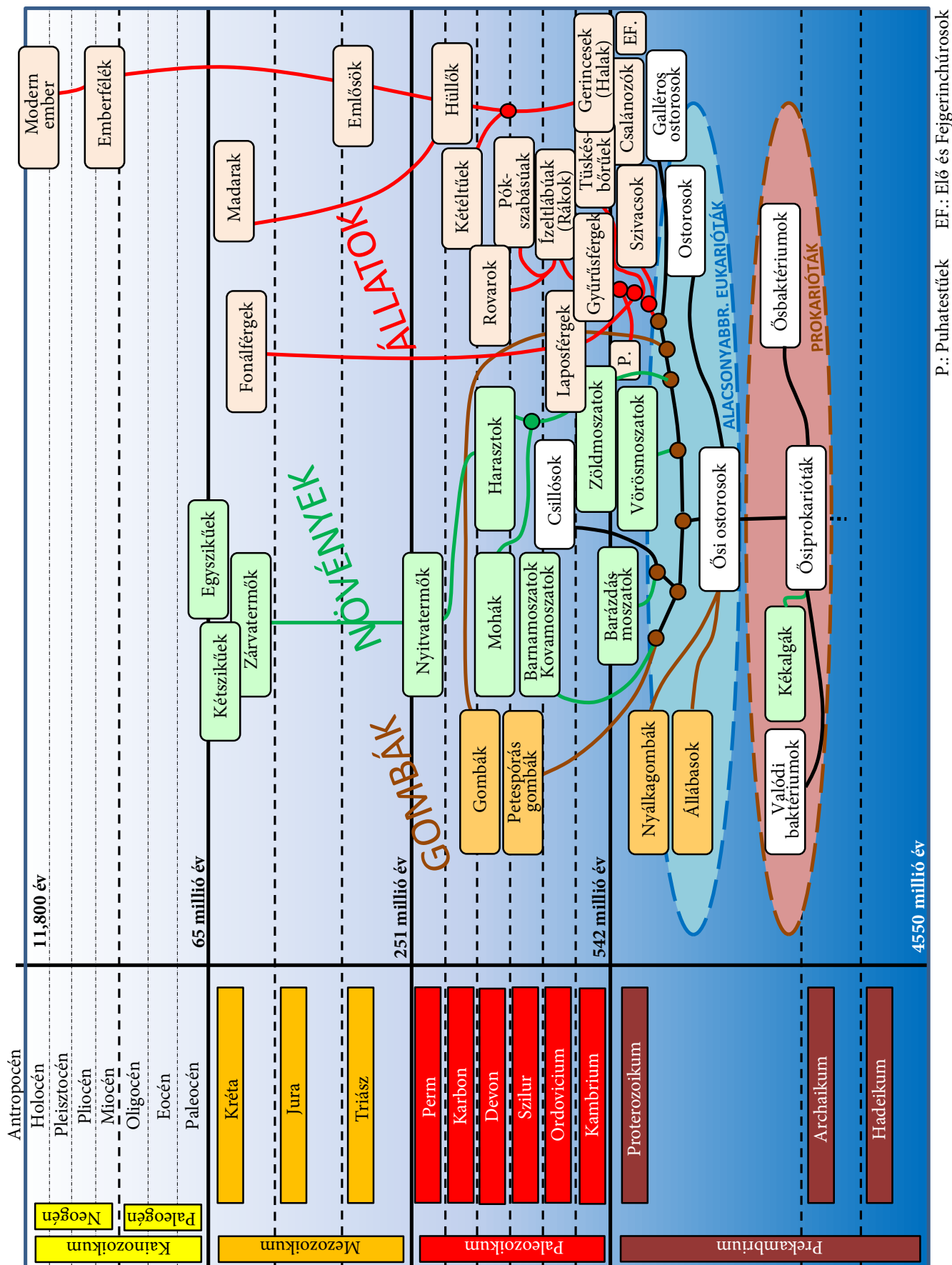
A **prokarióták** mintegy 2 milliárd éven keresztül egyedül uralták a Földet, majd kb. 1,5–2 milliárd évvel ezelőtt jelentek meg az eukarióta sejtek. Az **eukarióta** sejtek fő jellegzetessége a kromoszómákká szerveződő DNS-t tartalmazó, membránnal határolt sejtmag, valamint a speciális működésű sejtorganellek (sejtszervecskék) megléte.

A sejt belső membránrendszerei valószínűleg a sejtthártya betűződéseiként, annak befelé irányuló nyúlvaiként alakultak ki. A sejt belsejében a sejtthártyáról leváló membránzsákokból jöhetett létre a maghártya (mely a DNS-t kettős membránnal veszi körül) és az endoplazmatikus hálózat. Az eukarióta sejt mitokondriumai és színtestei más eredetűek: valószínűleg különböző anyagcseréjű sejtek tartós együttélésének eredményeként alakultak ki.

A sejtszervecskék megjelenésére a legelterjedtebb magyarázat az **endoszimbionta-elmélet**. Eszerint a mitokondrium létrejöttékor az ősi eukarióta sejt egy aerob baktériummal egyesült és lépett szimbiózisra. A színtesteket pedig az ősi eukarióta sejtek egy kékbaktériummal való egyesülése, majd a szimbiózis fennmaradása alakította ki. A mitokondriumok és színtestek kialakulását endoszimbiózisként nevezzük, mivel az együttélés a sejt belsejében történik (*endo* -: belső).

Az elmélet alátámasztására több bizonyíték is kínálkozik. Ezeket a sejtalkotókat kettős membrán határolja, bennük a prokarióta sejtekéhez hasonló riboszómák, valamint gyűrű alakú DNS található, és az is lényeges, hogy a sejten belül önálló osztódásra képesek.

A jobb energiahasznosítás megteremtette az eukarióta sejtek differenciálódásának lehetőségét. Ezzel megindulhatott a soksejtű, majd a szövetszerű szervezetek evolúciója. Nagyon fontos lépés volt még az ivaros szaporodás megjelenése az eukarióták között, ami jelentősen felgyorsította az evolúciót.



9. ábra. Az élővilág főbb csoportjainak kialakulása a földtörténet során

A 9. ábra mutatja, hogy a különböző törzsek, osztályok mikor alakultak ki a földtörténet során, és a főbb leszármazási vonalak is nyomon követhetők rajta. A *I/B. Az élővilág rendszere* fejezetben fejlődéstörténeti rendszerben mutattuk be az élővilág főbb csoportjait, ezért itt csak röviden ismertetjük a főbb „evolúciós újdonságok” megjelenését a növény- és állatvilágban.

A **növényvilág fejlődésében** fontos lépcsőfok volt a teleptest, vagyis a többsejtű forma megjelenése a telepes moszatoknál, habár a sejtek itt még nem differenciálódtak. Belőlük alakultak ki a mohák és az ősharaszatok. A moháknál komoly előrelépést jelentett, hogy megjelentek a differenciált sejtek, valamint a szövetek és szervek kezdeményei, valamint hogy alkalmazkodtak a szárazföldi élethez, de a vizet továbbra is teljes testfelületükön veszik fel és szaporodásuk is vízhez kötött (a hímivarsejt vízceppben úszva közelíti meg a petesejtet). A mohák nem fejlődtek tovább, evolúciós zsákutcának tekintjük őket, képviselőik azonban ma is élnek a Földön. A telepes moszatokból indult meg az ősharaszton át a hajtásos növények fejlődése. A harasztonban jelentek meg először a valódi szövetek és szervek, de szaporodásuk még mindig vízhez kötött. Az ősharasztonból fejlődtek ki a magvas vagy virágos növények, azaz az ősbibb nyitvatermők és a később megjelenő zárvatermők. A nyitvatermőknél már nem szükséges víz a megtermékenyítéshez, az ivaros szaporodás, vagyis a gaméták egyesülése a női virágban, a tobozban történik meg, a hímivarsejteket tartalmazó pollent (virágporszem) a szél szállítja. A magkezdemények és a kialakuló magok kevésbé védett helyen, nyitott termőleveleken ülnek. A zárvatermőknél a magkezdemény védettebb helyen, a zárt magházban található, itt már kialakul a kettős megtermékenyítés és a termés. A beporzást egyes csoportoknál a szél helyett különféle állatcsoportok veszik át (koevolúciós folyamat), ami szintén előrelépést jelent.

Az **állatvilág evolúciója** az ősi ostoros egysejtűeknél indult önálló irányba. Ezen a fejlődési úton is kialakultak a többsejtes életformák (laza sejttársulás, gömbszerű telepek, szájníylás betüremkedése), majd megjelent az ivaros szaporodás is. Fontos lépés a külső meszes váz létrejötte, ami komoly védelmet nyújtott. A szivacsoknál már megtalálható az alszövet, fejlődésük a kétcsíralemezes bélcsíra állapotig jutott, van úrbélük, ki- és bevezető nyílásokkal. A valódi szövetek a csalánozóknál jelennek meg először, ezek még ősbibb, sugaras szimmetriájúak, és továbbra is csak két csíralemez fejlődik. Evolúciós újdonság még a sejten kívüli emésztés kialakulása. A feltehetően már kétoldali szimmetriával rendelkező ősi férgenél vált el egymástól az összájúak és újszájúak fejlődési ága. Az összájúak esetében a szájníylás az embrionális fejlődés során a bélcsíra összájából alakul ki, ide tartoznak a laposférgek, hengeresférgek, gyűrűsférgek, puhatestűek és az ízeltlábúak. A laposférgeknek jelenik meg a kétoldali szimmetria, a testtájak, valamint elkülönül a feji és farki vég. Jellemző rájuk az őstestüreg, és ők sem jutnak tovább a bélcsíra állapotból. A gyűrűsférgek már szelvényezettek, megjelenik náluk a harmadik csíralemez és ezáltal a valódi testüreg, valamint a keringési rendszer. Az ízeltlábúaknál már megfigyelhetők az elkülönülő testtájak, az összájúak között ők alkotják a legfejlettebb csoportot. Komoly szerepük van a szárazföld első meghódításában, náluk megmutatkozik először a repülés képessége. Másik ágon fejlődnek tovább az újszájúak, akiknél az embrionális fejlődés során kialakuló összaj vagy végbélníylással módosul vagy elzáródik, a szájníylás pedig új képződményként az átellenes oldalon képződik. Ezeknél a csoportoknál megjelenik az újszaj, a belső váz, az előbél eredetű légzőszerv és a csőidegrendszer. A tüskésbőrűeknél már állandósul az újszaj, de alsugaras szimmetriájúak. A belső váz, gerinchúrként, először az előgerinchúrosokban jelenik meg, élethosszig a fejgerinchúrosokban marad meg. Mindkét csoportra jellemző a csőidegrendszer és az előbél eredetű kopoltyú. Ezután fejlődnek ki a gerincesek mint a legfejlettebb újszájúak,

feltehetően ősi előgerinchúrosokból. Először az állkapocsnélküliek, majd a nagyon változatos állkapcsosok jelennek meg. Az állkapcsosokon belül hamar elválnak egymástól a porcos- és csontosvázúak fejlődése, ősi csontoshalakkból fejlődhetnek ki az ősi kételtűek, amelyekből kialakultak a mai kételtűek és az őshüllők. Az őshüllőktől származtatjuk a mai hüllőket, a madarakat és az emlősöket is.

OLVASNIVALÓ...

Az evolúció nagy lépései

Szathmáry Eörs és John Maynard Smith az evolúciót a megszokottól eltérő megközelítésben mutatják be. Elméletük alapja, hogy az evolúciót az információtárolás és -átadás módjának fejlődésével, változásával magyarázzák, az első replikálódó molekulák megjelenésétől a nyelv kialakulásáig. Nyolc nagy lépést, átmenetet különítenek el, amelyek közül, véleményük szerint, csak kettő (a többsejtűség, a természetlen kasztok megjelenése), ami többször is kialakult. A többi hat átmenet csak egyszer jött létre, és ha csak egy is kimarad, ma nem ilyen élet lenne a Földön.

A főbb átmenetek szerintük a következők:

1. A szabadon kialakult, replikálódó molekulák hártáival körülzárt elősejtekbe záródnak.
2. A független replikátorok egymáshoz kapcsolódva kromoszómákat képeznek.
3. A génként és enzimként is funkcionáló RNS mellett megjelenik a DNS, a fehérjék és a genetikai kód, vagyis az RNS-világot felváltja a DNS-világ.
4. A prokarióták mellett megjelennek az eukarióta sejtek.
5. Az ivartalan szaporodás mellett, ahol új egyedek a sejtek kettéosztódásával jöhetnek csak létre, megjelenik az ivaros szaporodás, ahol a sejtosztódás mellett időnként a különböző egyedek által termelt ivarsejtek összeolvadásával jön létre új egyed.
6. Az egysejtűekből létrejönnek a többsejtű élőlények. A többi lépéssel ellentétben ez feltehetően legalább három alkalommal megtörtént, így indultak fejlődésnek a többsejtű növények, állatok és gombák.
7. A magányos egyedek mellett létrejönnek az olyan kolóniák, amelyekben az egyedek között komoly munkamegosztás alakul ki; megjelennek az ivartalan kasztok és csak néhány egyed szaporodik. A többsejtű egyedekkel párhuzamba állítva, ezek szuperorganizmushoz hasonlíthatók.
8. A főemlős társadalmakból kialakulnak az emberi társadalmak, aminek egyik döntő lépése a nyelv kialakulása lehetett.

Forrás: MAYNARD SMITH J. – SZATHMÁRY E. (1999): *A Földi élet regénye*. Vincze Kiadó, Budapest.

7.3. Az élővilág fejlődésének áttekintése időrendben

Az előzőekben nagy vonalakban áttekintettük a biológiai evolúció főbb lépéseit, elsősorban az új tulajdonságok megjelenésére fókuszálva. Az evolúció azonban nemcsak újabb és újabb tulajdonságok, fajok megjelenését hozta: az élővilág evolúcióját komoly kihalások is kísérték. Ezenkívül fontos azt is szem előtt tartanunk, hogy időben mikor történtek ezek az események.

7.3.1. Prekambrium – ősidő (archaikum) vége / hajnalidő (proterozoikum)

Egyes kutatási eredmények szerint az **élet első nyomai** már 4 milliárd évvel ezelőtt, a hadeikum végén jelen lehettek Földünkön. Az ősidőben a **prokarióták** mellett létrejöttek az **eukarióták**, és mindkét csoportban megjelentek a **termelő (autotróf)**, azon belül az **elsősorban fotoszintetizáló szervezetek**, valamint az általuk előállított szerves anyagokat, oxigént hasznosító **fogyasztó és lebontó (heterotróf)** élőlények. A három élőlény-csoport anyagcseréje teremtette meg és tartja fenn a bioszférában az anyagok körforgását és az energiaáramlást.

Ebben az időszakban egyrészt **elkülönült a növény- és állatvilág**, másrészt megjelentek a **többsejtű élőlények** is. A földtörténeti ősidő végéig a növényvilág evolúciója a teleptestű moszatokig jutott el. Az állatok országának fejlődése során kialakultak a ma is élő gerinctelen állattörzsek mindegyikének ősi, mész- vagy kovaváz nélküli képviselői: a szivacsok, a csalánozók, a különböző férgek, puhatestűek és az ízeltlábúak.

Az archaikum során a felszín hőmérséklete folyamatosan hűlt, az alapvetően meleg éghajlattal jellemezhető proterozoikumban azonban több jégkorszak is bekövetkezett. Ekkor alakultak ki a mai kontinensek alapját képező ősmasszívumok. A fotoszintetizáló élőlények megjelenésével pedig erőteljesebbé vált az oxigén felhalmozódása a légkörben.

OLVASNIVALÓ...

Ediacara-fauna

A hajnalidőből sokáig csak nagyon kevés állati leletanyag került elő, viszont a hajnalidő és őidő határáról (kambrium) már nagyon sok leletanyag rendelkezésre áll. Sokáig uralkodott az a nézet, hogy robbanásszerű evolúció okozta a hirtelen leletgazdagságot. Az 1960-as években új, addig ismeretlen leletgyűttesek kerültek elő, amelyek új megvilágításba helyezték a többsejtű állatok korai evolúcióját. Az első leletgyűttes az ausztráliai Ediacara-hegységből került elő, ezért nevezik ezt a nagyon speciális, meleg sekélytengeri leletgyűttest Ediacara-faunának, melynek fossziliáit azóta Európában, Oroszországban és Dél-Afrikában is megtalálták. Találkozhatunk az Ediacara-bióta vagy Vendobionta elnevezéssel is, nincs ugyanis egyértelmű bizonyíték arra, hogy a leletgyűttes tagjai valóban állatok. Annak, hogy a szilárd váz nélküli élőlények

maradványai ilyen jól fosszilizálódnak, kicsi a valószínűsége, a kvarcit speciális betemetődési körülményei kellettek hozzá. A fauna tagjai meglepően nagy méretűek voltak, meglehetősen vastag kitinvázzal kellett rendelkezniük (különben nem fosszilizálódtak volna ilyen jól), és meglehetősen fajgazdag közösséget alkottak. A különböző kontinensekről előkerülő leletegyüttesek alapján megállapították, hogy az Ediacara-fauna 600–700 millió évvel ezelőtti időintervallumban élt. Az, hogy ez a sekélytengeri élőlényegyüttes egyáltalán kialakulhatott, arra enged következtetni, hogy a légkör O_2 -koncentrációja már elérte a mai érték 1%-át. Egyelőre még nem tisztázott, hogy az Ediacara-fauna tekinthető-e későbbi, akár ma élő fajok őseinek vagy egy teljesen elkülönülő fejlődési ágnak kell tartanunk.

Forrás: VIDA G. (szerk) (1982) Az élővilág evolúciója. *Evolúció II.* Natura, Budapest. 115–118 p.

7.3.2. Óidő (paleozoikum)

Az ősidei eljegesedést az óidő (paleozoikum) elején az éghajlat lassú felmelegedése követte, majd egyenletesen meleg klíma uralkodott. A felmelegedő tengervíz magasabb sókoncentrációja szerepet játszott abban, hogy a gerinctelen állatok több csoportjában szinte egyidejűleg **alakult ki a külső meszes váz**. A ragadozók elleni védekezésben nyilvánvaló szelekciós előnyük volt a szilárd külső burokkal bíró fajoknak, ezért nem meglepő, hogy az óidő elején, amikor a környezeti körülmények lehetővé tették, igen gyorsan és széles körben elterjedtek a mészből, illetve meszes kitinből felépülő, szilárd vázú állatok.

Az **ordóvícium–szilur kihalási esemény**, amelyet feltehetően egy elhúzódó jégkorszak okozott, erősen megtizedelte az állatvilágot: közel száz tengeri család tűnt el. Kb. 364 millió évvel ezelőtt, a késő devonban, közel egymillió év alatt is zajlott egy kihalási sorozat, amely a sekély tengerekben élő állatokat sújtotta leginkább. Ekkor tűntek el az állkapocs nélküli halak. A tengerfenék és az ahhoz közeli rétegek vizéből egész egyszerűen eltűnt az oxigén.

A szilurban a légkörben felhalmozódó oxigén elérte a mai érték 10%-át, ami már olyan vastag **ózonréteg** kialakulását tette lehetővé, hogy a szárazföld is potenciális élőhellyé vált. A **szárazföld meghódítását a növények már a szilurban megkezdték**, a folyamat szárazföldi életmódra áttért moszatokkal kezdődhetett. A teleptestű zöldmoszatok evolúciója két irányba ágazott el. Egyrészt kialakultak a változó víz-állapotú, kiszáradástűrő mohák, másrészt pedig a nedves környezetet kedvelő, de a kiszáradástól már némileg védett ősharasztok. Belőlük kiindulva a szárazföldi növényvilág gyors fejlődésnek és burjánzásnak indult, ez tette lehetővé az állatvilág szárazföldi elterjedését is. Az első erdők a fatermetű ősharasztok kialakulása után jelentek meg, ez már a devonban történt. Később a harasztok mellett a nyitvatermők is egyre nagyobb szerepet játszottak az erdők összetételében.

Az állatvilág a szárazföld meghódítását a növények után, a devonban kezdte meg. A nedves területeken virágkorukat élték az ősi bojtosúszós halakhoz hasonló ősökől elkülönült kételtűek. A kételtűek

egyik csoportjából kifejlődtek a hüllők, amelyek testfelületét már vastag szarubevonat borította és óvta a kiszáradástól. A devonban megjelentek a szárazföldön az ízeltlábúak képviselői is: pókok, atkák, iker-szelvényesek, százlábúak, valamint az első röpképtelen rovarok.

A **karbon**ban az éghajlat eleinte meleg és kiegyenlített volt, ezt támasztják alá az évgyűrű nélküli, hatalmas levelű fák maradványai is. Nagy mennyiségű biomassza halmozódott fel, amely a mocsaras területeken helyben fosszilizálódott, ebből alakultak ki az ismert **kőszéntelepek, melyek több mint 50%-a a karbonban jött létre**, a korszak is ezekről kapta a nevét. A légkör oxigéntartalma a mainál magasabb lehetett, ami miatt az ekkor élt rovarok hatalmasra nőttek.

Az óidő végén az éghajlat hűvösebbé és szárazabbá vált. A fatermetű növények közül a víztől független szaporodású, szárazságtűrő nyitvatermőknek volt esélyük a túlélésre. Az egyre szárazabb klíma a hüllők előretörésének kedvezett, a kételtűek csak a nedves területeken maradtak fenn. A hideg éghajlatú részeken alakultak ki az emlősszerű őshüllők, amelyek valószínűleg állandó testhőmérsékletű állatok voltak.

Kb. 251 millió évvel ezelőtt, a **perm–triász korok határán** (ami az óidő és a középidő határát is jelzi) újabb nagy kihalási esemény történt. A földi élővilág történetének ez volt a legsúlyosabb kihalási hulláma: a tengeri fajok 96%-a, a szárazföldi gerincesek 70%-a tűnt el és a rovarvilág is jelentősen lecsökkent ebben az időszakban. A perm végi kihalás során tűntek el a tengerekből a trilobiták (háromkarélyú ősrákok), amelyek az óidő meghatározó élőlényei voltak. Az okokat ma még nem ismerjük teljesen, feltehetően több tényező is közrejátszott, például az éghajlatváltozás, a fokozódó vulkáni tevékenység, a tengerek sótartalmának változása, a tengervízzel borított területek mennyiségének változása, de akár kozmikus jelenségek, pl. fokozódó napfolttevékenység, szupernóva-robbanás is hozzájárulhatott a katasztrófához.

7.3.3. Középidő (mezozoikum)

Az óidő végén bekövetkezett kihalási hullám után a tengerekben óriási faj- és egyedszámban terjedtek el a fejlábúak (puhatestűek egyik osztálya) közé tartozó mészvázak **ammoniták**. A szárazföldeken az éghajlat általában meleg és javarészt száraz volt. A középidő volt a nyitvatermők virágkora, amikor hatalmas területeket hódítottak meg a fenyők. A **zárvatermők** a középidő vége felé jelentek meg, és néhány tízmillió év alatt a szárazföldek uralkodó növényeivé váltak. A gerincesek közül feltűnő a **hüllők** uralma. Legismeretebb képviselőik, a dinoszauruszok a szárazföldön éltek.

Mintegy 200 millió évvel ezelőtt következett be a **triász–jura kihalási esemény**. Érintette a tengeri és a szárazföldi élővilágot is: a tengeri családok 20%-a tűnt el, ez tette lehetővé, hogy a dinoszauruszok népesítsék be elsődlegesen a bolygót.

A középidőben a hüllők voltak a legelterjedtebb gerincesek. A középidő elején az emlősszerű őshüllőkből kialakultak az első valódi emlősök. Apró termetű állatok voltak, sokáig nem töltöttek be jelentős szerepet az élővilágban, de fejlett ivadékgondozásuk és a hüllőkhöz képest fejlett idegrendszerük lehetővé tette,

hogy átvészeljék a középidőt. A középidő derekán az őshüllők egyik csoportjából fejlődtek ki az első madarak. A hüllők és a madarak közötti átmeneti formát képviselte az ősmadár (*Archaeopteryx*).

Kb. 65 millió évvel ezelőtt következett be a **kréta–tercier kihalási esemény**, ami kijelöli a középidő végét és az újidő kezdetét. A kihalás mértéke jelentős volt, megtizedelte az élővilágot a tengerekben és a szárazföldön is. Az ősmaradványok arra engednek következtetni, hogy az összes növény- és állatfaj 75%-a kipusztult. **Eltűntek az ammoniták, a dinoszauruszok, valamint a repülő és a vízi őshüllők** is. Az okok ezen kihalási eseménynél sem tisztázottak, felmerült többek között az is, hogy egy hatalmas méretű aszteroida becsapódása és a következtében kialakuló szökőár, porfelhő, besugárzáscsökkenés és savaseső okozhatta a katasztrófát.

A középidőben folytatódtak az erőteljes lemezmozgások, a korábbi egységes Pangea több lépésben feldarabolódott, kialakultak a mai kontinensek elődei. A krétában a vulkánosság növekedése miatt megnőtt a légkör CO_2 -koncentrációja, ami felmelegedést és a tengerek vízszintjének emelkedését hozta magával. Számos korábban szárazföldi terület víz alá került, elpusztítva, magába zárva a korábbi élővilág maradványait. Mindezek nyomán **hatalmas szénmezők és olajkészletek alakultak ki**.

7.3.4. Újidő (kainozoikum)

Az újidő kezdetétől a **klíma fokozatosan lehűlt, megjelent az északi jégtakaró**, bár a kontinensek éghajlata sokáig trópusi, szubtrópusi maradt. A tengereket és óceánokat benépesítették a **nummuliteszek** (likacsosházúak törzsébe tartozó egysejtűek, meszes héjuk maradt meg), a csigák, kagylók és tengeri uborkák. A **csontoshalak** is jelentős fejlődésnek indultak. A szárazföldön a **mai hüllők** (kígyók, gyíkok), **madarak** és **emlősök, rovarok** és a **virágos növények virágkora** vette kezdetét. Az északi részeken már az oligocénben megjelentek a lombhullató erdők, míg délebbre (hazánk területén is) még örökzöld trópusi, szubtrópusi növényzet élt. A **klíma fokozatosan tovább hűlt, a pliocénban már a maihoz hasonló lehetett az élővilág**. A melegkedvelő növényzet délre húzódott, és az emlősök ugrásszerű fejlődésnek indultak. A pleisztocén ciklikusan kiterjedő majd visszahúzódó jégtakaróval, azaz a jégkorszakokkal (glaciálisokkal) és interglaciálisokkal jellemezhető. Az élővilág újabb komoly veszteséget szenvedett el, a jég által befolyásolt területeken csak a hidegtűrő fajok maradhattak fent. A **pleisztocénban** a legkiemelkedőbb evolúciós esemény **az ember megjelenése** volt.

8. Az ember makro- és mikroevolúciója

8.1. Az ember eredete és fejlődése

Az ember természetben elfoglalt helyének meghatározására vonatkozó vizsgálatok alapján a következőket állapíthatjuk meg: az összehasonlító anatómiai vizsgálatok szerint az embernek jól meghatározott helye van az állatok királyságán belül, az emlősök rendszerében. Az őslénytani leletek azt mutatják, hogy az ember

megjelenése előtt több olyan emberszerű faj élt, melyek az ember leszármazási vonalát képező ősök lehetnek, vagy csak oldalági rokonaink voltak. Az ember és a főemlősök genomjának összehasonlító vizsgálata is igazolta az ember és a főemlősök közötti rokonságot.

Az emberré válás (hominizáció) folyamatában két fő szakaszt különböztetünk meg:

1. az ember makroevolúcióját, amely az első emberfélék (*Hominidae*) megjelenésétől a *Homo sapiens* kialakulásáig tartott, és
2. az ember mikroevolúcióját, amely a *Homo sapiens* földrajzi változatainak differenciálódását, elterjedését és a mai helyi változatok létrejöttét eredményezte.

8.2. A főemlősök evolúciója

A **főemlősök** (*Primates*) rendjének legfontosabb jellemzői a fán lakó életmódhoz való alkalmazkodás, a viszonylag nagy – a testtömeghez viszonyított – agytérfogat és az a tulajdonságuk, hogy a lábukkal is képesek fogni, mivel a nagyujj a többi ujjal szembe fordítható.

A ma élő főemlősök rendjébe a félmajmok (*Prosimii*) (a maki- és lórialakúak [*Lemuroiiformes*] és a koboldmaki-alakúak [*Tarsiiformes*] alrendágakkal) és a majmok (*Simiae/Anthropoidea*) (a szélesorrú/újvilági majmok [*Platyrrhini*] és a keskenyorrú/óvilági majmok [*Catarrhini*] alrendágakkal) alrendjei tartoznak.

A **maki- és lórialakúak** a főemlősök legalacsonyabb rendű csoportja. Agyféltékéik felülete majdnem teljesen sima, testtömegük kicsi (50–1600 g), fán lakó, nappali vagy éjszakai életmódot folytató élőlények. A táplálékkeresésnél elsősorban jó látásukra és hallásukra támaszkodnak. Evolúciós szempontból nagyon közel állnak a Délkelet-Ázsiában élő rovarrevő mókuscickányokhoz. Délkelet-Ázsiában, Afrikában és Madagaszkár szigetén élnek.

A **koboldmaki-alakúak** fejlettebb főemlősök. A fákon ugrálva változtatják helyüket, ugrás közben testtartásuk függőleges, a földön viszont négy lábon járva közlekednek. Agyuk felépítése a makifélék agyának felépítéséhez hasonlít. Kis testtömegűek (120–160 g) és kizárólag állati eredetű táplálékot – főleg rovarokat – fogyasztanak. Fán élő, éjszakai életmódot folytató állatok, elterjedési területük a Maláj-szigetvilágra korlátozódik (Szunda-szigetek, Fülöp-szigetek, Sulawesi, Siau).

A majmok fejlett főemlősök. Az agyfélétekék felszíne barázdált, az agykéreg agytekervényeket képez. Agyuk mérete jóval nagyobb a félmajmokéhoz képest. A nősténynek egy pár emlője van. Az ujjak végén – ellentétben a félmajmokkal, ahol karmok segítik a kapaszkodást – pár kivételt leszámítva köröm található.

A **szélesorrú vagy újvilági majmok**nak az orrválaszfala széles, az orruk lapos, az orrlyukak oldalt állnak. Farkuk, a benne található speciális izmoknak köszönhetően, „kézként” működik. Dél- és Közép-Amerika erdősegeinek koronaszintjein élnek.

A **keskenyorrú vagy óvilági majmok** orrválaszfala keskeny, az orrnyílásaik előre felé néznek és közel vannak egymáshoz. Farkukkal nem képesek fogni. Dél-Ázsiában és Afrikában fordulnak elő.

A keskenyorrú majmoknak az egyik öregcsaládja az emberszerűké (*Hominoidea*), ami három ma élő családot foglal magába: a gibbonféléket (*Hylobatidae*), az emberszabású majmokat (*Pongidae*) és az emberféléket (*Hominidae*).

A **gibbonfélék** Délkelet-Ázsiában honosak, nappali életmódot folytatnak. Fákon élnek, ahol hosszú felső végtagjaik segítségével, függeszkedve közlekednek. Ezek hossza a test hosszánál akár 2,6-szor is hosszabb lehet. A koponya térfogata 100–130 cm³.

Az **emberszabású majmok** családjában olyan majmokat találunk, melyek rendelkeznek egyes emberekben is meglévő vagy ahhoz hasonló tulajdonságokkal. Mindössze kevés, szűk elterjedési területű fajt találunk e családban: az afrikai trópusi esőerdőkben élő gorillát, csimpánzt, bonobót és a Délkelet-Ázsiában, Borneó és Szumátra szigetén élő orangutánt.

Az emberszabású majmoknak hiányzik a farkuk, agyféltekéik barázdáltsága nagyon hasonlít az emberéhez. Sok jellegvonásban viszont különböznek az embertől: az állkapocs és az arckoponya nagyobb, mint az agykoponya. Egyes fajok koponyáján nyíl irányú csontos taraj figyelhető meg (izomtapadási hely). Az állkapcsuk szárai párhuzamos U alakúak, míg ez az embernél parabolikus lefutású. Koponyatérfogatuk viszonylag kicsi: az orangutáné 370–425 cm³, a csimpánzé 350–400 cm³, míg a gorilláé 460–535 cm³. Törzsük rövid, felső végtagjuk hosszabb, mint az alsó; rövid ideig két lábon, felegyenesedve is tudnak járni, de általában négy lábon járnak. A földön járva az orangutánok az öklükre, a csimpánzok és a gorillák a harmadik ujjuk háti oldalára támaszkodnak.

OLVASNIVALÓ...

Rokonaink

A különböző fajok leszármazási rokonságának mértékét ma elsősorban az örökítőanyag hasonlóságával hozzuk összefüggésbe. A 21. században már megvan a lehetőség arra, hogy különböző fajok akár több ezernyi génjében elemezzék a bázissorrendet. Széles körű érdeklődés kísérte az emberszabású majmok örökítőanyagának vizsgálatát. Az orangután és az ember DNS-e mintegy 97%-os egyezést mutat, ebből a kutatók arra következtetnek, hogy közös ősök kb. 14 millió éve éltek. A gorilla és az ember DNS-e 98%-ban azonos, ami hozzávetőleg 10 millió évvel ezelőtti evolúciós szétválásra utal. Az ember DNS-éhez leginkább a csimpánzé hasonlít, az egyezés a vizsgált gének bázissorrendjében 99,4%-os. Ebből a kutatók arra következtetnek, hogy a két faj fejlődése 5–6 millió éve vált szét. A kutatók egy része a nagymértékű genetikai

hasonlóság alapján az orangután, a gorilla, a csimpánz és az emberi faj közös családba, az emberfélék közé sorolását javasolta.

Forrás: MOLNÁR K. – MÁNDICS D. (2017): *Biológia 12.* Eszterházy Károly Egyetem, Eger. 85. (https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia_12/ Megtekintve: 2021. április 12.

A legidősebb főemlősleletek a felső kréta korból származnak, koruk mintegy 60–70 millió év. Maradványaikat az északi félgömbön több helyen megtalálták.

A keskenyorrú majmok alrendjén belül mind az emberszabású majomfélék, mind az emberfélék leszármazási vonala egy közös elágazásból indult ki a korai miocénban, úgy 20 millió évvel ezelőtt. Ezeken az ősi emberszerűeken mind az ősi keskenyorrú majmok, mind az emberszabásúak jellegzetességei megfigyelhetők. Fossziliáikat megtalálták Afrikában, Ázsiában és Európában is.

Az európai leletek közül megemlítendő a Magyarországon, Rudabányán talált leletek (egy hím és két nőtény egyed maradványai), melyek kora kb. 10 millió évre tehető. A lelőhely szerint a fajt *Rudapithecus hungaricus*-nak nevezték el, de később úgy vélték, hogy ezt a fajt már korábban leírták *Dryopithecus brancoi* néven.

15 millió évvel ezelőtt Afrika addigi arculata jelentős változásokon ment át. A földkéreg széttöredezésének köszönhetően hatalmas törésvonal keletkezett Kelet-Afrikában, aminek köszönhetően a hasadéktól keletre a földfelszín jelentősen megemelkedett. Ez éghajlatváltozáshoz is vezetett amiatt, hogy a kiemelkedés következtében elzáródott a kelet-nyugati légáramlás útja, így kevesebb csapadék jutott a keleti részre. Az éghajlatváltozás a keleti rész vegetációjának változását eredményezte: a korábbi zárt erdőtakaró helyén ligetekkel és cserjés területekkel átszőtt erdőfoltok jelentek meg. Ezt a mozaikosságot tovább fokozták az újabb kéregmozgások következtében kialakult változások: kialakult a Kelet-afrikai-árokrendszer. A miocén kor végi hidegebbé és szárazabbá váló éghajlat következtében a keleti rész ligetes erdőit füves szavannák váltották fel. Ezek a geológiai és éghajlati változások nemcsak a növényvilágra fejtették ki hatásukat, hanem az állatvilágra is. Így a mai emberszabású majmok és a korai emberfélék közvetlen ősei 5–7 millió évvel ezelőtt váltak el egymástól. A hasadéktól nyugatra került populáció a páradús erdei körülmények között a csimpánz, a bonobo és a gorilla irányába fejlődött, míg a keletre eső populáció, a száraz szavannai viszonyoknak köszönhetően, az emberfélék irányába.

Egyes feltevések szerint az emberré válás folyamata nem a szavannákon, hanem nagyobb, szigetekkel tarkított tavak mentén zajlott le. A vízközei fejlődés számos egyébként nehezen megválaszolható kérdésre (pl. két lábra állás, a test szőrtelensége, a bőr alatti zsírpárnák megjelenése, a verejtékmirigyek megjelenése, vagy éppen a mai ember vízszeretete) választ adna.

8.3. Az ember makroevolúciója

A száraz szavannán történő túlélés végett az itt rekedt emberféle ősöknek alkalmazkodniuk kellett az új, megváltozott életfeltételekhez. Ennek következtében alakulhatott ki a két lábon járás (a magas fűben messzebb el lehetett látni felegyenesedve, így könnyebben figyelhetek az esetleges veszélyekre), ami maga után vonta azt a lehetőséget, hogy a felegyenesedett egyedek felső végtagjaikkal más tevékenységet végezzenek helyválttatás helyett. Ez amellet, hogy a táplálékszerzésnél előnyt jelentett, az agytérfogát növekedését is eredményezte, ami az értelmi képességek további növekedéséhez vezetett.

Az emberré válás első állomásának az *Australopithecus*okat tekintik. Nevük 'déli majmot' jelent, és több mint 4 millió éve jelentek meg Afrikában. Különböző fajaik eddig csak Dél- és Kelet-Afrikából kerültek elő. Úgy 1 millió évvel ezelőtt haltak ki.

Külső megjelenésükben a mai emberszabású majmokra hasonlítottak. Agytérfogatuk 350–550 cm³ körüli volt, testtömegük fajtól és nemtől függően 30 kg-tól 50 kg-ig terjedt, testmagasságuk ugyancsak nemtől függően 105 és 150 cm között mozgott. Felső végtagjaik hosszúak, az alsók rövidek voltak. Még jól tudtak a fákon is közlekedni, de a talajon már két lábon jártak. Erdős és nyílt, füves területeken is előfordultak. Kisebb hordákban éltek, eszközöket használtak, vadásztak és növényeket gyűjtögettek.

Morfológiai jellegzetességeik alapján két nagy csoportba sorolhatók: egy részüknek koponyája és testalkata gracilis volt, testmagasságuk 120 cm, testük tömege pedig 35–40 kg körüli lehetett; feltehetően mindenevők voltak (*A. anamensis*, *A. afarensis*, *A. africanus*, *A. sediba*). A másik csoportba a robusztus koponyájú, erősebb testalkatú, 150 cm magas és 50 kg körüli testtömeggel rendelkező fajok tartoznak, melyek kizárólag növényevők voltak (*A. robustus*, *A. boisei*, *A. aethiopicus*).

Az *Australopithecus*ok szerepe az emberré válás folyamatában még nem teljesen tisztázott. Nem kizárt, hogy az evolúció egy zsákutcáját jelentik, de az is elképzelhető, hogy a gracilis csoportba tartozók közül indult ki az ember irányába tartó evolúció.

A *Homo* nem legkorábbi fajaként a *Homo habilis* jelent meg Afrikában, 2,3–2,4 millió évvel ezelőtt. Kortársa volt az utolsó *Australopithecus*oknak. Koponyatérfogata nem volt túl nagy, 500–650 cm³ közötti lehetett. Az *Australopithecus*okhoz hasonlóan a felső végtagjaik a törzshöz viszonyítva hosszúak voltak, de alsó végtagjaik már valamivel megnyúltabbak voltak. Korábban azt feltételezték róluk, hogy nemcsak használtak különböző eszközöket, hanem ők voltak az első kőeszközkészítők, de a legújabban talált leletek alapján ez megkérdőjelezhető.

A pleisztocén korban Afrikában mintegy 1,8 millió évvel ezelőtt egy újabb korai emberfaj jelen meg: a *Homo erectus* (felegyenesedett ember). Ő rendelkezett először a mai modern emberre jellemző testarányokkal: rövid törzs, hosszú alsó és rövidebb felső végtagok. A *Homo* fajok képviselői közül ő volt az első, amelyik elhagyta az afrikai kontinenst és alkalmazkodott az ázsiai és az európai környezeti feltételekhez. Ő maradt fent a leg-hosszabb ideig a *Homo* nem képviselői közül. Egyes kutatók állítása szerint Ázsiából (Jáva szigete) 27–53 ezer

V. EVOLÚCIÓ

évvel ezelőtt halhattak ki, így akár találkozhattak is az ide beérkező modern *Homo sapiens* csoportokkal. Előreugró állású koponya, az állcsúcs hiánya és vastag szemöldökív jellemezte őket, koponyájuk térfogata mintegy 750–1300 cm³ volt. Ez az emberfaj előre elképzelt modell alapján készített kőeszközöket magának, a tüzet már ismerte, előállítani azonban még nem tudta. Egyedei vadászó-gyűjtögető hordákban éltek.

Leleteiket megtalálták Afrikában (Dél-Afrika, Csád, Turkána-tó, Olduvai szurdok, Etiópia, Eritrea), Ázsiában (Jáva, Kína, India, Közel-Kelet). Általánosan elfogadott nézetek szerint a Flores szigetén megtalált *Homo floresiensis* (floresi ember, vagy „hobbit”) a *Homo erectus*-nak egy, a szigeti izoláció következtében kialakult törpe utóda lehetett.

A ma leginkább elfogadott nézetek alapján Afrikában, a *Homo erectus* populációiból fejlődhetett ki a *Heidelbergi ember* (*Homo heidelbergensis*), amely a *Neander-völgyi ember* (*Homo neanderthalensis*), az ázsiai (szibériai) *denisovai ember*, valamint a *Homo sapiens* közös ősenek tekinthető. A *Homo heidelbergensis* 155–175 cm magas lehetett, testtömege 50–65 kg közötti, agytérfogata 1200 cm³ körüli volt, kerekesebb szemüreggel és íveltebb nyakszirtcsonttal rendelkezett, mint a *Homo erectus*. Az állcsúcs hiánya még itt is megfigyelhető. Afrikából, Európából (többek között Vértesszőlős, Magyarország) és Ázsiából kerültek elő a mintegy 600–250 ezer éves leleteik.

OLVASNIVALÓ...

Bizonytalanságok

Az emberi evolúcióval foglalkozó kutatók sokáig úgy vélték, hogy miután a Neander-völgyi ember eltűnt, a *Homo* nemzetségből csak a *Homo sapiens* faj maradt a Földön. Nagy meglepetést keltett, amikor 2003-ban az Indonéziához tartozó Flores-sziget egyik barlangjában különleges, apró emberi csontokra bukkantak. A felfedezők az élőlényt külön fajba sorolták, s lelőhelyéről *Homo floresiensis*-nek nevezték el. A leletek 35–14 ezer évesek, de a lelőhelyen talált kőszerszámok között 9400 éve készült eszközök is akadnak. A csontmaradványok alapján ezek az emberek 1 méter körüli magasságúak voltak, testtömegük mintegy 30 kg, agytérfogatuk pedig mindössze 420 cm³ volt, szemben a ma élő *Homo sapiens* 1300–1400 cm³ körüli agytérfogatával. A Flores-szigeti emberek leszármazási kapcsolatairól, evolúciós jelentőségéről élénk vita folyik felfedezésük óta. A kutatók egy része szerint ezek az emberek nem is sorolhatók külön fajba, mivel az egyedek talán csak egy betegség, örökletes elváltozás miatt lettek apró termetűek.

2008-ban Szibéria déli részén egy barlangban kb. 40 ezer éves emberi csontmaradványokat találtak. A DNS-vizsgálatokból kiderült, hogy ez az ember nem volt sem Neander-völgyi, sem modern ember, de a Neandervölgyiekkel közös származású. Ezek szerint a 40 ezer évvel ezelőtti időszakban legalább három, vagy talán négy emberi faj élt a Földön: a Neander-völgyi, a szibériai és a modern ember, illetve (ha külön faj volt) a Flores-szigeti.

Forrás: MOLNÁR K. – MÁNDICS D. (2017): *Biológia* 12. Eszterházy Károly Egyetem, Eger. 88. (https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia_12/ Megtekintve: 2021. április 12.)

V. EVOLÚCIÓ

A *Homo heidelbergensis* Európába kivándorolt populációja alakult át *Neander-völgyi emberré*, míg az Afrikában maradottakból a *Homo sapiens* fejlődött ki.

A *Neander-völgyi ember* Európában fejlődhetett ki, mintegy 200 ezer éve. Leleteiket megtalálták Európában (többek között Magyarországon is, a borsodi Cserépfalu mellett található Suba-lyuk barlangban) és Ázsiában. Izmos, zömök testalkatú, 150–160 cm magasságú volt, általában 1300–1800 cm³ közötti koponyaűrtartalommal. Erős homlokeresz jellemezte, állcsúcsa nem volt. Combcsontja hajlott volt, gerincoszlopán nem alakult ki a *Homo sapiens*-re jellemző S alakú görbület. Testtartása kissé előrehajló lehetett.

A *Neander-völgyi emberek* a pleisztocén idején éltek, jól alkalmazkodtak a hideg éghajlathoz, a hideg elől barlangokba húzódtak. A tüzet már elő is tudták állítani. Alaposan megmunkált kőeszközöket készítettek. Hordákban éltek, közösen vadásztak. Halottaikat eltemették. Már kialakult náluk a primitív, tagolatlan beszéd. A sírokban talált leletek alapján az is megállapítható, hogy megjelenhetett náluk a miszticizmus, spirituális szertartásokat tarthattak, sőt kezdetleges hangszereket is készíthettek és használhattak. Mintegy 28 ezer évvel ezelőtt tűntek el a történelem színpadáról, ami többtényezős folyamatra vezethető vissza. A *Homo sapiens* a jobb biológiai és egyéb adaptációs mechanizmusai, technológiai, szociális és gazdasági fölénye révén szoríthatta háttérbe a *Neandervölgyi embert*.

OLVASNIVALÓ...

Vita a Neander-völgyi emberről

A Neander-völgyi ember rendszertani besorolását illetően nincs egyetértés a kutatók között. Egyes elgondolások szerint egy kihalt emberi faj. Mások szerint nem önálló faj, hanem a mai ember, a *Homo sapiens* alfaja. Sőt, a szakemberek egy része szerint nem is halt ki, hanem keveredett a modern *Homo sapiens* populációival. Európa és a Közel-Kelet egyes területein élt, az utolsó időkben a mai emberrel egyidejűleg és közös területeken. Azt is kimutatták, hogy a Neander-völgyi emberek génállománya megtalálható az európai lakosságban (1–4% közötti mértékben), amit egyesek a közös őssel magyaráznak, mások viszont azzal érvelnek, hogy a mai ember őse és a Neander-völgyi ember keveredett egymással.

Forrás: MOLNÁR K. – MÁNDICS D. (2017): *Biológia 12.* Eszterházy Károly Egyetem, Eger. 87. (https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia_12/ Megtekintve: 2021. április 12.)

8.4. Az ember mikroevolúciója

Az ember (*Homo sapiens*) legősibb alakjai mintegy 200 ezer évvel ezelőtt jelenhettek meg Afrikában. Innen szétterjedve benépesítették és birtokukba vették az Ó- és Újvilágot egyaránt, miközben a korábbi ember-típusokat kiszorították élőhelyükről.

A korábbi emberfélékkel összehasonlítva, a *Homo sapiens*re a nagy agytérfogat (több mint 1300 cm³), kiszélesedő falcsontok, a nyakszirtcsont íves lefutása jellemző. Koponyacsontjai vékonyak, fogai kicsik, előreugró állcsúccsal rendelkezik. Viszonylag nagy testű (legalábbis a korai emberelődökhöz képest), ugyanakkor gracilis csontozat és izomzat jellemző rá.

Az ember sajátossága a magas szintű tudatos gondolkodás. Ennek alapján képes felmérni és megítélni saját cselekedeteit, valamint azok következményeit, és az így szerzett tapasztalati tudást a későbbiekben újra fel is tudja használni.

A ma élő emberek egyetlen fajba (*Homo sapiens*) tartoznak. Ezen belül, a különböző környezeti tényezőkhöz való adaptálódásnak köszönhetően, négy alfajt (földrajzi változatot) tudunk megkülönböztetni egymástól:

1. a negrid,
2. a mongolid (ide sorolva az amerindideket is),
3. az ausztralonezid,
4. és az europid földrajzi változatot.

Mindegyik alfajt több helyi változat (fajta) alkotja, ezek pedig még különböző alváltozatokra (helyi típusok) oszthatók. Az emberi alfajok képviselői morfológiailag és fiziológiailag eltérnek ugyan, de értelmi képességeik tekintetében nem különböznek egymástól. Biológiai értelemben teljesen egyenértékűek.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- BEREND M. – SZERÉNYI G. (1994): *Biológia II. Állattan. Ökológia*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- BEREND M. – SZERÉNYI G. (2009): *Biológia I. Növénytan*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- BEREND M. – GÖMÖRY A. – SZERÉNYI G. (2003): *Biológia IV*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- CZAKÓ J. (1985): *Etológiai kislexikon*. Natura, Budapest.
- CSABA GY. (1988): *Orvosi biológia*. Medicina Kiadó, Budapest.
- CSÁNYI V. (2002): *Etológia*. Nemzedékek Tudása Tankönyvkiadó, Budapest.
- CSERMELY P. (1997): Az élet születésének biológiája. *Természet Világa*, 1.
- DUDICH E. – LOKSA I. (1989): *Állatrendszertan*. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest.
- ENDRÉDI L. (2008): *Biológiai ismeretek*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- FAZEKAS GY. – SZERÉNYI G. (2015): *Biológia II. kötet - Ember, bioszféra, evolúció*. Scolar Kiadó, Budapest.
- FODOR F. (1999): Könnyező növények. *Természetbúvár*, 3.
- FODOR F. (2000): A levél. *Természetbúvár*, 5.
- FODOR F. (2000): Acélos szerkezetű fák és fűvek. *Természetbúvár*, 1.
- FODOR F. (2002): Erdei szivárvány. *Természetbúvár*, 2.
- GÁNTI T. (2000): *Az élet általános elmélete*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- GARANCZY M. (1995): Ragadozó növények. *Természetbúvár*, 6.
- GYENIS GY. – HAJDU T. (2017): *Emberré válás. Az ember biológiai és kulturális evolúciója*. Archaeolingua Alapítvány, Budapest.
- GYENIS GY. (2001): *Humánbiológia. A hominidák evolúciója*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- HARASZTY Á. (1979): *Növénysszervezetten és növényélettan*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- HERCZEG É. – VOJNITS A. (1981): *Időjós élővilág*. Natura Kiadó, Budapest.
- HORÁNSZKY A. – JÁRAINÉ KOMLÓDI M. (1991): *Növényrendszertani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- JACOB F. – JÜGER E.I. – OHMANN E. (1985): *Botanikai kompendium*. Natura Kiadó, Budapest.
- KIS-KOVÁCS G. (1998): „Mezei” meteorológusok. Mikor hamburgázik a disznó? *Természet Világa*, I. különszám.
- KISS I. (1993): Madarat tolláról ... *Süni*, 7.
- Larousse – *A természet enciklopédiája*. Glória Kiadó, 1994.
- LÉNÁRD G. (2008): *Biológia III*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- LŐW P. (1993): Szörstori. *Süni*, 5.
- MÁNDICS D. – MOLNÁR K. (2016): *Biológia középiskolásoknak, érettségizőknek*. Panem Könyvkiadó Kft., Budapest.
- MAYER J. (1981): *Hogyan viselkednek az állatok*. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest.
- MAYNARD SMITH J. – SZATHMÁRY E. (2017): *A földi élet regénye*. Vince Kiadó, Budapest.
- MOLNÁR K. – MÁNDICS D. (2017): *Biológia 12*. Eszterházy Károly Egyetem. (https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia_12/ Letöltés ideje: 2021. 04. 12).
- MOLNÁR K. – MÁNDICS D. (2018): *Biológia 11*. Eszterházy Károly Egyetem – Oktatókutatató és Fejlesztő Intézet, Eger.
- MORGAN E. (2017): *A vízimajom elmélet*. Joshua Könyvek, Budapest.

- NAGY M. (1990): *Biológia*. Medicina Kiadó, Budapest.
- NYITRAY L. – PÁL G. (2013): *A biokémia és molekuláris biológia alapjai*. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Társadalomtudományi Kar.
- OLÁH Zs. (1997): *Biológia III. Genetika, evolúció, ökológia, etológia*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- OLÁH Zs. (2002): *Biológia I. Állatok és növények*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- PALMER D. (2007): *Az ember eredete. Az ember fejlődésének képes története*. Officina '96 Kiadó, Budapest.
- PODANI J. (2014): *A szárazföldi növények evolúciója és rendszertana. Vezérfonal egy nem is olyan könnyű tárgy tanulásához*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.
- STRINGER C. – ANDREWS P. (2005): *Az emberi evolúció világa*. Alexandra Kiadó, Pécs.
- SZATHMÁRY E. (2003): Az élet keletkezése. *Magyar Tudomány*, 10.
- SZERÉNYI G. – ALTBACKER V. – BEREND M. – FAZEKAS GY. (1992): *Biológia I*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- SZERÉNYI G. (2019): *Biológia érettségizőknek 2. kötet*. Mozaik Kiadó – Imosoft Kft., Szeged.
- UJHELYI P. (1992): ... mint a békák bőre. *Süni*, 5.
- WOLF J. – BURIAN Z. (1988): *Az őskori ember*. Gondolat Kiadó, Budapest.
- XANTUS J. (1981): *A természet kalendáriuma*. Albatrosz Kiadó, Budapest.
- ZSAKÓ J. (1968): Kémiai kutatások és az élet keletkezése. *Korunk*, 4.

Ajánlott internetes anyagok

- HÁGEN A. (2017): *Az élet eredete*. https://pangea.blog.hu/2017/06/25/az_élet_eredete_995 (Letöltés ideje: 2021. 06. 10).
- KRAJNYÁK Z. – NAGY Zs. – ZSIROS A. *Az élet keletkezése*. http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/oktatoanyag/segedlet/kozv_korny_keletk/élet_keletkezese/élet_keletkezese_index.htm (Letöltés ideje: 2021. 06. 10).
- KRISTÓF Z. – VÁGI P. – PREININGER É. – KOVÁCS M. G. – BÓKA K. – BÖDDI B. (2011): *Növények és gombák szerveződése*. <http://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/12099> (Letöltés ideje: 2021. 06. 10).
- NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM MEZŐGAZDASÁG- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR NÖVÉNYTANI TANSZÉKÉNEK MUNKATÁRSAI (2016): *Növénytan* (elektronikus jegyzet). Mosonmagyaróvár. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ZkNFuimCe0gJ:eduline.hu/segedanyagtalalatok/letolt/3177+&cd=2&hl=hu&ct=clnk&gl=hu> (Letöltés ideje: 2021. 06. 10).
- TURCSÁNYI G. – TURCSÁNYINÉ SILLER I. (2005): *Növénytan*. <https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/novenytan-novenytan/ch01.html> (Letöltés ideje: 2021. 06. 10).
- VADKERTI E. – MÁTICS R. – RAUCH T. – HOFFMANN GY. (2011): *Evolúció II. A változó élet*. <http://tamop412a.ttk.pte.hu/files/biologia5/Evolucio/chunks/index.html> (Letöltés ideje: 2021. 06. 10).
- VIZKIEVICZ A. (2001): *Etológia*. <http://www.sulinet.hu/tovabbtan/felveteli/2001/29het/biologia/biosz29.html> (Letöltés ideje: 2021. 06. 10).
- Az élet felépítő anyagok, a biogén elemek*. <https://erettsegizz.org/biologia-erettsegi-tetelek/az-lot-felpto-anyagok-a-biogn-elemek/> (Letöltés ideje: 2021. 06. 10).
- A sejtek anyagai*. <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/biologia/biologia-11-evfolyam/sejtbiologia/a-sejtek-anyagai> (Letöltés ideje: 2021. 06. 10).
- XV. *Földtörténet*. http://egyetemi.hu/fajlok/foldrajz/9.%20%C3%A9vfolyam/BEKG_15_Foldtortenet.pdf (Letöltés ideje: 2021. 06. 10).
- Az élet megjelenése és kezdetei*. https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia_12/lecke_03_016 (Letöltés ideje: 2021. 06. 10).

Ez az egyetemi jegyzet a természettudományos ismeretek elmélyítéséhez nyújt segítséget.

A jegyzet első nagy egysége a *növényteni és állattani ismereteket* foglalja magában. Bemutatjuk az egyed alatti szerveződési szinteket és az élővilág rendszerezését. Az alapvető élettani jelenségek esetében a hangsúlyt a gyermekekkel megfigyelhető életjelenségekre és a hallgatók által tanórán elvégezhető vizsgálódásokra helyeztük.

A második nagy egység a *genetika* legfontosabb ismereteit foglalja össze, gazdag ábraanyaggal.

A harmadik egység az *etológia* témakörét öleli fel. A legfontosabb fogalmakat külön fejezetbe is kigyűjtöttük: az alaposabb és mélyebb ismeretek megszerzése céljából a fogalmak magyarázata mellett ezeket konkrét példákon keresztül is szemléltetjük.

A negyedik egység az *evolúció* témakörét öleli fel, részletesen tárgyalva az ember *makro- és mikroevolúcióját* is.

Az *Irodalomjegyzék* a különböző témákban való elmélyülésen túl a hallgatók környezeti nevelésre való közvetlen felkészülését szolgálja.

A szövegben lévő idegen szavak, illetve ismeretlen fogalmak értelmezése, magyarázata csak azok első előfordulásakor van feltüntetve.

Az *Olvasnivaló...* címszó alatt, a témára vonatkozó figyelemfelkeltő érdekességek találhatók, melyek az ajánlott szakirodalom tanulmányozására ösztönöznek.



ELTE | TÓK
TANÍTÓ- ÉS ÓVÓKÉPZŐ KAR

