



**SOPRONI  
EGYETEM**

Dr. Heil Bálint  
ERDŐMÉRNÖKI KAR  
Környezet- és Természetvédelmi Intézet  
9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4.  
+36 99 518 171 • heil.balint@uni-sopron.hu

## **MIKROBIOLÓGIA I. (oktatási segédlet)**

Ezen oktatási segédlet a Soproni Egyetem Erdőmérnöki Karának hallgatói számára készült, Mikrobiológia tárgykörbe való általános bevezetésként. A jegyzet elkészítésének alapját az Eötvös Loránd Tudományegyetem Mikrobiológus Szakirányú Továbbképzési Szak oktatási segédletei és tananyagai, valamint Dr. Hornok László „Bevezetés a mikrobiológiába” c. egyetemi jegyzetpótló (SZIE Mezőgazdaságtudományi Kar, Gödöllő, 2000) adta.

Dr. Heil Bálint  
egyetemi docens

Sopron, 2023

## Tartalomjegyzék

A mikrobiológia tárgya, története.....	3
A mikroorganizmusok izolálásának és tenyésztésének módszerei, eszközei .....	27
A vírusok.....	44
Prokarióta mikroorganizmusok: a baktériumok .....	68
Eukarióta mikroorganizmusok: a (mikroszkópikus) gombák .....	89
Algológia .....	112
Protisztológia .....	114

## A mikrobiológia tárgya, története

### *A mikrobiológia tárgya, fogalma*

A mikrobiológia, mint a biológia egyik ága, a szabad szemmel nem látható élőlényekkel, a mikroszervezetekkel vagy mikrobákkal, azoknak alakjánál, életánál, származás-, fejlődés- és öröklésánál, valamint a mikroba-ember és a mikroba-környezet kapcsolattal foglalkozó tudományág.

Mikroszervezetek alatt értjük az összes olyan élőlényt, amelyet az emberi szem egyáltalán nem képes felismerni, ill. egyes mikrobák testmérete ugyan már elég nagy lehet ahhoz, hogy lássuk őket, de rajtuk szabad szemmel nem tudunk részleteket elkülöníteni. Ezek az élőlények lehetnek nem sejtes szerveződésűek (vírusok), egysejtűek (pl. baktériumok, élesztők), vagy kisebb nagyobb sejthalmazokba tömörülhetnek (pl. algák), de igazi szövetekké soha nem szerveződnek.

Közéjük tartoznak tehát a vírusok, baktériumok, mikroszkopikus gombák és algák, valamint a protiszták (protozoonok). Ennek megfelelően a mikrobiológia fogalmának értelmezése rendkívül szélessé vált, vizsgálódásainak tárgya szerint ma már több önálló tudománykört különítünk el:

- VIROLÓGIA;
- BAKTERIOLÓGIA;
- MIKOLÓGIA;
- ALGOLÓGIA;

## - PROTOZOOLÓGIA.

Egy másik csoportosítási szempont, a művelési irány szerint elkülöníthetők:

- Orvosi és állatorvosi mikrobiológia (immunológia, közegészségügy és járványtan);
- Mezőgazdasági mikrobiológia (élelmiszer-, tej-, víz-, talajmikrobiológia);
- Biotechnológia (ipari mikrobiológia és génebézészet).

### *A mikrobiológia rövid története*

Bár a mikrobiológiának, mint modern tudományágnak még nem túl hosszú a története, a mikrobák természetesen nemcsak végigkísérték az emberiség történelmét, de sokszor meg is határozták annak alakulását. Érdeemes ezért végigtekintenünk a történelem folyamán, felvillantva egy-egy mikrobiológiai vonatkozását.

Igaz, hogy hajdanán az emberiség még nem ismerte a szabad szemmel láthatatlan apró élőlényeket, a mikrobákat, mégis már igen régen hasznosította őket. A kenyér készítéséről, amelyben az élesztők vannak segítségünkre, kb. 10.000 éves leletek tanúskodnak. Hasonlóan nagyon korán elkezdődött a különböző **tejtermékek készítése, alkoholos italok előállítása** (pl. babiloniaknál sörkészítés, Bibliában bor említése), melyek mind mikrobák (tejsavbaktériumok, penészek és élesztőgombák segítségével készültek és készülnek máig is. Az **egyes növényi és állati eredetű táplálékfeleségek, ill. használati tárgyak, eszközök**

**eltarthatóságát** (azaz konzerválását, korhadástól, rothadástól, egyéb mikrobiológiai eredetű kártételétől való megóvását) őseink nagy tapasztalatra alapozva, kitűnő érzéssel oldották meg. Gondolhatunk itt a hús, hal szárítással vagy füstöléssel való tartósítására (bizonyos értelemben a tejtermék-előállítások is ezt a célt szolgálták), de a bőr- vagy fatárgyak, eszközök romlástól való megóvása is ide sorolható.

Hasonlóan fontos szerep jutott a mikrobáknak az **emberek és háziállataik egészségének megőrzésében** de persze **megrontásában is**. A múmiák vizsgálatával a korabeli leírások alapján több fertőző betegséget egyértelműen sikerült beazonosítani. A különböző vallások írásos emlékei (pl. Biblia, Talmud), valamint más történelmi feljegyzések pontos képet festettek egyes máig is ismert és pusztító, epidémiákat okozó betegség (*himlő, tuberkolózis, pestis*) történetéről, kórképéről, pusztításáról.

Vizsgáljuk meg mikrobiológiai szempontból az Egyiptomot sújtó, bibliai 10 csapás híres történetét. A fáraó nem akarta elengedni a zsidókat országából, hiába kérlelte Mózes. Büntetésül az Úr 10 rettenetes csapást mért az országra, melyek előtt végül meghajolt a fáraó:

„Az 1. csapás: a víz vérré változik

<sup>14</sup>Az Úr így szólt Mózeshez: „A fáraó szíve megkeményedett, nem akarja elbocsátani a népet.” ... „Mondd meg Áronnak, vedd a botodat, és nyújtsd ki a kezedet Egyiptom vizei fölé: a folyók, a csatornák, a mocsarak és minden ciszterna fölé, hogy vérré váljanak. Váljék vérré mind Egyiptom egész földjén, még az is, ami a fa- vagy kőedényekben van.” Mózes és Áron úgy tettek, ahogy az Úr parancsolta. Felemelte botját, s a fáraónak és szolgálainak szeme láttára rácsapott a folyó vizére, s a folyó egész vize vérré változott. A folyó halai elpusztultak, s ettől a folyó annyira búzlott, hogy az egyiptomiak nem tudták inni a vizét. Mindenütt vér volt Egyiptomban.”

A tudomány egyre több jelét véli felfedezni az emberiség történelmében e történetnek. Régészeti feltárások alapján II. Ramszesz fáraó (i.e. 1279-1213) idején az egyiptomi birodalom Nílus-deltában fekvő akkori fővárosa hirtelen elnéptelenedett. Az egyiptomi barlangok cseppköveinek radioaktív elem-vizsgálata szerint a korra jellemző meleg, csapadékos időjárás rövid idő alatt tartós szárazságra váltott át. A Nílus vízhozama jelentősen lecsökkent, így egy lassan vánszorgó, iszapos-sáros folyócskává apadt. A berlini Leibnitz Intézet kutatója, Stephan Pflugmacher szerint a víz vére emlékeztető színét az *Oscillatoria rubescens* (Burgundi Vörös) alga tömeges elszaporodása okozhatta, mely toxin termelése révén mérgezővé is teheti a vizeket.

„Az 5. csapás: a dögvész

„Ezután az Úr így szólt Mózeshez: *„Menj a fáraóhoz és mondd meg neki: ezt üzeni az Úr, a héberek Istene: engedd szabadon népemet, hogy áldozatot mutasson be nekem. Ha nem engeded el, hanem továbbra is fogva tartod, akkor az Úr keze, mint pusztító járvány, ránehezedik nyájaidra, amelyek a mezőn vannak: a lovakra, a szamarakra, a tevékre, a szarvasmarhákra és a juhokra. De az Úr megkülönbözteti az izraeliták állatait az egyiptomiak állataitól. Az izraelitákéból egy sem vész el.”* Az Úr az időt is meghatározta; ezt mondta: *„Holnap hozza ezt az Úr az országra.”* Másnap az Úr meg is tette. Az egyiptomiak minden állata elpusztult, de az izraeliták állatai közül egy sem hullott el. A fáraó ellenőriztette a dolgot: az izraeliták nyájaiból valóban egy sem pusztult el. A fáraó ennek ellenére megátalkodott és nem bocsátotta el a népet.”

Most jusson eszünkbe egy friss hír a sajtóból (2013.09.16): „...Kardeván Endre élelmiszerlánc-felügyeletért és agrárigazgatásért felelős államtitkár közölte: Jászladányban egy 210 darabot számláló

birkaállományban lépfenét állapított meg az Állategészségügyi Intézet. Leszögezte: embereken nem észleltek ilyen megbetegedést.”

A hírhedt-rettegett betegség, mely az embert is megfertőzheti, sőt akár a biológiai hadviselés szörnyű eszközévé is válhat, pontosan olyan jellegzetességekkel bír, amelyet az egyiptomi 5. csapásban olvashatunk:

Kórokozója a *Bacillus anthracis* nevű baktérium. A lépfene leggyakrabban vadon élő és házasított kérődzőknél fordul elő, de ha beteg állattal, annak szövetével vagy a lépfene spóráival érintkezésbe kerül, az embert is megfertőzi. A lépfene az elhullott állatok megnagyobbodott, fekete-barnás elszíneződésű lépéről kapta a nevét.

A lépfene a fertőzésre fogékony gerincesek testébe háromféle módon kerülhet be: a bélrendszeren át, belélegezve a tüdőn keresztül és a bőrrel érintkezve. Azon személyek akik lépfenével fertőződnek meg azonnal karanténba helyezendők. Ugyan a lépfene általában nem terjed fertőzöttről egészséges emberre, de mivel a kór végzetes kimenetelű lehet, a tovább fertőződés elkerülése végett elkülönítést alkalmaznak. Állatok esetében az állomány teljes megsemmisítését végzik el, de nagyon fontos, hogy azt megfelelően végezzék el (égetni tilos, 25 m mély döngkútba kell ásni, klórmésszel betakarni és földdel lezárni, 50 évre a területen a mezőgazdasági tevékenységet felfüggeszteni)!

No és mi az összefüggés a bibliai ötödik csapással?

- Először nézzük a betegsége fogékony állatok körét ill. a fogékonyság sorrendjét: leginkább a szarvasmarhák, lovak, birkák, Afrikában a tevék, antilopok és zebrák között pusztít.
- Másodsor nézzük a betegség lefolyását. Az állatok leggyakrabban a bélen vagy tüdőn keresztül, anthrax spórákat tartalmazó földdel szennyezett legelőkön, takarmányból kapják a fertőzést, amely rövid, 1-2 napos lappangási idő után rögtön súlyos tüneteket, gyors elhullást okozhat.

- Harmadszor pedig nézzük a kór terjedését: a levegőben való terjedéshez igen nagy számú spóra (8-50e) kell, így a tüdő anthrax a legritkább. Az állatoknál jóval gyakoribb bélanthrax pedig nem az állatok közötti fertőzéssel terjed, így míg Egyiptomban nagy arányú volt a pusztulásuk, addig az izraeliták földjét elkerülte a kór.

A nagy társadalmi figyelmet kiváltó, súlyos betegségekről számos további történelmi adat is információt szolgáltat:

Herodotosz görög történetíró szerint az i.e. 700-ban a zsidó-asszír háborúban 185.000 ember halt meg *pestis*ben, melynek kórokozója a *Yersinia pestis* nevű baktérium. A pestis óriási pusztítására a történelem során még számos példa adódott, így pl. a XIV. században az egész bolygónkon végigsöpörve mintegy 25 millió áldozatot szedett, egyes földrészek teljes elnéptelenedését okozva (pl. Grönland).

A *kolera* (kórokozója a *Vibrio cholerae* nevű baktérium) a XIX. században Európa számos területén „hódított”, s terjedését csak átmenetileg, ill. csak a Földünk egyes részein tudták megfékezni azáltal, hogy felismerték a fekáliásan szennyezett ivóvíz szerepét terjedésében.

Az epidémiákat okozó kórokozók terjedését az emberi civilizációk fejlődése, a kereskedelem kialakulása, az új földrészek meghódítása, gyarmatosítása, majd legutóbb az óriási méreteket öltött légi közlekedés erősen felgyorsította. Az amerikai kontinensnek mind a déli, mind az északi felén iszonyatos méretű népirtást követtek el a hódítók által behurcolt betegségek. Míg a *himlő* (más nevén a fekete halál) a középkorban Európa legsúlyosabb betegségeként a halálozások mintegy negyedéért volt felelős, addig az amerikai kontinensen még ennél is jóval nagyobb arányban tizedelte meg az indián őslakosokat.

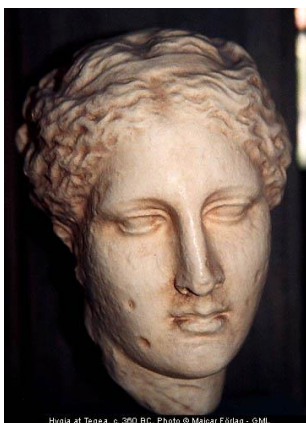
Ki nem ismerné a filmművészet klasszikus alkotásaiban annyiszor lefestett *lepratelepeket*, melyekből a XIX. században Európában mintegy 19 ezret létesítettek a betegség megfékezésére a benne szenvedők



elkülönítésével. A vérbaj (*szifilisz, luesz*) egyes feltételezések szerint a himlővel pont ellentétes irányban a dél-amerikai indiánoktól került át Európába, kontinensünkön széles körben elterjedté válva.

Napjaink egyik legpusztítóbb betegsége az AIDS (acquired immunodeficiency syndrom), melyet a tudományos publikációban elsőként 1981-ben, a párizsi Pasteur Intézet tudósai által leírt HIV vírus (Human Immunodeficiency Virus) okoz. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) adatai szerint bolygónkon jelenleg naponta mintegy 15.000 ember betegszik meg újonnan AIDS-ben. Legsúlyosabban érintett Afrika, de a betegség egyre gyorsabban hódít Ázsiában is, és bizonyos társadalmi körökben a világ fejlettebbnek tekintett részein is megállíthatatlan a terjedése.

A média legszívesebben olyan riasztóan magas halálozási arányt okozó, de legtöbbször csak igen kis területen elterjedő, összességében viszonylag kevés áldozatot követelő betegségekkel szereti riogatni az embereket, mint az ebola és a Marburg vírus. Eközben pedig újra és sokkal félelmetesebb méreteken pusztítanak olyan, a hozzá nem értők számára kevésbé látványos, korábban legyőzöttnek vélt, mikrobák által okozott betegségek, mint a tuberkulózis, kolera, malária, sárgaláz, pestis.



Közmondásunk szerint „a tisztaság fél egészség”. Ezt már a régi korokban is felismerték, így az ókorban is, amikor már viszonylag magas szintet ért el a higiénia. A görög istenségek sorában Hygieia, Asclepius lánya, azon isten, aki meggyógyít minden beteg férfit vagy nőt. Mindketten fontosak voltak az egészség szempontjából, de a gyógyítás istene mégis Apolló maradt, aki Asclepius apja volt, s aki a tisztaságot testesíti meg. Az ókori Egyiptomban, az Eufrátesz és a Tigris mentén, a görög és római birodalmakban és India területén mocsarakat szárítottak ki, csatornázták a városokat és vezetékes ivóvízhálózatokat

működtettek. Arisztotelész (i.e. 384-322) *Athenaion Politeia* című művében szabályként említette, hogy a trágyát a városból a falaktól legalább 2 kilométerre kell elhelyezni.



Ibn Sina (i.sz. 980-1037), aki latin nevén Avicenna-ként is ismert, a muzulmán arabok hódításai utáni első iráni dinasztia uralkodása alatt élt. Apja kormányzó volt, ő tanította fiát, akinek lenyűgöző szellemi képességei már gyermekkorában hírnevet szereztek. 10 évesen már az arab költészet számos összefoglaló művét kívülről tudta, 13 évesen pedig megkezdte orvosi tanulmányait, hogy 16 éves korától már embereket gyógyítson. Később megmentette uralkodójuk (Nuh ibn Mansur) életét, s olyan tudományokban is elmélyült, mint a logika, metafizika, pszichológia, geológia, asztronómia, összesen mintegy 450 művet írva. Fontos, mikrobiológiai vonatkozású az a felismerése, miszerint a beteg emberek otthonában érdemes szellőztetni, mert ezzel csökkenthető a ragály terjedése.

Természetesen a mikrobiológia tudományos szemlélete akkor még nem létezett, sokféle hamis magyarázatot, nézetet alakítottak ki. Így pl. Hésziodosz görög költő i.e. a VIII. században a következőket írta: „...ne az útra vizelj, se menetközben, se ruhátlan,/ el ne feledd, hogy az éjszaka is szent isteneinké./ Istenes és megfontolt férfi leguggol ilyenkor,/ vagy keres egy kerítést, odaáll udvar fala mellé”. Ennek volt köszönhető az, hogy a középkorban sikerült a higiénia legtöbb vívmányát évszázadokra bepiszkolni: a városokban a szennyvíz akadálytalanul folyt bele a kutakba, a lakosság gyakran az utcán végezte dolgát. A házakból az éjjeliedények tartalmát a járókelők közé öntötték, a várak bástyái és erkélyei illemhelyek, a várárcok pedig szennyvízcsatornák is voltak.

Az Erfurtban 1183-ban tartott birodalmi gyűlés során a várak felett levő lovagterem beomlott és a szennyvízben nyolc fejedelem, számos főúr és több mint száz lovag lelte halálát. Barbarossa Frigyes császár úgy menekült meg, hogy kiugrott az ablakon. A Harz-hegységben még ma is megvan az a fürdő, ahová a nőket esküvőjük előtt ünnepélyesen elkísérték, hogy életükben másodszor is megfürödjenek. Az örömlányt jelentő olasz *putana* és a francia *putaine* a latin *pura* (tisztá nő) szóból származik. Az említett lányok a középkorban többnyire a fürdőkben tanyáztak, ezért a tisztaság általában egyet jelentett a feslett életmóddal. Azonban hogy ezen sorok ne szolgáljanak feltétlenül bátorításnak egyes fiatalurak számára, ugyanúgy szoros kapcsolatba hozhatjuk ezen ősi mesterség művelőit olyan nemi úton terjedő betegségekkel is, mint a hepatitisz, szifilisz, gonorrhoea, AIDS, hogy csak a legismertebbeket említsük.

Az 1420-1450-es években divatba jött csipkegallérok és kézelők eltakarták a bőr szifiliszos elváltozásait és az elvakart rüh-, bolha-, tetű- és poloskacsípéseket. A baldachinos ágyak is arra szolgáltak, hogy a poloskák ne tudják éjjel a mennyezetről az alvókra vetni magukat. A francia királyok számára a „lyukas széket” I. Ferenc óta helybe vitték, és dolga végzése közben a király audienciát tartott. A fényűző életmódja és palotái nyomán a „napkirály” néven elhíresült XIV. Lajos versailles-i kastélyát fürdőszoba nélkül építették meg, ahol az arra járó férfiak és nők dolgukat a folyosókon, a termekben a függönyök mögött és az udvaron végezték el. A testszagukat mind a nők, mind a férfiak parfümmel leplezték és a testükön keletkezett pizsokrétegről azt feltételezték, hogy az megóvjá őket a káros külső hatásoktól.

A tisztálkodás más országokban sem volt túlzottan elterjedt. Angliában I. Erzsébetről (1558-1603) így írt egy korabeli újság: „A királynő havonta megfürdik, akár szüksége van rá, akár nem”. A királynőnek külön fürdőkádja volt, a tisztálkodáshoz pedig szappant használt, míg a köznép legfeljebb fahamuval távolította el a piszkot. A vízöblítéses illemhelyet (WC = water closet) Angliában 1589 körül találta fel John Harrington. A kellemetlen szag azonban csak akkor tűnt el, amikor Alexander Cummings

londoni órásmeister 1775-ben megszerkesztette a csatorna szifont, majd a gurigaszerű toalettpapírra 1928-ig kellett várni.

Hazánkban sem volt fényesebb a helyzet a tisztaság terén. Egy XVIII. Századi feljegyzés szerint „Eger városában sok ocsmányság vagyon; az ganaj a lábak alá hányattatik az utczákon s ki nem hordattatik: a tulajdon élő vízben is rútságok hordattatnak s ugyan az a sernek nevelésére, konyhákra és italtra is hordattatik”. Nem csoda, hogy a palackos ásványvizek kora előtt sokáig csak a forralt víz és a szeszes italok fogyasztása volt biztonságos. A gazdagok Európában többnyire még a XVIII. században sem ittak a boron, sörön és teán kívül mást, mert féltek a kolerától és a vérhastól.

Napjaink modern idejében a higiénia a Föld számos területén alapvetően elérhető vívmány. A csatornázás és a vezetékes ivóvízhálózat, külön fürdőszoba, angol WC, a mosdáshoz melegvíz ellátás, szappanok, tusfürdők, különféle mosó- és tisztítószer, fertőtlenítő hatású vegyszerek garmadája áll rendelkezésünkre. Mégis kezd egyre inkább úgy tűnni, hogy egy kis piszok is kell az egészséghez. A higiénia túlzásba vitele ugyanis különböző ártalmakat hívott elő. Az orvostudomány már részben napjaink életmódját teszi felelőssé az allergiás betegségek, ezen belül az asztma terjedéséért. Feltételezik, hogy az emberek egy részénél az allergia kialakulására azért kerül sor, mert gyermekkorukban a szüleik, hogy védjék őket a fertőzésektől, túlzott tisztaságot biztosítottak számukra. A jólét növekedésével egyre több gyermeket nem járatnak bölcsődébe. Ilyen körülmények között a gyermekek immunrendszere nem tudja megtanulni a baktériumok és egyéb anyagok (házipor, macskaszőr, virágporok, stb.) kezelését, így később az ezekkel való érintkezés szervezetük túlzott reakcióját válthatja ki.

Megfigyelték, hogy ahol több testvér él a családban, s a higiénia nehezebben fenntartható, az asztma ritkábban jelentkezik. A megbetegedések száma alacsonyabb azoknál is, akik életük első felét

csecsemőotthonban töltötték. Egy majd 10.000 szülő és gyermekei bevonásával elvégzett nagy-britanniai vizsgálatban megállapították, hogy azok a gyermekek, akiknek a szülei naponta több mint ötször mossák meg az arcát, illetve napi két alkalomnál többször fürösztik, később nagyobb valószínűséggel produkálnak allergiás és asztmás tüneteket.

Egyesek szerint azoknál, akik természetes úton nem kapták meg a kellő „baktériumadagot”, injekció formájában lehetne pótolni a hiányt. Egy a „piszokinjekció” (dirt vaccine) nevű védőoltással foglalkozó angol professzor (John Stanford) Ugandában elvégzett kísérleteiben megfigyelte, hogy a tuberkolózis megelőzésére szolgáló BCG oltás lepra ellen is hatásos volt. Egy az ottani talajból kitenyésztett, a tuberkolózis kórokozójával (*Mycobacterium tuberculosis*) rokon, de az emberre normálisan ártalmatlan baktérium (*Mycobacterium vaccae*) hatására növekedett a szervezetben az immunrendszer hatékonyságát javító, baktérium, vírus és tumor ellen ható anyagok termelése.

Mégis mikortól alakultak ki a mai, modern mikrobiológiai szemlélet alapjai? Mikor váltotta fel a mikrobiológia pusztán gyakorlati megnyilvánulását az elméletileg is megalapozott, valódi tudományág?

A fertőző betegségek és járványok eredetét illetően kezdetben csak babonás elképzelések voltak. Az ó- és középkorban, de még az újkor kezdetén is a betegségek fellépésében a különböző törzsi istenségek haragjának megnyilvánulásának tanújelét látták. Ezen feltevésekből eredtek az olyan elnevezések, mint a vírus (= mérge) fogalma, vagy a malária (= rossz levegő) betegségnév.

Egyesek mégis koruk tudását jóval megelőzve tapogatóztak az igazság közelében: **Marcus Varro** már i.e. 100 körül úgy vélte, hogy a levegőben lévő, nem látható állatok okoznak betegségeket. A késő reneszánsz idején **Fracastorius** (1483-1553) itáliai orvos 1456-ban először alkalmazta a „Contagium vivum”, vagyis az élő ragályanyag fogalmát, tehát a fertőzések eredetét szabad szemmel láthatatlan élőlényeknek

tulajdonította, amelyek a levegővel, vagy kontakt érintkezés útján terjednek. Feltevéseit azonban még nem tudta bizonyítékokkal alátámasztani.

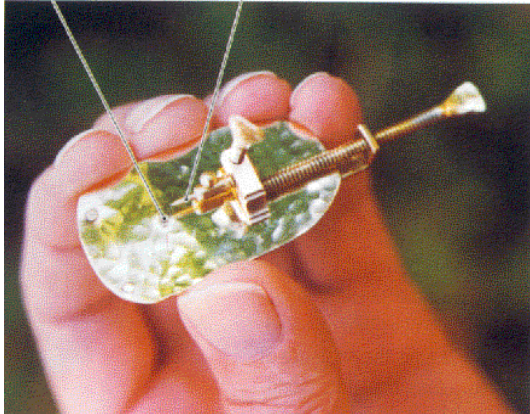
A mikrobiológia mint tudományág megteremtésének nélkülözhetetlen és egyértelműen a legfontosabb lépése volt a mikroszkóp felfedezése. 1590 körül a holland szemüveggészítő Zakariás **Jansen** állította elő az első összetett nagyítót, vagyis a mikroszkópot. Utóbbi elnevezést (melyet kezdetben a távcsőre is értettek) 1625-ben használta először G. Faber. Míg Jansen mikroszkópjának lencségei még erősen torzítottak, ezért velük mikrobákat még nem láthattak, addig 1658-ban A. **Kircher** leírja, hogy a pestisben szenvedő betegek vérében a saját készítésű, 20-25-szörös nagyítójával kis „kukacokat” látott, melyeket a pestis kórokozójának vélt, de valószínűleg ő még csak a vörösvértesteket észlelte.

Az igazi áttörés a XVII. század közepe táján történt, és ezt elsősorban két kiváló tudós, **Robert Hook**-nak (1635-1703) és **Antoni van Leewenhoek**-nak (1632-1723) köszönhetjük. Saját készítésű mikroszkópjaikkal számtalan, mind a mai napig helytálló megfigyelést tettek. **Hook** elsőként írta le a mikroszkopikus gombák jellegzetességeit és azokat a struktúrákat, melyeket ma sejtnak, ill. szöveteknek nevezünk.



**Leewenhoek** Hollandiában született és egész életében sikeres posztókereskedőként dolgozott Delftben. Első nagyítóját is a posztók anyagának vizsgálatára szerkesztette, ő ugyanis nem érte be az annak idején kapható lupék minőségével,

ragaszkodott ahhoz, hogy a maga számára jobbat csiszoljon. Szabadidejében mikroszkópokat szerkesztett, összesen csaknem 250 egyszerű, egyre tökéletesebben kivitelezett szerkezetet megalkotva, melyek nagyítása 50-szerestől a 300-szorosig terjedt.



Ezen nagyítóival minden kezébe kerülő dolgot megvizsgált.

Felfedezte a spermiumokat, vörös vértesteket, leírta a kapilláris ereket. Folyóvízben, dézsában állott vízben, foglepedékben apró lényeket figyelt meg, melyeket „vígán mozgó állatkáknak” nevezett el: 1674-ben ezzel felfedezte a protozoákat. A baktériumok egyes fajtáiról (gömb, pálcika és vibrio alakúak) 1676-ban készült rajzait 1677-ben bemutatta a Londoni Királyi Társaság (Royal Society) előtt, majd később annak tagjaként közel 50 esztendőn át tájékoztatta a tudós világot a szeme előtt feltáruló mikrovilág rejtelseiről. Leewenhoek Newton mellett kora egyik legismertebb tudósa volt, s méltán nevezték el a protozoológia és a bakteriológia atyjának. Sajnos Leewenhoek a nagyítói készítésének titkát végig féltékenyen megőrizte, ezért tudása egy része elveszett, ill. hosszú időre feledésbe merült.

Nem sokkal Leeuwenhoek felfedezései után, Carlous **Linnaeus** (1707-1778) megalkotta rendszertanát (Systema Naturea, 1735), mely a mai biológiai rendszerezés alapját szolgáltatta. Linné azóta részben módosított rendszertana a Leeuwenhoek által felfedezett mikroszkopikus élőlények világát 5 alapvető kategóriára osztja: gombák, protozoák, algák, prokarióták és mikroszkopikus állatok. Az egyetlen mikroba csoport, amelyet Leeuwenhoek annak idején még nem látott és írt le, a vírusok csoportja.

**Arisztotelész** (i.e. 384-322) görög tudós három lehetséges útját különítette el az élet keletkezésének: az aszexuális reprodukciót, a szexuális reprodukciót és a spontán teremtést (*generatio spontanea*). Utóbbi teóriája több mint 1900 éven keresztül tartotta magát, mígnem a XVII. században a Leeuwenhoek által leírt mikroszkópos megfigyelések felhevítették a tudományos vitákat az élet eredetéről. A spontán teremtés tanának követői ütköztek az új tanok követeivel, akik a mikrobák világában vélték felfedezni mindenféle élet eredetét.

Az 1600-as évek végén az olasz belgyógyász doktor, **Francesco Redi** (1626-1697) volt az első, akinek megalapozott tudományos módszerrel sikerült cáfolnia a spontán teremtés létezését. Kísérletében nyers húst helyezett egy befőttes üvegbe: abban az esetben, amikor annak tetejét nem zárta le, a húst néhány napon belül kukacok lepték el. Amikor a hús behelyezése után lezárta az edény tetejét, egyetlen kukac sem jelent meg rajta még napok múlva sem. Harmadik esetben csak gézzel zárta el az edény nyílását, amely képes volt a legyek távol tartására, s ebben az esetben csak néhány kukac jelent meg a húson.

A vita a spontán teremtésről ismét erőre kapott, amikor Leeuwenhoek kimutatta, hogy friss esővízben pár nap után megjelennek mikrobák. Az akkori tudományos világ szerint ezek csak spontán teremtés révén jöhettek létre. Ezt a feltevést látszottak alátámasztani **Turberville Needham** (1713-1781) vizsgálatai. Ő marhahúst és növényi részeket helyezett üveg edényekbe, vízzel leöntötte azokat és forró hamuban olyan magas hőmérsékletre hevítette, melyen nézete szerint már elpusztultak bennük az élő szervezetek. Ezután az edényeket szorosan lezárt parafa dugóval. Néhány nappal később zavarosodást figyelt meg az edényekben, és megvizsgálva azt „legkülönbözőbb dimenziójú mikroszkopikus élőlények” jelenlétét írta le. Magyarozatként azt adta,



hogy lennie kellett valamilyen „élet erőnek”, amely ezen mikrobák spontán megjelenését okozza az edényekben, hiszen lezárásuk előtt a forralással mindent megölt. Needham kísérlete akkora benyomást tett a Londoni Királyi Társaságra, hogy felvették tagjaik közé.

Ezt követően, 1799-ben az olasz tudós Lazzaro **Spallanzani** (1729-1799) olyan eredményeket közölt, melyek ellenkeztek Needhaméival. Spallanzani mintegy 1 órán keresztül forralt néhány főzetet, majd úgy zárta le az üvegedényeket, hogy karcsú nyakukat összeolvastotta. Az ő főzetei ezután tiszták maradtak, mindaddig, amíg el nem törte az üvegek nyakát, ami után azok is megzavarosodtak. Ő ebből három dologra következtetett:

- Needham kísérletében vagy a főzés nem volt elég hatékony és elegendő idejű, vagy nem zárta le tökéletesen az edényeit.
- Mikrobák jelen vannak a levegőben és így képesek befertőzni a főzeteket.
- Nincs spontán teremtés, minden élő anyag élőbből származik.

Annak ellenére, hogy Spallanzani kísérletei végleg megoldani látszhatnának a vitát, mégis nehéznek bizonyult Arisztotelész majdnem két évezredes teóriájának megdöntése. Spallanzani munkáját ugyanis azzal kritizálták, hogy túl szorosán zárta le az edényeit, nem hagyva ezzel elég levegőt a mikrobáknak az élethez, másrészt úgy vélték, hogy a hosszú forralása pusztította el az „életet teremtő erőt”. Ez a vita tehát tovább folyt Louis Pasteur idejéig, aki végleg megdöntötte a spontán teremtés elméletét.

A spontán teremtés vitája mellett a korszak mikrobiológiai kutatásainak másik fő kérdése a betegségek eredete, terjedésének módja volt. Korszakalkotó volt Edward **Jenner** (1749-1823) angol orvos 1796-ban

közzétett felfedezése a himlő elleni védőoltásról. Jenner megfigyelte, hogy a himlőjárványok idején a tehenekkel foglalkozó személyek, elsősorban a fejőlányok, nem betegsznek meg himlőben. Elsőként saját fián próbálta ki teóriáját: beoltotta őt tehén-himlő nyirokkal, amelytől a fiú e sokkal enyhébb betegséget elkapta. Miután a betegsége lefolyt, Jenner beoltotta a halálos fekete himlővel is, amit a fiú ezután már túlélte. E megfigyelés alapján tehén-himlő nyirokból még több oltóanyagot készített, amely további kísérletekben is hatásosnak bizonyult a himlő megelőzésében. Ma azokat az oltóanyagokat, melyek védettséget okoznak egy adott fertőzéssel szemben, *vakcinának* nevezzük (a *vacca* latin szó jelentése: tehén), az első *immunizálás* emlékére, amelyet Jenner mintegy 100 évvel korát megelőzve végzett el.

A fertőző betegségek kóroktanának tisztázásában kiemelkedő szerepe volt **Semmelweis Ignác** (1818-1865) magyar orvosnak. Ő volt az, aki az 1500-as évek közepén tevékenykedő Fracastorius itáliai orvos, ill. a majd 200 évvel később élt Plenciz osztrák orvos azon elméletét bizonyítékokkal tudta alátámasztani, mely szerint egyes betegségeket szabad szemmel nem látható élőlények okoznak, és hogy egy bizonyos betegségért egy meghatározott kórokozó a felelős.

A korabeli leírások szerint Semmelweis igen ellentmondásos, eléggé nehéz természetű ember volt, ahogy ez sok géniusz esetében tapasztalható. Bécsben tevékenykedett egy egyetemi klinika szülészeti osztályán, ahol munkája során nagy számban végzett boncolásokat is. Ott figyelte meg azt, hogy a gyermekeiket kórházban világra hozó anyák közül sokkal többen – helyenként akár 90%-ban is – gyermekágyi lázban haltak meg, míg az otthonukban szülő anyáknál, de Semmelweis saját praxisában is ez a jelenség valamivel kisebb számban jelentkezett. Ugyanezt tapasztalta a korabeli bábaképzőkben is, ami azt sugallta neki, hogy alaposan megvizsgálja a különböző intézmények, helyszínek közötti különbségeket, a betegség okát vizsgálva. Hamar rájött, hogy az egyik ilyen fontos eltérés az, hogy a bábák nem végeztek boncolásokat, de

ekkor még nem tudott tovább lépni gondolatmenetével, mivel Semmelweis ekkor még nem tudott a mikrobák létezéséről. Német nyelvterületen ekkor még alapvetően kémiai folyamatokban gondolkodtak, így pl. a hullák bomlásának okát a szervezet saját enzimeinek tudták be.

Semmelweist nehéz természete miatt főnökei szívesebben látták távol a klinikától, így nyílt alkalma egyszer arra is, hogy szabadságra Velencébe menjen pihenni. Onnan visszatérve érte a lesújtó hír kedvenc kollégája haláláról. Semmelweis mindenáron fel akarta deríteni a halál okát, így történt az, hogy a kórképet olvasva rájött, kollégáját a gyermekági lázhoz teljesen hasonló fertőzés vitte el, miután egy boncolásnál megvágta magát. Annak ellenére tehát, hogy még nem érthette a folyamat lényegét, mert a mikrobákról még nem hallott, helyesen feltételezte, hogy a boncolás során került át valami a halált okozó anyag az orvos társára.

Ma már tudjuk, hogy a gyermekági láz elsődleges kórokozói a *Streptococcus* nemzetségbe tartozó baktériumok, amelyek általában ártalmatlanok a bőr vagy a száj nyálkahártya felületén, de komoly komplikációkat okozhatnak, ha bejutnak a vérpályákba.

Ezt követően, Semmelweis többféle módszer, anyag kipróbálása után fejleszt ki a **klórmeszes kézmosást**, mely oldatot már hosszú ideje használták dögök szagának megszüntetésére. Ennek bevezetésekor az orvostan hallgatókkal többször vitába keveredik, mégis az eredmények egyértelműen mellette szóltak: sikerült drasztikusan, 18,3%-ról egy éven belül 1,3%-ra csökkentenie a gyermekági láz gyakoriságát klinikájukon.

Sikerei ellenére nem túrték meg tovább Bécsben, míg végül Budapesten sikerült elhelyezkednie. Osztályán drákói előírásokat vezet be: személyesen ellenőrzi a kézmosástól kezdve a kéz és a különböző felületek kefével való tisztítását, az ágyneműk gyakori mosatását. Mindezek eredményeként a gyermekági láz gyakoriságát ott is 1-2%-ra sikerült levinnie. Személyiségét jellemzi, hogy eredményeit számos híres

európai orvosnak levélben megküldve dicsekedte el magabiztos hangnemben, amivel természetesen ismét nem aratott túl nagy sikert.

Semmelweis munkája során egyre agresszívabbá, gyakran tettelegessé vált, ami arra utal, hogy valószínűleg szifilisz fertőzést kapott, melynek kései fázisában ez tipikus tünet. (Ne felejtsük el, hogy abban az időben igen gyakori volt, hogy az utcalányok a kórházakban hozták világra gyermeküket, ahonnan árvaházba adták azokat). A dührohamok végső következményeként Semmelweis-t Bécsben zárt osztályon helyezték el, ahol rövid időn belül meghalt, mégpedig azon *Streptococcus* baktérium okozta fertőzésben, mely ellen oly ádáz csatát vívott életében.

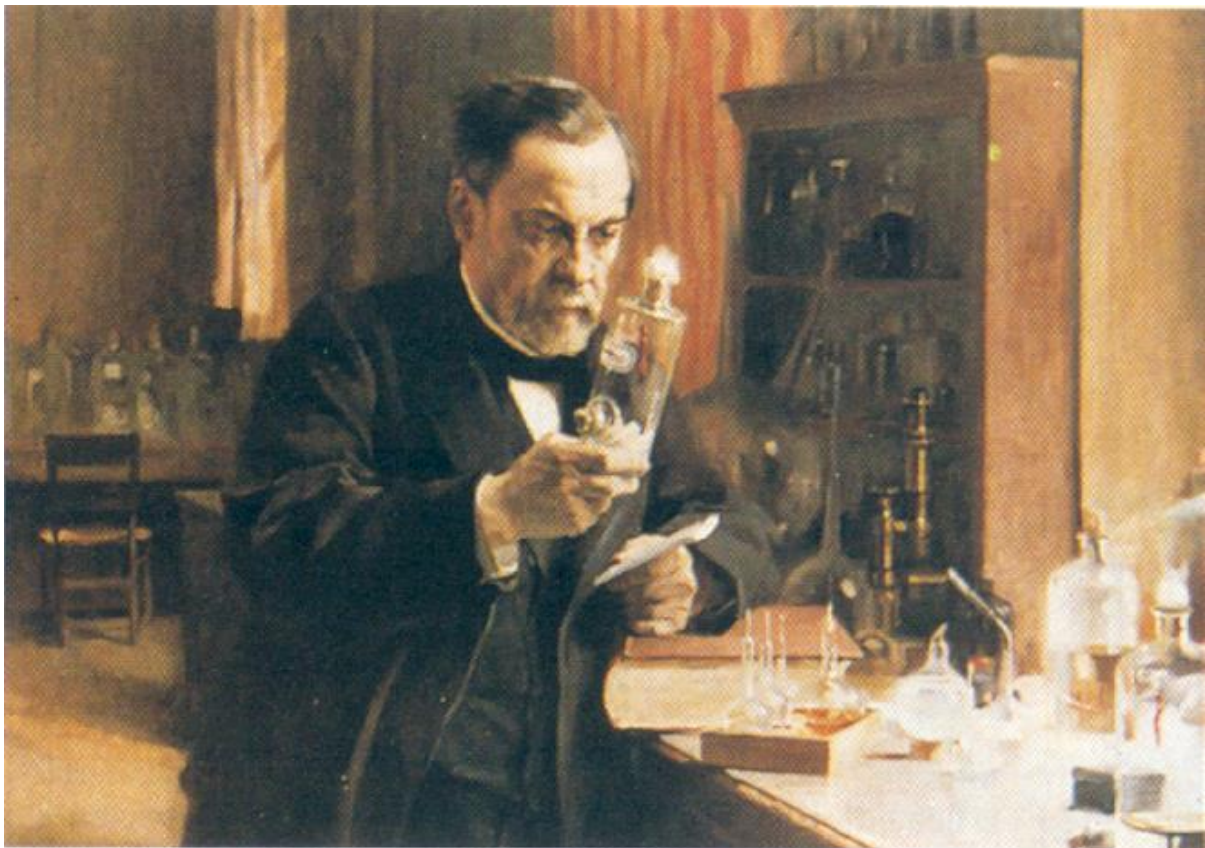
Röviddel Semmelweis halála után, 1867-ben Joseph **Lister** (1827-1912) angol orvos felhasználva elődje teóriáját kifejlesztette az **antiszepszis** fogalmát a gyógyászatban. Sebészként Lister tisztában volt a sebek elfertőződéséből származó szörnyű következményekkel. Ezért a sebeket spray-vel kezdte kezelni, sebészi bemetszéseket végzett el és karbolsavval (phenol) fedte le azokat. A karbolsavat azért választotta, mert az korábban alkalmasnak bizonyult a szennyvizekben lejátszódó lebomlás szagának csökkentésében. Semmelweishez hasonlóan kezdetben ő is ellenállásba ütközött kollégáinál, de miután neki is sikerült mintegy 2/3-dal csökkentenie a halálozásokat páciensei között, módszerét elfogadták és általánosan alkalmazni kezdték.

Egy másik angol orvos, John **Snow** (1813-1858) szintén fontos szerepet játszott a közegészségügy fejlődésében. 1854-ben a londoni kolerajárvány idején feltérképezte az esetek előfordulását a városban, amiből rájött, hogy a megbetegedések egyetlen közkút köré csoportosulnak. Miután javaslatára a kutat lezárták, a járvány lecsengett. Jóllehet Snow még nem ismerte a kolera kórokozóját, mégis rámutatott a tiszta ivóvízellátás és a megfelelő szennyvízkezelés

szükségességére. Az ő munkája alapozta meg az **epidemiológiát**, vagyis a járványtant.

A mikrobiológia egyik kiemelkedő alakja volt **Louis Pasteur** (1822-1895), aki zseniális tudósként függetleníteni tudta gondolkodását kora tévhiedelmeitől és így a mikrobiológia számos nagy jelentőségű felfedezését köszönhetjük neki.

Munkájában rendkívül elszánt és kitartó volt, ez érvényesült akkor is, amikor a spontán teremtést próbálta cáfolni. Spallanzanihoz hasonlóan elég hosszú ideig forralta



főzeteit ahhoz, hogy minden életet elöljön bennük. Ő viszont nem zárta le légmentesen az edényeit, hanem S alakúra hajlítva azok nyakát szabad utat hagyott a levegőnek a bejutáshoz, ezáltal mindössze az ülepedő port elzárva a főzettől. 1861-ben közölte eredményeit, melyek szerint a „hattyúnyak” alakú lombikjaiban még 18 hónap eltelte után sem keletkezett zavarosság. Mivel a főzetben pedig minden tápanyag

rendelkezésre állt, amire élő mikrobáknak szüksége lehetne, végleg levonta a következtetést, mely szerint nincs spontán teremtés. A kísérlet folytatásaként, annak bizonyítására, hogy Needham kísérletében a levegőből származtak a mikrobák, Pasteur ezután letörte a hattyúnyakat lombikjáról, mire a leülepedő por hatására már másnap megindult a főzet zavarosodása.

Pasteur munkássága nagyban hozzájárult ahhoz, hogy a kor tudósai kidolgozzák a tudományos kutatásnak egy általános érvényű metodikáját, mely során a felvetődő kérdéseket alapos megfigyelések segítségével, gondosan ellenőrzött kísérletek alapján válaszolják meg. Ez a metodika ma is érvényes a kutatásban, pontjai a következők:

- Megfigyelések alapján a kutató(k) feltesz(nek) egy kérdést egy jelenségről;
- A tudós(ok) megfogalmaz(nak) egy hipotézist, ami a kérdés egy lehetséges megválaszolása;
- A tudós(ok) megtervez(nek) és végrehajt(anak) egy kísérletet a hipotézis ellenőrzésére;
- A kísérletben megfigyelt eredményekre alapozva a tudós(ok) vagy elfogadjá(k), vagy elveti(k), vagy módosítjá(k) a hipotézist.

A kísérletekben mindig szükség van kontrollra, melyben a kísérlet tárgyát a vizsgált egyetlen változón kívül minden körülmény tekintetében ugyanúgy kezelnek, mint a több esetet.

Pasteur munkássága ennél a kísérletnél persze sokkal kiterjedtebb volt. Kémikusként megbízást kapott, hogy *borok romlását vizsgálja*. Mikroszkópos megfigyeléseivel fényt derített arra, hogy a fermentáló kádakban a borok alkoholtartalmának képződése nem pusztán kémiai lebomlásra vezethető vissza, hanem mikroszervezetek idézik elő, mégpedig a mustban mindig jelenlévő cukor alkohollá és széndioxiddá

alakításával. A borok romlását vizsgálva azt is megállapította, hogy az akkor következik be, ha a cukortartalom nem alkohollá, hanem tejsavvá alakul. Mikroszkópos megfigyeléseiben elkülönítette a hasznos fermentációt okozó, nagyobb méretű élesztő sejteket, valamint a romlást okozó, kisebb méretű, gömb és pálcika alakú baktériumokat.

További kísérleteiben olyan jelenségeket bizonyított, mint az élesztők fakultatív anaerobiáját, anaerob baktériumok savas fermentációját, kifejlesztette az élelmiszerek tartósításának egy máig is általánosan alkalmazott módját, a róla elnevezett pasztórizációt. Lényegében ő indította el az ipari mikrobiológiát, melyben mikrobákat valamilyen termék ipari, nagy mennyiségű előállítására hasznosítunk. Pasteurt munkássága alapján a „mikrobiológia atyjaként” tartják számon.

Pasteur kortársa és nagy konkurens volt **Robert Koch** (1853-1910), akinek munkássága hasonló jelentőségű volt. Ő az etiológia (a betegségek eredete kutatásának) legnagyobb szakértője volt korában.



Német alaposságának köszönhetően eredményei vetekedtek Pasteuréval, de talán az ő elismertsége valamivel csekélyebb volt korában. Mindenesetre Pasteurt sikerült megelőznie abban a versenyben, melyben mindketten az anthrax betegségének kórokozóját keresték. A *Bacillus anthracis* nevű baktérium elsősorban a szarvasmarhák betegsége, mely az állatok bőrén eredményez elváltozásokat, jelentős gazdasági kárt okozva, valamint az emberre is áttejedhet. Beteg állatok vérének vizsgálva minden esetben ki tudta mutatni egy pálcika alakú, láncokba rendeződött baktérium jelenlétét. Megfigyelte a baktérium sejteken belül az endospórák (kitartó képletek)

képződését is. Kimutatta azt is, hogy ezeket a spórákat egerekbe beoltva minden esetben kifejlődött az anthrax, ezzel első alkalommal ténylegesen bizonyítva egy betegségről, hogy baktérium okozta. Munkája sikerének köszönhetően Berlinbe költözött ahol további anyagi segítséget kapott.

Koch emellett a ma is használatos bakterológiai metodikák kidolgozásával megnyitotta az utat a tudományos kutatás előtt:

- Bevezette a szilárd táptalajok használatát és ezzel lehetővé tette az egyes baktériumtörzsek tiszta tenyészetének előállítását;
- Tökéletesítette a mikroszkópos vizsgálat módszereit, amit a Carl Zeiss által, Abbe közreműködésével gyártott mikroszkóp tett lehetővé;
- Meghonosította a festési eljárások alkalmazását, megvetve ezzel a morfológiai vizsgálatok alapját;
- Gőzt használt sterilizálásra;
- Elkészítette az első mikroszkópos felvételt baktériumokról;
- Aszeptikus laboratóriumi technikákat alkalmazott, mint például baktériumok tápközegek közötti átvitelére platina drótot használt, melyet lángban sterilizált;
- Felfedezte a gümőkór és a kolera baktériumát, valamint több más fertőző betegség kóroktanát is tisztázták segítségével;
- Koch-féle posztulátumokként váltak közzismertté azok a szabályok, amelyeknek alapján valamely baktérium kórokozó mivolta bizonyítható. A történeti hűség kedvéért meg kell jegyezni, hogy ezeket a tételeket Henle dolgozta ki először, Koch ezeket magáévá tette és nagy tekintélyével elősegítette elismerésüket.

A Koch-féle posztulátumok a következők.



1.) A feltételezett mikrobát minden egyes esetben ki kell tudni mutatni a betegséget hordozó élőlényből és az nem lehet jelen az egészséges egyedekben.

2.) A mikrobát izolálni kell és tiszta tenyészetben kell tudni fenntartani.

3.) A tiszta tenyészetből származó mikrobával beoltott, egészséges állatokon ki kell fejlődni az eredeti betegségnek, és a tüneteknek klinikai formát kell mutatniuk.

4.) Az így kezelt állatokból a visszaizolálás után az eredeti kórokozót kell kapni.

Koch posztulátumainak első pontja megköveteli, hogy a feltételezett kórokozót minden esetben ki kell tudni mutatni a beteg szövetben vagy az arról készített tenyészetben. Ennek elérése érdekében meg is adott ugyan egy egyszerű festési technikát, de egy dán tudós, Christian Gram (1853-1938) egy ennél a módszernél sokkal fontosabb festési eljárást dolgozott ki. Ezt ma Gram-festés néven ismerünk, s általa a baktériumokat két fő rendszertani csoportra oszthatjuk fel. A festési eljárás végén lilás elszíneződést mutató baktériumok a Gram-pozitívak, a csak halvány rózsaszínű baktériumok pedig a Gram-negatívak. A Gram-festés máig is a legszélesebb körben alkalmazott festési eljárás a baktériumok beazonosításában.

Gram felfedezése, mely szerint a baktériumokat megkülönböztethetünk kétféle festődésük alapján, arra ihlette a német mikrobiológus **Paul Ehrlichet** (1854-1915), hogy megpróbálja mikroorganizmusokat szelektíven elpusztítani különböző vegyszerek segítségével úgy, hogy közben az embert ne károsítsa. Kiterjedt kísérleteivel 1908-ban felfedezett egy a trypanoszmákat (álomkórt okozó ostoros egysejtű) pusztító szert, valamint kifejlesztette a *Treponema palladium*, a szifilisz

kórokozójának ellenszerét. Ezzel megteremtette egy új gyógyítási módszer, a **kemoterápia** alapjait.

## A mikroszervezetek izolálásának és tenyésztésének módszerei, eszközei

### 1. A mikroorganizmusok tenyésztése:

Miért tenyésztjük őket? A mikrobiológiában csak az írható le, amit tenyésztetbe vontunk.

Hogyan tenyésztjük őket? Különböző táptalajokon.

Tenyészet fogalma: meghatározott környezeti körülmények között, megfelelő tápanyagok(on)ban, valamilyen zárt rendszerben élő és szaporodó mikroorganizmusok összessége.

Táptalaj: A mikroorganizmusok tenyésztése és legtöbbször vizsgálatuk is táptalajokon történik. Ezek a táptalajok felvehető állapotban tartalmazzák azokat a tápanyagokat, amelyekre a mikrobáknak szükségük van, ill. biztosítják az azok élettevékenységeihez szükséges fizikai és kémiai paramétereket is.

A táptalajok a különböző komponenseket szigorúan meghatározott koncentrációban tartalmazzák, a mikroorganizmusok igen változatos tápanyagigényének - az éppen vizsgált faj(ok)nak - megfelelően. Az egyes komponensek aránya akkor optimális, ha megegyezik a mikroorganizmus-sejtben található arányukkal.

A mikrobiológiai gyakorlatban alkalmazott táptalajokat többféle szempont szerint csoportosítják.

*Összetételük szerint* lehetnek természetes, félszintetikus vagy szintetikus táptalajok.

*Felhasználásukat illetően* vannak alap-, elektív, szelektív és differenciáló-diagnosztikai tápközegek.

*Halmazállapotuk szerint* pedig lehetnek szilárdak, folyékonyak és ezek kombinációja.

*Összetételük szerint:*

- A természetes táptalajok állati vagy növényi eredetű termékekből tevődnek össze, amelyeket főzetek vagy kivonatok formájában alkalmaznak. Pontos kémiai összetételüket nem ismerjük, ilyenek pl. a kenyér, tej, burgonya, stb.
- A félszintetikus táptalajok egy vagy két természetes komponens mellett (melyek pontos összetételét szintén nem ismerjük), mesterséges összetevőket is tartalmaznak.
- A szintetikus táptalajok minden összetevőjét mennyiségileg és minőségileg ismerjük. Ilyeneket használ fel az analitikus mikrobiológia, ld. majd pl. a kórházban is.

*Halmazállapot (konzisztencia) szerint:*

- A folyékony táptalajok a tápanyagokat szuszpenzióban, valódi vagy kolloid oldatban tartalmazzák. Nem tartalmaznak szilárdító ágenst.
- A félszilárd táptalajokban már van valamilyen szilárdító anyag (a gélerősséget nehéz definiálni).
- A szilárd táptalajokon oltókaccsal végezhető szélesztés!!!

Anyaguk szerint tápanyagtartalmú géllemezek és természetes szilárd anyagok. Készülhetnek folyékony táptalajokból is, szilárdító anyagok hozzáadásával.

A szilárd táptalajok jelentősége a mikrobiológiában óriási. Rajtuk a mikrobák elszaporodva telepeket alkotnak, egy helyben maradva. Ez elősegíti tiszta tenyészetek gyors és egyszerű készítését, mikroorganizmusok közvetett számlálását, a fajok meghatározását.

A folyékony vagy szilárd közeg kiválasztása a tenyésztendő mikroorganizmusok igényeinek megfelelően történjen, más lehet ugyanis az eredmény eltérő konzisztenciánál (pl. litotrófok nem tolerálják a szilárd táptalajban oldott szénhidrátokat, azok gátolják növekedésüket, ilyenkor helyette szilikagél kell alkalmazni, teljesen ásványi közeget).

A táptalajok szilárdítására a mikrobiológiai gyakorlatban számos anyag ismert:

- A zselatint Robert Koch vezette be a mikrobiológiai gyakorlatba. A zselatin egy kollagén fehérje. Mint szilárdító anyag hátránya alacsony olvadáspontja (35 °C) és az, hogy számos mikroorganizmus bontani képes anyagát.
- A burgonyából hengert vághatunk ki, róla szikével kitűnő metszet szedhető le. Köréje tápoldatot önthetünk.
- Az agar gélképző poliszacharid, amelyet egyes tengeri algák vázanyagából (vörösmoszatokból) vonnak ki forró vízzel. Az agar két poliszacharid keveréke, 70%-ban agarózból, 30%-ban agaropektinből tevődik össze. Különböző mértékig tisztítják, így galaktóztartalma néha igen magas. Az agar gélképzésre használt átlagos alkalmazási koncentrációja 2% körüli, az agar összetételétől függően. Az agar nagy előnye, hogy 38 °C-on dermed, ezért szobahőmérsékleten szilárd. Olvadáspontja azonban a víz forráspontjához közel, 98 °C

körül van. Ezért az olvasztott és lehűtött, még folyékony agarban mikroorganizmus-szuszpenziók készíthetők lemezöntéses szélesztés céljára, a már megdermedt táptalaj azonban magasabb hőmérsékleten is inkubálható, mert olvadáspontja dermedéspontjánál sokkal magasabb. Ezért elsőrendű minőségi követelmény az agarral szemben, hogy a megfelelő szilárdságú gélt adó koncentrációt tartalmazó, olvasztott táptalaj 40-45 °C-on még hígán folyó legyen.

- Gelrite: Mostanában terjedt el, annyiban különbözik az agartól, hogy nincs galaktóztartalma. Az agarhoz hasonlóan mindössze néhány mikroorganizmus bontja, mert ez is tengeri algákból nyert anyag.
- Szilikagél: Vinogradszkij vezette be, lényegében kovasavgél, tehát inorganikus anyag. Ennek megfelelően szintetikus táptalaj készíthető belőle. Hátránya, hogy elkészítése nagyon nehéz (Vízüveget kell kénsavval keverni, kiönteni, majd dermedés után ki kell mosni a savat belőle. Ez utóbbi lépés kritikus, mert ekkor könnyen elszennyezhető. Utána tápoldatot adunk hozzá). Ma már készen kapható.
- Alginát: Szintén tengeri algákból nyerik ki. Felhasználása ritkább, inkább az élelmiszeriparban kerül sor rá.
- Keményítő: keményítőlemezekként alkalmazható.
- Gipsz.

#### *Felhasználás célja szerint:*

- Az alaptáptalajok összetételüket tekintve általánosan felhasználhatók. Tartalmazzák mindazokat az anyagokat, amelyek lehetővé teszik, hogy a legtöbb mikroorganizmus jól növekedjen rajtuk.

- Az elektív táptalajok olyan táptalajok, amelyeken összetételüknél fogva bizonyos mikroorganizmus-csoportok jobban fejlődnek, ezért azok ki/elválasztására alkalmasak. Az elektív táptalajok kiválóan alkalmasak ezeknek a mikroorganizmusoknak az izolálás előtti dúsítására is. Ilyenek pl. a kólicsoport elkülönítésére (ld. ivóvíz!) szolgáló laktóztartalmú táptalajok vagy az önálló (nem szimbionta) nitrogénkötők számára a különböző, nitrogént nem tartalmazó cukor-foszfátlevesek. Elvileg ide sorolhatók az ún. csalétekmódszer kivitelezése során felhasznált anyagokat is (pl. kitin, keratin, cellulóz).
- A szelektív táptalajok olyan táptalajok, amelyek egyes mikroorganizmusok vagy mikroorganizmus-csoportok növekedését másokéhoz viszonyítva lassítják vagy azt teljesen megakadályozzák. (ezeket gátló vagy a többi növekedését serkentő anyagok lehetnek, pl. festékek, antibiotikumok).
- A differenciáló táptalajok összetételüknél fogva alkalmasak az egyes mikroorganizmusok differenciálására és azonosítására azáltal, hogy komponenseik szabad szemmel is látható reakciót adnak a rajtuk növekvő mikroorganizmusok egyes anyagcseretermékeivel. Általában alaptáptalajok, amelyekhez adalékanyagokat, speciális komponenseket és indikátorokat adagolnak. Ilyen például az *Escherichia coli* baktériumra, UV-fényben fluoreszcenciát mutató tápközeg, mert az *E. coli* spec. anyagcsereterméke bontja a tápközeg megfelelő anyagát, s a bomlási termék fluoreszkálni fog.
- A reszuszcitáló tápközegek olyan összetételűek, hogy a valamely tekintetben sérült mikrobák növekedését, szaporodását segítik elő. Ilyeneket alkalmaznak az

élelmiszeriparban a tartósítás hatékonyságának ellenőrzésekor is.

- Dúsító tápközegről beszélünk, ha alacsony csíraszámú közegből leoltott mikrobák felszaporítására alkalmas különleges táptalajt alkalmazunk.

*Tenyészedény szerint:*

- - kémcsőtenyészetek:
  - o a) ferde táptalajok
  - o b) mély táptalajokAlkalmazhatóak vattadugóval, gumidugóval, üvegkupakkal, alufóliával lezárva. A kémcső mérete általában 160/16 mm. A ferde táptalajokhoz min. 5 ml, optimálisan 7-8 ml tápközeg szükséges. Mély táptalajoknál 10 ml mennyiséget kell felhasználni (4-5 cm magasság).
- Petri csészében: A Petri csésze (1887) anyaga lehet hőálló üveg ill. műanyag. Előbbi mérete 110/15 mm, utóbbié 100/12 mm. Ezen méretek ismeretére mindig szükség van a tápközeg kellő mennyiségének meghatározásához. Táptalajok készítésekor ugyanis ügyelni kell arra, hogy min. 3 mm-es rétegvastagságot elérjünk. Ennek megfelelően üveg Petri csészénél 20 ml, műanyagnál 15-16 ml táptalaj kerül minimálisan felhasználásra.
- egyéb tenyészedények:a) Erlenmeyer-lombikok (folyékony tápközegekhez),
- Roux-Kolle palackok (pálinkás laposüveg-tok szerű),
- táptalaj/tápleves palackok (100 ml – 2 liter), a teljes V-nak max. 2/3-át, inkább felét töltjük csak fel,
- rázott aerob tenyészetekhez bordázott falú edények, stb.



- Inkubálásra szolgáló termosztátok: Olyan tároló szekrények, amelyekben a hőmérséklet bizonyos határokon belül ( $\pm 1-2^\circ\text{C}$ -on) állandó szinten tarthatók, megfelelő körülményeket teremtve a mikroorganizmus-tenyészetek inkubálásához (kitenyésztéséhez). A bakterológiai termosztát kettős falú, vörösréz lemezből készült szekrény, melyben a két fal közötti teret desztillált víz tölti ki. A vízköpeny teljesen körülveszi a belső tárolóteret, benne a víz elektromosan fűthető. A belső hőmérséklet egy a falán átnyúló hőmérőn ellenőrizhető.

*Tenyészfeltételek szerint:*

- Aerob: az eddig felsorolt módszerek mind az aerob tenyészetekre voltak jellemzőek.
- Anaerob: speciális edényzetet igényel.
- anaerob Petri-csésze (Brewer-féle csésze)
- csavart kupakú v. Bijou-edények
- Hungate-módszer (v. Roll-tube technika)
- Pre Reduced Anaerobically Sterilized (PRAS) táptalaj. Ennél pl. ciszteint, aszkorbinsavat mint redukálószerként adunk a táptalajhoz, autoklávba tesszük, majd  $\text{O}_2$ -mentes gázzal levegőztetjük be (pl.  $\text{CO}_2$ -vel, ez a lehető legnagyobb fajsúlyú).

Táptalajok szerkesztésének alapelvei:

A mikroorganizmusok növekedéséhez biztosítani kell a következő összetevőket:

1.  $e^-$ -donor v. akceptor
2. tápelemek (C, O, H, N, S, P, makro-, mikro-, nyomelemek)
3. pufferolás (pH-szabályozás)
4. szilárdítás
5. speciális igények

1/a)  $e^-$ -donor ok: Attól függően, hogy a mikroorg. organotróf vagy litotróf, szerves ill. szervetlen anyag lehet ez. Szerves  $e^-$ -donor esetében érdemes összekötni a C-forrást és az  $e^-$ -donort. Ilyen szerves anyagok lehetnek:

- fehérjék/aminosavak (pl. zselatin, kazein)
- peptonok: állati v. növényi fehérjék különböző fizikai, kémiai, biológiai emésztésével előállított fehérjetörmelékek. Legtöbbször húspeptonokat alkalmaznak, főleg sertésből, baromfiból, a szarvasmarhát viszont kerülik, a prion átvitelétől való félelemben. Hasonlóan elterjedtek a kazein alapú triptonok, melyeket olcsóságuk tünteti ki.

Ezen peptonok minőségének jellemzésére megadnak több jellemzőt, így pl. az aminosav molekula-méretfrakciók arányait, aminosav csillagdiagramokat, a szabad aminosavak arányát, stb.

Alkalmaznak növényi eredetű peptonokat is, ezek főleg szójából készülnek.

- poliszacharidok/cukrok
- szerves savak.

Szervetlen  $e^-$ -donorok: lehetnek  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{S}_2^-$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3$ . Fontos végiggondolni azt, hogy ionokat mindig csak ellentétes töltésű párral lehet a táptalajhoz adagolni.

Megfelelően kell a koncentrációkat is megválasztani. Rutinszerűen g/l mértékegységgel dolgozunk, s általában 2-10 g/l-nyi mennyiséget adagolunk. Az inorganikus e<sup>-</sup>-donorokok egy része túlzott koncentrációban maga is sejtméreg!

1/b) e<sup>-</sup>-akceptorok: Legáltalánosabb esetben a levegő oxigénje (O<sub>2</sub>) az e<sup>-</sup>-akceptor. Sokszor a vattadugón keresztüli diffúzióra bízzák pótlását, ám ez több esetben lehet nem kielégítő. Újabban gyakran alkalmaznak légáteresztő, sterilizálható polipropilén szivacsot az edény/kémcső nyakát lezáró kupakban, mint steril szűrőt. A klasszikus dugók azonban ma is papírvattából v. gyapotvattából készülnek, természetes alapanyagúak, amit a műszál nem tud helyettesíteni, mert utóbbi az autoklávozásnál összeesne.

Amennyiben nem a levegő oxigénje az e<sup>-</sup>-akceptor, úgy azt ki kell zárni a közegből!!! Ilyenkor NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub><sup>+</sup> lehet az e<sup>-</sup>-akceptor, melyet oldható formában kell a közeghez adni. Ez gyakran komoly problémát jelent, így pl. a Fe<sub>3</sub><sup>+</sup> sokféle anyaggal képez erős komplexet.

2.) tápelemek:

- C: vagy szerves anyagként (ld. előbb), vagy CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub><sup>-</sup> –ként, vagy egyszerűen CO<sub>2</sub>-bugyborékolatással adhatjuk a tápközeghez.
- O és H: (alkotóelemek) Sokszor vizes oldatban egyszerűen mint víz közvetíthetők. A víz egyetemes oldószer és az élő szervezet komponense. A mikroorganizmusok számára egyúttal környezeti feltétel is. Ügyelnünk kell arra, hogy a vízben oldott anyagok csökkentik a rendelkezésre álló szabad vizet (ozmózis). Ezt hasznosítják a korábban már említett

tartósítási eljárásnál az élelmiszeriparban, a sózásnál. Hasonlóan ha pl. kis szervesanyagtartalmú tavakból (ld. Finnország) vizsgálunk mintákat, akkor az ott uralkodó magas szabad-víz értékeket kell beállítanunk.

- N: Ha nem adagoltunk  $e^-$ -donorként vagy  $e^-$ -akceptorként megfelelő mennyiségű nitrogént, akkor ezt pótolhatjuk szerves és szervetlen formáival is, oxidált vagy redukált állapotban.
- S: ld. nitrogénnél elmondottak.
- P: Ezt a tápelemet nehezebb bevinni, mert erős csapadékképző. Adagolhatjuk  $PO_4^-$ -ként, szervetlen v. szerves formában.

3) pufferolás: Rutinszerűen a mikroorganizmusok tenyésztéséhez  $pH=7,4\pm 0,2$  értéket optimális beállítani. Az agar pH-ja gyakran 6 körüli értékű. Lugosításra általában  $Na_2CO_3$  -ot használnak. Savanyításhoz almasav, citromsav alkalmas (utóbbiak előnye, hogy portáptalajok készítésénél is alkalmazhatjuk őket!). Jó puffertulajdonságúak a foszfátpufferek,  $\sim 0,5$  M-os koncentrációban.

4) szilárdító ágensek: (ld. előadás elejét).

5) speciális igények: A táptalajokban a tenyésztett mikroorganizmusoktól függően szükség lehet olyan összetevőkre, melyek más esetben nem képezik a szaporodás alapvető feltételét, mert pl. más mikrobák ezen speciális anyagokat képesek maguk előállítani. Ilyenek pl.:

- A vitaminok. Egyes anyagcsere-folyamatok, elsősorban az enzimtevékenység zavartalan végbemeneteléhez szükséges anyagok, amelyeket egyes mikroorganizmusok maguk szintetizálni nem képesek.

- A prekursorok. Egyes anyagcsere-folyamatok olyan kiinduló vagy köztes anyagai, amelyeket a mikroorganizmus maga szintetizálni nem képes. Elsősorban a genetikai anyagok felépítéséhez szükségesek.

-Szerves és szervesetlen hidrogénakceptorok. A terminális oxidáció végső hidrogén- (elektron-) akceptorai. Az energiefelszabadító redoxi-folyamatok számára olyankor szükséges a megfelelő hidrogénakceptort a táptalajhoz adagolni, ha a táptalajban jelenlevő többi komponens közül egyik sem képes ezt a funkciót ellátni. (Petri-csészében jelen lévő levegő is ide tartozhat).

Tenyészfeltételek:

- *Anaerob*: az a szervezet, amely nem tolerálja az O<sub>2</sub>-jelenlétét
- *Aerob*: az a szervezet, amely tolerálja az O<sub>2</sub>-jelenlétét
- obligát aerob:
  - o O<sub>2</sub> a terminális elektronakceptor
  - o a szabad O·gyökök ellen van védekező rendszerük (kataláz, szuperoxid-dizmutáz) (*Micrococcus luteus*, van aerob légzési lánc, de nem tud az oxigénen kívül más elektronakceptort elfogadni, sem fermentálni.)
- *obligát anaerob*:
  - o O<sub>2</sub> -t nem használ anyagcseréjéhez
  - o a szabad O·gyökök ellen nincs védekező rendszerük (*Desulfovibrio desulfuricans*, obligát S-légző, nem tolerálja az oxigén jelenlétét).
- *fakultatív anaerob*:
  - o aerob körülmények között érzi jól magát, de nem feltétlenül az O<sub>2</sub> a terminális elektronakceptor

(*Escherichia coli*, aerobon O<sub>2</sub>-vel lélegez, de tud nitrátlégzést, fermentálást is. A szabad O gyökök ellen katalázt és szuperoxid-dizmutázt is termel).

- *fakultatív aerob*:

- anaerob körülmények között élnek, de van az O<sub>2</sub> ellen védelmi rendszerük (*Streptococcus sp.*, obligát fermentáló, nincs külső elektronakceptor!, de van O<sub>2</sub> védelmi rendszerük).

Fentieknek megfelelően a gyakorlatban 3 csoporttal találkozunk a mikroorganizmusok tenyésztésekor:

- 1.) normál légköri O<sub>2</sub> koncentráció mellett élők: Ezek tenyésztésekor szükség is lehet az O<sub>2</sub> utánpótlására.
- 2.) kapnikus mikroorganizmusok: akkor tolerálják az O<sub>2</sub>-t, ha mellette a CO<sub>2</sub>-koncentrációja megfelelően magas (mikroaerofilek).
- 3.) anaerobok: nem tolerálják az O<sub>2</sub>-t, annak cc.-ja 4 ppb alatt kell, hogy legyen. Ezt az extrém alacsony értéket csak Pd-katalizátorokkal tudjuk elérni.

Termelődhetnek a tenyésztéskor egyéb anyagcseretermékek is (pl. SH<sub>2</sub>), amelyeket pl. aktív szénnel kell/lehet elnyeletni, vagy feldúsulhatnak fermentációs végtermékek is a zárt légtérben, melyeket szintén le kell kötni.

## Mikroorganizmusok izolálása

A mikroorganizmusok tenyésztésének útja az izolátumok készítése. Ennek célja a baktériumok (általában ezekkel dolgozunk...) elkülönítése, egyes tenyészetekből tiszta, más mikroorganizmusoktól nem fertőzött mikrobatömeg létrehozása. Az izolátum nem kötelezően egységes génállományú mikrobák összessége, így pl. egy obligát parazita szervezet csak a gazdaszervezetével együtt tartható fenn.

Tiszta tenyészetek készítéséhez a mikrobiológiai gyakorlatban az egyik elterjedt módszer a lemezöntés, melynek kidolgozása KOCH nevéhez fűződik.

A lemezöntés lényege az, hogy a dúsított tenyészetből, ill. abból a szubsztrátumból, amelyből a mikroszervezetet ki akarjuk tenyészteni (pl. talaj, trágya), higítási sort készítünk. Pl. 10 ml szubsztrátumot pontos mennyiségű, steril vízzel feloldjuk. Ezután steril pipettával 1 ml-t átviszünk egy másik kémcsőbe, majd 9 ml steril vizet adunk hozzá. Ezt homogenizáljuk, majd ismét 1 ml-t kipipettázunk, tovább visszük, stb.

Az egyes higítási fokozatokból azonos mennyiségeket steril Petri-csészékbe visszük át, melyek folyékony agaros táptalajt tartalmazzanak, összekeverve őket. Az agaroldatot hagyjuk lemezzé szilárdulni, majd a kitenyésztés céljától függően inkubáljuk őket.

A baktériumok túlnyomó része 2-3 nap alatt kifejlődik, a gombák valamivel lassabban, kb. 4-5 nap alatt, a sugárgombák pedig kb. egy hét után fejlődnek ki. (Túl későn már megint nem lehet ezeket vizsgálni, akkor már nem elkülöníthetők az egyes telepek!!!)

Az inkubáció befejezése után kiválaszthatók azok a csészék, amelyeken a telepek egymástól megfelelő távolságra fejlődtek ki, róluk a kitenyésztendő mikroszervezetek steril táptalajra átolthatók, így az egyes

fajok elválaszthatók, belőlük sokszor már az első lépésben tiszta tenyészetek készíthetők.

A szélesztéses módszer olyan mikroorganizmusok tisztítására terjedt el, amelyek telepei között szabad szemmel is megfigyelhetők bizonyos különbségek. Így kiterjedten alkalmazzák a módszert penészgombák és aktinomyceták dúsított kultúráinak a kísérőbaktériumoktól való megtisztítására.

A dúsított tenyészetből oltókaccsal kiveszünk egy részt (inokulum), majd egy Petri-csészében található szilárd táptalaj felületén zezugos csíkot húzunk. Mivel az inokulumban a tisztítandó mikroorganizmus sejtjei vannak túlsúlyban, feltételezhető, hogy a kísérő mikrobák sejtjei előbb elfognak a csíkozás során. Az utolsó csíkoknál már nem összefüggő, hanem különálló telepek formájában növekednek.

Egy másik szélesztési technika az, amikor a hígítási sorból különböző pontokon beoltjuk a Petri-csésze táptalaját, majd ezeket szélesztőbottal a felületen szétkenjük.

Ha izolátumunkat számmal látjuk el, folyamatosan fenntartjuk, s a vele végzett műveleteket nyilvántartjuk, akkor törzs rangra emeljük. A megfelelő angol kifejezés a strain, míg a tovább nem tenyészthető izolátumot, mely idővel el fog fogyni, az angol a stock kifejezéssel illeti.

Az izolátumok tisztaságát mindig ellenőrizni kell, erre rendszerint a szélesztést, újraizolálást alkalmazzuk.

Sokszor nem elegendőek a morfológiai különbségek ahhoz, hogy elkülönítést végezzünk, ilyenkor mikroszkópizálásra van szükség.



Fentiek alapján a mikrobiológiában a fajleírás alapját a következő feltételek képezik:

- tenyészteni tudjam a mikroorganizmust,
- tiszta tenyészetet tudjak előállítani,
- abban vizsgálni tudjam.

Lényegében tehát a mikrobiológiában a faj fogalom a törzs fogalmával egyezik meg.

A mikroorganizmusok átvitelére szolgáló eszközök

Kacsok:

- Az oltókacs: A mikrobiológiai gyakorlatban az átoltáshoz univerzálisan használt eszköz. Nem korrodáló fémdrótból (pl. platinából) készül, végén 2-3 mm átmérőjű hurokkal. A nyelét hőszigetelő anyagból készítik.
- A szélesztőbotot az ún. szélesztéshez használjuk. A fém- vagy üvegbot vége háromszög alakban hajlított, nagyobb felületen éri a táptalajt ezen műveletnél.
- Az oltótű végén nincs hurok, szilárd magas táptalajok beoltására szolgál.
- A mikrotiterkacs végén hurok helyett drótból csavart kis kosárka van, amely a menetek között meghatározott mennyiségű folyadékot vesz fel. Segítségével pontos hígítási sorok készíthetők.

Pipetták: ld. normál laborgyakorlaté, száj felőli végükbe vattacsomót helyezve gátolhatjuk meg az anyagok ember általi fertőzését.

A mikroorganizmusok mikroszkópos vizsgálatához való előkészítés módjai:

Finom részletek vizsgálata a fénymikroszkópban speciális mikrokémiai reakciók elvégzésével, megfelelő festékek alkalmazásával történik. Festés előtt a sejteket. A mikroorganizmusok sejt szerkezete elpusztulásuk után ugyanis gyorsan megváltozik, ezért a feladat az, hogy úgy öljük meg őket, hogy a sejtstruktúrában minél kevesebb változás történjen. A rögzítés egyúttal biztosítja a tárgylemezre való jobb tapadást.

A rögzítés módjai:

- hővel
- vegyszerrel.
- Függőcsepp-készítmény: Általában a mikroorganizmusok mozgásképeségének vizsgálatára használják, de kiválóan alkalmas a sejtek szaporodásának, spóráképzésének, a spórák kicsírázásának tanulmányozására, továbbá a sejtek bizonyos kémiai ágensekkel mutatott reakcióinak vizsgálatára.
- tárgylemeztenyészetek: A baktériumok osztódásának, valamint a mikrogombák és aktinomyeták konídiumképzésének tanulmányozására szolgálnak. Lényegében a fedőlemez alatt inkubálunk valamilyen táptalajon egy tenyészetet.

Festések:

- egyszerű festés
- Gram-festés: A módszer lényege, hogy a gentianaibolya (vagy kristályibolya) festék és a jód együttes hatására egyes baktériumfajok sejtjeiben jódpararosalin komplexum képződik, amely alkoholban vagy más szerves oldószerben (éter, aceton) nem oldódik. Ezeket a baktériumokat Gram-

pozitívoknak nevezik, azon kultúrákkal szemben, amelyeknek így kezelt sejtjei a szerves oldószerek hatására elszíntelenednek. Ezek Gram-negatív baktériumok, melyek utólagos festés hatására más színt vesznek fel.

A számos egyéb mintaelőkészítési módról a szakirodalom ad bővebb tájékoztatást.

## A vírusok

### **Történeti vonatkozások**

A vírusok az élővilág olyan parazitái, amelyek növényekben, emberekben, állatokban, rovarokban és különböző mikroorganizmusokban többnyire súlyos megbetegedéseket idéznek elő.

A vírus latin szó, magyarul mérget jelent. Először Pasteur, a XIX. század híres bakteriológusa alkalmazta ezt az elnevezést. Kutatásai során sikerült ugyan kidolgoznia a veszettség gyógy módját, vagyis a veszettség elleni védőoltást, magát a kórokozót azonban nem tudta kimutatni. A betegség előidézőjeként valamilyen mérget feltételezett.

A vírusbetegségek (himlő, veszettség, sárgaláz) már jóval Pasteur ideje előtt ismertek voltak. Az egyik ilyen, ősidőkből számontartott betegség a veszettség is. Erről a legrégebbi adat Hammurapi babiloni uralkodó törvénykönyvében (i.e. 1770) található. A kanyaró és a himlő aránylag jó leírása található a kínai Han-dinasztia (i.e. 206-220) korabeli írásaiban. A hunokat, gótokat, szarmatákat végigkísérte egy a szarvasmarhák nagymérvű elhullását okozó betegség, amelyet a leírások alapján ma a marhapestissel azonosítanak.

A kutatásuk és fertőzőképességük bizonyítása ezen korai ismeretek ellenére csak a XIX. század végén kezdődött el. Finlay 1881-ben igazolta a sárgaláz víruskórokozójának átvitelét egy csípőszúnyog faj által (első emberi vírus-kimutatás). Mayer 1886-ban a dohány mozaik betegséget okozó vírus átvitelét fertőző dohány (baktériumszűrt) szövetnedvével bizonyította (első növényi vírus). 1898-ban Löffler és Frosch pedig felismerte a szarvasmarhák száj- és körömfájását okozó vírust (első állati

vírus). 1917-ben a baktériumok vírusait (bakteriofágokat), az 1940-es évek elején a rovarok, az 50-es években a penészgombák (mikrofungusok), a 60-as években a kékmoszatok (cianobaktériumok), a 70-es években pedig a mikoplazmák vírusait ismerték fel. A molekuláris biológia, mint önálló tudomány megszületése jórészt ezen alapokon megindult víruskeresztezések eredménye.

Jelenlegi ismereteink szerint vírusok a Földön mindenütt előfordulnak. Csupán Európában mintegy ezer növényi vírusbetegség ismert. Az ember- és állatpatogén influenzavírusok 8-10 évenként igen jelentős epidémiákat okoznak.

A vírusok felépítésük, szerkezetük, szaporodásmódjuk stb. alapján olyannyira eltérnek a többi mikrobától, hogy őket különálló csoportként kell tárgyalni. Annak ellenére azonban, hogy minden egyes vírus egyed kifejezetten rendelkezik olyan tulajdonságokkal, amelyek alapján a egyértelműen megkülönböztethető más mikroszervezetektől, bizonyos, pl. ökológia, epidemológiai, stb. szempontokból ugyanazzal a szemlélettel kell őket vizsgálnunk, mint a baktériumokat, gombákat vagy egyéb mikrobákat, hiszen pl. variáció, szelekció szempontjából hasonló általános törvényszerűségeknek engedelmeskednek, mint a többi paraziták.

Még nem egyértelműen megválaszolható az a kérdés sem, hogy **a vírusok élők vagy élettelenek**. Élettelen anyagokra emlékeztető tulajdonságuk pl. a szimmetrikus, kristályszerű felépítésük. Növelte ezen kétségeket az is, amikor kimutatták, hogy vírsufehérje nélküli tisztított nukleinsav is lehet fertőző és hatására a gazdasejtben komplett vírus fejlődik ki.

A legújabb definíció szerint: fertőző nukleoproteidek, melyek fertőző genetikai információt hordoznak magukban.

A vírus **fajok számát** nehéz pontosan felbecsülni, mert folyamatosan újakat fedeznek fel, ill. sokukról kiderült, hogy mégsem azok, ill. sok fajt a közeli rokoni kapcsolatok alapján nem indokolt elkülöníteni. A jelenleg ismert fajok száma kb. 7500.

### **A vírusok morfológiája**

A vírusok **mérete** - néhány hosszabb növényi vírustól eltekintve - 10-300 nm közötti, míg a nem valódi vírusoké (*Rickettsia*) általában 300-500 nm (nm = nanométer =  $10^{-9}$  m). A nagy vírusokra jellemző, hogy rájuk az összes antibakteriális kemoterapikum, az antibiotikumok és a szulfamidok is hatással vannak.

A vírusok **alakja** lehet gömb (ez a leggyakoribb), ovális, pálcika és fonalas. A forma kialakításáért a fehérjeburok felelős, mely gyakran lehet kettős is (poxvírusok), ill. belőle gyakran szabályos elrendeződésben kitüremkedések, ún. tüskék nyúlnak ki.

A farkos bakteriofágokra az összetett szimmetria a jellemző, azaz helikális a (farokrész) és izometrikus (fejrész) szerkezet kombinációja.

A helikális szimmetriájú virionok szerveződése a legjobban ismert növénypatogén kórokozó, a dohány mozaik vírus (TMV) képén mutatható be.

A TMV genom osztatlan, egykomponensű. A nukleinsav csavarvonal mentén helyezkedik el, összesen 6395 nukleotidából áll. A nukleinsav láncon a kukoricacsutkához hasonló formában foglalnak helyet a köpenyfehérje alegységek, amelyek kívülről is, belülről is körülölelik a nukleinsavat. Egy virionon 2130 köpenyfehérje alegység van. Mindegyik fehérje 157 aminosavból áll, melyek sorrendje (szekvenciája) állandó. Az

így felépített virion merev, pálcika alakú, kb. 300 nm hosszú, átmérője 17 nm, belseje üreges, az üreg mintegy 2 nm átmérőjű.

Ha a vírus-nukleinsav még hosszabb, akkor a virion alakja nem merev, hanem hosszú, hajlékony fonál.

Előfordul, hogy több egészen különböző faj mérete és alakja teljesen azonos. A vírusfajokat tehát méret és alak szerint nem lehet biztonságosan megkülönböztetni, azonosítani.

**Kémiailag** nukleinsavból és számos fehérjemolekulából, ún. fehérje alegységekből épülnek fel. Ezek feltétlen alkatrészeik. A fehérje mintegy burkot, köpenyt alkot, amely a nukleinsavat körülveszi. Ezt a fehérjeköpenyt **kapszidnak** nevezik. Benne a fehérje-alegységek, a **kapszomerek** szabályos mértani alakzatban helyezkednek el, és kétféle geometriai formát hozhatnak létre: ikozaédert és oktaédert. Egyes vírusokban, a fehérjemolekulák egyfajta, másokban többfajta fehérje alegységből épülnek fel (pl. *Escherichia coli* **T2 fágja**). Egy-egy vírustörzs kapszidfehérje aminosavsorrendjében kis eltérések lehetnek, amelyek a virion immunológiai tulajdonságaiban is visszatükröződhetnek.

A vírusok egy részénél a nukleokapszidot (kapszid és a nukleinsav együttese) még egy külső burok (peplon, envelope) is borítja, amely a gazdaszervezet foszfolipidjeihez hasonló vagy azzal teljesen azonos, ill. a kapcsolódást elősegítendő fehérjék is beépülhetnek ebbe a burokba.

Egy bizonyos vírusban **csak egyféle nukleinsav lehet**, tehát vagy **csak RNS**, vagy **csak DNS**. Ezek az RNS ill. DNS-láncok lehetnek egyszálúak vagy kétszálúak, osztatlanok vagy osztottak. A vírusok általánosan haploidok, de léteznek diploid vírusok is (*Retroviridae*).

Megjelenési formájuk alapján a vírusokat két csoportra osztjuk: a nyugalomban lévő, morfológiailag komplett vírusrészecskéket **virionoknak** nevezzük, míg a sejtben megsokszorozódó, azaz replikálódó nukleinsavat **vegetatív vírusként** különböztetjük meg.

A vírusok eredetére kétféle elmélet létezik, melyek közül mindkettő igazára utaló tények léteznek. A nagyobb méretű vírusok esetében lehetséges, hogy valamely "magasabb rendű" sejt degenerációjával jöttek létre, bizonyos tulajdonságok elvesztésével, obligát parazitává válással. A másik lehetséges út szerint a vírusok esetében olyan sejtalkotókról van szó, melyek úgymond kipottyantak más sejtekből, s képesek voltak fennmaradni. Erre utal pl. a vírus és a gazdasejt genomi szekvenciáinak bizonyos azonosságai.

A vírusok **replikációjának** elemzéséhez még egyszer tekintsük át a vírusok főbb ismérveit.

A vírusok saját anyagcserével nem rendelkeznek, replikációjukhoz a gazdasejt fehérje- és nukleinsav-szintetizáló képességét használják fel. Az infekció folyamatában a vírus a gazdasejt tevékenységét programozza át.

A gazdasejtben ennek eredményeként bekövetkező biológiai változások többfélék lehetnek, ezek alapján megkülönböztethetőek:

- **Perzisztens infekció**, mely során a vírus-DNS ill. RNS beépülése nem jár a gazdasejt elpusztulásával. A sejt genetikai állományához kapcsolódó vírusnukleinsav nem okoz kimutatható változást, hanem a sejtben rejtett állapotban, latensen marad fenn.



- **Proliferatív infekció**, a vírus és a gazdasejt egymásra hatásának azon formája, amikor a daganatvírusok a vírusszaporítás mellett a gazdasejtek túlzott szaporodóképességre tesznek szert, vagyis ráksejtekhez válnak hasonlóvá. Az érintett gazdasejtek morfológiai és funkcionális elváltozásával jár együtt.
- **Produktív infekció** az, mely során ha a vírus fogékony sejtbe kerül, azt fertőzi, nukleinsava beépül annak nukleinsav-állományába, s ezután úgy programozza át a sejt tevékenységét, hogy az a sejt anyagainak előállítás helyett a vírustermelésre áll át. Ennek eredményeként a sejtben nagy mennyiségű vírus keletkezik, a sejt elpusztul, a vírusok kiszabadulnak és újabb sejteket fertőznek.

Az átprogramozás után a sejtben a **vírusszaporodás folyamata** a következő **szakaszokra osztható**:

1. Az **adszorpció** fázisában a sejt felszíne és a virion között stabil kötődés jön létre. Ez csak akkor alakulhat ki, ha a virion burka és a sejt felszín között affinitás van, vagyis a sejtmembrán specifikus receptorokat, a virion felszíne pedig ezekkel komplementer tapadási helyeket tartalmaz. A vírusok többségének van olyan (sejtfaloldó) enzime, amellyel a receptor anyagát oldani képes, s így mintegy lyukat fúr át a sejt falán.
2. A **penetráció** során a vírus különböző mechanizmusokkal bejut a gazdasejtbe. Ilyen mechanizmusoknak több fajtája ismert: Egyes **bakteriofágok** esetében a kontraktilis fehérjetek összehúzódnak, s a fág belöveli a nukleinsavat a baktériumba, ami elegendő a

fágszaporodás megindulásához. Az injektálás során a fág kapszidja kívül marad.

- a. Az **állati vírusok** nagy részénél a penetráció egy fagocitózis szerű folyamat. A sejt a felszínén lévő vírust (abszorbeálódott virion) "állábakkal" körülöleli, majd a sejthártyadarabbal körülvett vírus a sejt belseje felé befűződik. (viropexis).
  - b. Egyes **növényi vírusok** penetrációja ízelt lábú rovarok, mint vektorok szúrásával, közvetlen beoltás útján megy végbe.
3. A **dekapszidáció** (a nukleinsav kiszabadulása) a penetráció után következik be. A kapszid széttöredezik, a nukleinsavak kiszabadulnak. A farkkal rendelkező fágoknál ez a fázis kimarad. Egyes vírusoknál ebben a folyamatban a gazdasejt kapszid bontó enzime vesz részt, más vírusoknál (pl. influenzavírus) pedig a peplon egyesül a sejtmembránnal és a citoplazmába csak a nukleokapszid hatol be.
4. Az **eklipszis** (sötét) fázisban a fertőző vírus teljesen eltűnik a sejtben, abban egyáltalán nem mutatható ki. A sejttel egygyé olvadt vírus (vegetatív vírus) első funkcióként ehhez gátolja a gazdasejt szintetizáló tevékenységét. Ekkor a két sejt külön-külön már nem létezik, hanem kettejükből egy új biológiai egység, a fertőzött sejt jön létre, amely mindkét alkotórésztől lényegesen különbözik. A vegetatív vírus nukleinsavban tárolt információi nukleinsav-polimerázok segítségével új nukleinsavak képződését eredményezik (replikáció). Hasonlóan fontos a nukleinsavat bontó nukleázok (RNázok, DNázok) és a nukleinsavtöréseket összekapcsoló, valamint a nukleinsavnak a sejtgenomba történő beépítését végző ligázok szerepe.

A vírusnukleinsav replikációjával párhuzamosan kezdődik a vírusfehérjék szintézise. A vírusalkotórészek előállításának helye a

sejtekben jól körülzárt helyen, az ún. virionüzemekben történik. Az alkotórészek összeszerelését valószínűleg külön enzim végzi, ami vírusféleségek szerint változik.

E fázis az új virionok megjelenéséig tart.

5. A **maturációs (vírusérési)** szakaszban az újonnan szintetizált nukleinsav- és fehérjekomponensek érett, fertőző vírusokká egyesülnek. Az összeépülés az izometrikus RNS-tartalmú vírusoknál a nukleinsav- és fehérjealegységek fizikokémiai konfigurációjából adódóan csak egyféle virion kialakulásához vezethet. Más vírusok spontán is aggregálódhatnak, míg megint mások erre nem minden esetben képesek, néha csak üres fehérjeburkok jönnek létre.
6. A **kiszabadulás** fázisa a gazdasejtek denaturációjával (szétesésével) jár, de sok vírus esetében a gazdasejtek csak lassan, fokozatosan pusztulnak el, hosszú ideig túl is élhetik a fertőzést. Egy-egy fertőzött sejtben a körülményektől és a vírustól függően több ezer, sőt esetleg 100-200 000 új virion is képződhet.

A vírusfertőzések egyéb, általános jellemzői:

Bizonyos víruspárok esetében az egyik vírus bejutása a sejtbe megakadályozza a sejtnek egy másik vírussal történő felülfertőzését. Ezt a jelenséget hívják **vírusinterferenciának**.

Magyarországon konkrét példája volt ennek pl. 1958-ban az akkor szokatlanul alacsony poliommorbiditás, amit az egyidejűleg rendkívül elterjedt Bornholm-betegség vírus kórokozója és a poliovírus közötti interferencia okozott.

Az interferenciát az okozza, hogy az egyik vírus hatására a fertőzött sejtben egy fehérje, az ún. **interferon** keletkezik, ami megakadályozza a

másik vírus szaporodását. Az interferon nem azonos a virion egyik komponensével sem, nem vírusspecifikus, hanem **gazdasejtspecifikus!!!** Hatása nem a virionra, hanem a fogékony sejtre irányul: ezek elvesztik a vírusokkal szembeni fertőzhetőségüket. Vagyis ha a vírussal egy sejtrendszerben interferontermelést váltunk ki, az a gazdasejtet nemcsak a kiváltó vírussal szemben védi meg, hanem más vírusokkal szemben is. Viszont ha ugyanezen interferonnal más sejttenyészetet akarnánk megvédeni, az még a kiváltó vírussal szemben sem sikerülne.

Az interferenciával ellentétben az a jelenség is előfordul, hogy a vírus az általa okozott elváltozások révén megkönnyíti, elősegíti egy másik vírusnak a fogékony sejtbe való bejutását és szaporodását. Ezt a jelenséget **vírusexaltációnak** nevezzük. Jó példa erre az, hogy a gyengített poliovírusok és bizonyos Cocksackie vírusok külön-külön nem betegítik meg a majmokat, de együtt bénulósos betegséget okoznak.

A **vírusok eredete** extrém alkalmazkodóképességük és gyors változékonyságuk miatt ma még ismeretlen, de számos teória van a növény- és állatvírusok közös eredetére. Mivel a vírusok obligát sejtparaziták, létezésük csak a sejtes élőlények megjelenésével együtt, vagy azok megjelenését követően képzelhető el. Egyre több bizonyíték van arra vonatkozóan, hogy a vírusok vagy azok egy része a sejtből alakult ki úgy, hogy a sejtek hosszú időn át, egymást követő mutációk eredményeképpen elvesztették enzimrendszereiket és emiatt függő viszonyba kerültek egy másik sejttel szemben, amelynek enzimjeit a reprodukcióhoz felhasználhatták. Ismert az is, hogy a gazdasejtben szaporodó vírus-RNS molekulák és a gazdasejt nukleinsava között a riboszómakötő helyek számát tekintve hasonlóság van. A szomszédos nukleotid párok gyakoriságának vizsgálata során összefüggések

mutathatók ki a vírus-DNS és a gazdasejt-DNS szerkezete között. A morfológia, replikációs stratégia és a vektortípusok alapján történő víruscsoportosítás valószínűleg tükrözi evolúciós kapcsolataikat, mivel a közös jegyeket közös "őstől" örökölték.

A **vírusok rendszerezése** korábban kórokozó képességük alapján történt, így beszéltek állati, növényi és baktériumvírusokról, majd az okozott betegség figyelembevételével próbálták meg őket felosztani.

Egy későbbi felosztás alapja a gazdaszervezet iránti affinitásuk volt, de ez sikertelennek bizonyult a fogékonyság nagy változékonysága miatt. Hasonlóan eredménytelen volt a szövetek iránti fogékonyság szerinti felosztása az orvosi virológiában.

A jelenlegi gyakorlat szerint a vírusok felosztása a **fő gazdaszervezet alapján** történik, a **virionok anatómiai és fiziko-kémiai struktúrájának jellemzői (pl. genom nukleinsav minősége, nukleinsavak száma, stb.) figyelembe vételével**. Ilyen jellemzők:

- a nukleinsav kémiai természete (DNS vagy RNS)
- a nukleokapszid szimmetriaviszonyai
- a külső burok (peplon) megléte vagy hiánya
- a nukleokapszid átmérője (helikális vírusoknál), ill. a kapszomerek száma (a kubikális szerkezetűeknél)

Így tehát elsőként elkülönítünk gerincteleneket, gerinceseket, baktériumokat, algákat, egysejtűeket vagy növényeket fertőző vírusokat (*inea* végződés).

Ezen csoportokon belül a vírusokat családokba osztjuk (*viridae* végződés), alatta a nemzetségeket (*genusok*) a *virus* nevet kapják. A vírusok nemzetközi elnevezésében az angol név a hivatalos.

A nemzetségeken belül vírus-fajokat nem különítenek el. Az egyes törzseket valamilyen jellemző tulajdonság, pl. gazdanövénykör, különítik el.

### ***A baktériumokat fertőző vírusok: a bakteriofágok***

A baktériumokat fertőző vírusokat **bakteriofágoknak**, vagy csak egyszerűen **fágoknak** nevezik, tehát olyan szervezeteknek, amelyek a baktériumokat úgymond felfalják (phagos). Megfigyelésük is egyes baktériumtelepek líziséből ered.

Igen elterjedtek, szinte minden baktériumnak vannak fágjai. A fágok egyben erősen gazdaspecifikusak.

A **bakteriofágok morfológiája** tág határok között változhat.

A bakteriofágok legismertebbjének, az *Escherichia coli*-t fertőző T4-fágjának példáján mutatható be a fágok alakjának funkcionális magyarázata.

A fág fejrésze egy izometrikus virionrész, amelyhez gallér, majd egy helikális szerkezetű, 24 gyűrűből álló, kinyúlt farokrész csatlakozik. A farki rész belsejében egy központi csőrész helyezkedik el. A farokhoz csatlakoznak még ún. farokrostok, melyek a gazdasejten történő, specifikus megtapadást biztosítják. Fertőzéskor a farokrész burka összehúzódik 12 gyűrűvé, a központi csőrész behatol a sejt belsejébe és rajta keresztül a fág nukleinsava belövedik a baktériumsejtbe.

Az adszorpció és a penetráció rendszerint 5 percen belül lejátszódik. A vírusreplikáció alatt virionok nem mutathatók ki a baktériumsejtben (eklipszis vagy látens állapot).

A nukleinsav szintézise, mely a vírus egy- vagy kétszálú DNS-ének vagy RNS-ének szintézisét jelenti, ettől függően a maganyagban (DNS) ill. a citoplazmában történik. Kezdetben a fág által kódolt fehérjék felszaporodása utal csak a fertőzésre.

**A DNS fágok replikációja kétféle.** Az első fajtánál, mint a T fágoknál, a fág kettős szálú, cirkuláris DNS-éről csak egy pozitív szál jut be a baktériumba és szolgál ott templátként. A replikáció a szálon mindkét irányban egyszerre indul meg, kezdetben egy primer DNS-szálat létrehozva, ezt követi rövidebb szakaszok szintézise.

A másik DNS-genomú fág-csoport nukleinsava lehet egy- és kétszálú. A baktériumsejtbe került, pozitív DNS-szál templátként szolgál egy új, negatív szál képzéséhez, mellyel egy ideiglenes kettősszálú, ún. replikatív formát (RF) hoz létre. A transzkripció a gazdasejt enzimjével játszódik le, mert a vírus nem rendelkezik ilyen enzimmel. A RF-ről indul meg ezután a vírus DNS-szintézise a "görgő kerék (rolling circle)" mechanizmus alapján, amikor is a kettősszálú DNS önmagát farokszerűen meghosszabbítva alkotja a kettősszálú nukleinsavat, ami a teljes hossza elérése után válik le arról.

**Az RNS fágok replikációjában** az RNS templátként és messengerként egyaránt szolgál. A fertőzés a pilusokon keresztül a leggyakoribb. A vírus RNS-e messengerként viselkedve kódolja a replikáz enzim szintézisét. A riboszómákhoz való csatlakozást a kapszidfehérjék biztosítják. Ezt követően a negatív RNS-szálon megindul a pozitív szál szintézise, ezt az

állapotot hívják replikatív intermediereknek (RI), erről képződnek a pozitív RNS-szálak.

A replikálódott vírus-nukleinsavak és -fehérjék összeépülése nem olyan rendezett folyamat, mint maga a replikáció, az alkotókat simán összekeverve is lejátszódik.

A szintézis végén az érett fág részecskék a gazdasejt lízise, feloldódása közben szabadulnak ki.

A fertőzéstől a lízisig terjedő időszak hossza 20-60 perc között változhat, egyes állati vírusoknál a 20 órát is elérheti.

A növényi vírusok a fertőzött sejtek plazmodezmáján keresztül haladva fertőzik meg a szomszédos sejteket, mintegy 4-80  $\mu\text{m}/\text{óra}$  terjedési sebességgel, majd a szállítószövetekben, a floemban és a xylemben 0,1-1,8  $\text{cm}/\text{óra}$  sebességgel képesek terjedni.

Az állatpatogén vírusok a nyirok- és véredényekben vagy az idegpályákon keresztül terjednek.

**A fágok felosztása** az örökítőanyag minősége (RNS vagy DNS), szerkezete (egy- vagy kétszálú) és a gazdaszervezet rendszertani csoportja alapján történik.

### ***Az algákat, protozoákat, gombákat fertőző vírusok***

Az egysejtűeket, algákat és gombákat fertőző vírusok kevésbé ismertek, itt részleteiben nem kerülnek tárgyalásra. Kimutatásukra a gombáknál akkor került sor, amikor több gombánál kettősszálú RNS-eket fedeztek fel. A nukleinsavaknak ez a megjelenési formája vagy maga a vírusgenom, vagy az RNS-vírusok replikációs terméke, amit egészséges



gombasejtekben nem találhatunk meg. Később fertőzött algákból, gombákból virionok jelenlétét is sikerült kimutatni.

### **Gerincteleneket fertőző vírusok**

A gerinctelenek közül elsősorban a rovarokat fertőző vírusok jelentősek. A rovarpatogén vírusok orális felvételt követően a gyomorba jutva lokalizálódhatnak, vagy az edényecskéken (hemolimfán) keresztül más szövetbe (zsírszövetbe, szaporítószervekbe, idegrendszerbe) jutnak. ott replikálódnak. Az ember számára lehetnek károsak, pl. a selyemhernyó vírusai okoznak komoly gazdasági kárt, más fajok azonban a káros rovarpopulációk megsemmisítése révén ökonómiai hasznot hajthatnak (pl. kaliforniai narancstermelésben...példát leellenőrizni).

**poliéder vírus:** a selyemhernyó vírusa, a fertőzés után pár nappal a beteg rovar sejtmagjaiban poliéderez zárványtestek jelennek meg. Ezek a fehérjekristályok a bontást indukáló proteolitikus gazdasejt-enzimeknek ellenállnak, a virion géntermékeit képezik.

**granulózis vírusok:** a lepkék jellegzetes vírusai. A beteg állatok sejtjeiben vagy ovális zárványtestek, vagy DNS-t tartalmazó fehérje kapszulák, valamint virionok figyelhetők meg. Példa rá a káposztalepke vírusa.

**szabad vírusok:** a gazdasejtben nem zárja körül őket fehérje burok, fehérje kristályokat sem képeznek, a rovarok egész testében szétterjednek, nem lokalizálódnak.

## ***Gerinceseket fertőző vírusok***

A víruskutatás kezdeti szakaszában főleg azokat a fajokat vizsgálták, amelyek az embereknél okoztak megbetegedést, az emberrel szemben veszélyt jelentettek (pl. himlő, sárgaláz, influenza, gyermekbénulás), vagy azokat, amelyek gazdasági jelentőséggel bírtak (pl. szarvasmarhák száj- és körömfájását okozó vírus). Kezdetben nehézséget jelentett, hogy a kutatók nem tudták izolálni az obligát patogén vírusokat a gazdasejtekből, kénytelenek voltak élő állatokkal dolgozni. Előrelépést a tyúktojások oltásának módszere jelentett, napjainkra pedig már kidolgozták a szövettenyészetek készítésének módjait, melyekkel az egyes vírusokat el tudták különíteni ill. fenn tudták tartani. Kezdetben a szövettenyészeteket újra és újra le kellett oltani vírusokkal, később már folyamatos tenyészetekkel dolgoztak. A gyengített kórokozók, vagyis a vakcinák készítésével eredményesen léphettek fel számos súlyos betegséggel szemben.

A **vírusfertőzés szakaszai gerinceseknél** az általánosan a vírusokra elmondottakkal egyező. Az adszorpció megfordítható folyamatként kezdődik, majd irreverzibilissé válik (mint a fágoknál), amikor vírus burokfehérjéi specifikusan kapcsolódnak a sejtfelszínhez. Ezen részfolyamat időtartama kb. 1 óra. A behatolás itt is lejátszódhat fagocitózis-szerűen, vagy a vírus fehérjeburkának és a sejtmembránnak az egyesülésével. A dekapszidációban aztán a virionstruktúra felbomlik, a védő köpenyfehérje teljesen vagy részlegesen leválik a nukleinsavról. A nukleinsav felszabadulásával a virionok többé nem mutathatók ki, ez az eklipszis szakasz, a vírus nukleinsav és fehérjeállományának megsokszorozása.

A **vírusreplikáció első lépése** a mikroorganizmusok ***fehérjeszintézisének*** ismertetésénél elmondottaknak megfelelően a **transzkripció**, a vírus-nukleinsav információjának átírása mRNS-é. Az egyes víruscsoportoknál ez az átírás eltérő:

- *kettőszálú DNS-vírusok*: az általános módon, a DNS egyik szála szolgál templátként az mRNS képzéséhez. Az átírás történhet a sejtmagban, ekkor a gazdasejt transzkriptáz enzimeit indítják el, ill. lejátszódhat a citoplazmában, ahol a replikálódó vírusok saját polimeráz enzimjüket használják fel. A DNS nem egy szálként, hanem rövid kis szakaszok képzésével majd azok összeragasztásával keletkezik.
- *egyszálú DNS-vírusok*: a vírussejt csak negatív vagy csak pozitív DNS szálat tartalmaz, melynek információja önmagában nem elég a replikáció megindításához. Ha a két szál a gazdasejtben egyidejűleg van jelen, akkor ott ún. replikatív szálat képezhetnek, melynek negatív száláról megindulhat az RNS-ek szintézise. A folyamatot a gazdasejt enzimeit indukálják.
- *kettőszálú RNS-vírusok*: Az előző csoporttal ellentétben képesek a transzkripciót saját polimeráz enzimeikkel katalizálni.
- *egyszálú RNS-vírusok*: A pozitív szálú RNS-vírusokban az RNS egyben mRNS-ként is szolgál, míg a negatív szálú RNS-vírusoknál erről a szálról külön mRNS íródik le. Saját transzkriptáz enzimeik nincsenek, ezeket a sejt szolgáltatja.

A transzkripciójuk szempontjából különleges csoportjuk a retrovírusok, melyeknél a genom ugyan RNS, de erről az információ DNS-re íródik át, az ún. *reverz transzkriptáz* enzim segítségével. Ez az átíródott DNS épül aztán be a gazdasejt DNS-

ébe, ahonnan a sejt genomjával együtt szolgál a mRNS templátjaként, s a folyamatot a gazdasejt transzkriptázai végzik el.

A vírusreplikáció transzlációs szakaszában a mRNS hordozta információ lefordítása a gazdasejt riboszómáiban történik.

Magának a **nukleinsavnak a replikációja** DNS-vírusoknál természetesen általában a magban, az RNS-vírusoknál pedig a citoplazmában játszódik le. A DNS-vírusok nukleinsavreplikációja a sejt DNS-szintéziséhez hasonlóan zajlik, a kettőszálú forma kettéválásával, az így szabaddá vált szakaszokon komplementer szálak képzésével.

A DNS-szálak ebben a szakaszban is még kiinduló komplementer szálként szolgálhatnak mRNS-szálak képződéséhez. Az ekkor keletkező fehérjék az ún. kései fehérjék, melyek főleg a virionok struktúrális fehérjéi.

Az egyszálú pozitív RNS-vírusok nukleinsava önmaga is szolgál mRNS-ként. A nukleinsavak replikációja során itt is megjelenik a replikációs intermedier, a kiindulási szál és a róla több helyen megindult pozitív szálak komplexe. A negatív szálról pozitív, a pozitív szálról negatív szálak másolódnak le, gyors szintézist eredményezve.

A virionok összeépülése és kiszabadulása végbemehet spontán vagy rendezetten. A spontán módnál a nukleinsav lánc bizonyos szakaszai ismerik fel a hozzájuk tartozó köpenyfehérje-szakaszokat. A rendezett összeépülés folyamata még nem teljesen ismert. A burokkal bíró vírusok kiszabadulása úgy jön létre, hogy burokanyaguk összeépül a sejt membránjával, majd arról lefűződik.

A **gerinceseket fertőző vírusok felosztásának** fő szempontja a genom típusa.

Közülük is számunkra az ember egészségét veszélyeztető vírusok a legfontosabbak, ezeknek csak felsorolását, ill. genomjuk szerveződési formáját kell megjegyezni:

Közülük is kiemelten kell foglalkozni az *Orthomyxoviridae* család egyetlen nemzetségével, az **influenza vírussal**. Három típusa (A, B és C) ismeretes. Az A típus az emberen kívül különböző állatokban (sertés, ló, szárnyasok), a B és C típus csak emberben fordul elő. A megfigyelések szerint egy-egy esztendőben a lakosságnak igen kis hányada betegszik meg influenzában, 39-40 évenként azonban hatalmas járványok lépnek fel, amelyek a Föld lakosságának nagy részét megbetegítik. Az utolsó ilyen nagy járványok 1918-1920-ban, majd 1957-58-ban voltak!!!).

A *Rhabdoviridae* család (RNS-vírusok) legfontosabb tagja a **veszettség vírusa**. A kutyánál a betegség három típusát: **tomboló, csendes és apatikus veszettséget** különböztetnek meg. A tomboló veszettség esetében dührohamok, fékezhetetlen vándorlási kényszer, víziszony jelentkezik, és mindet megharap, ami útjába kerül. A csendes veszettségben szenvedő állat nem tombol és nem harap, a félnék tekintet és az erős nyálfolyás a betegségforma további tünetei. Az atipikus megbetegedés gyomor- és bélgyulladást, görcsöket és folyamatos lesóványodást idézhet elő. A vadon élő állatok veszettségének legfeltűnőbb jele félnökségük elvesztése. Közép-Európában a kutyák helyett sokkal inkább a rókák a vírus köztes gazdái, ezért alkalmaztak ellenük megelőzést.

A **humán- és állatpatogén vírusok elleni védekezés** azért nehéz, mert a vírusok mindig csak a gazdasejttel együtt, abba beépülve jelentkeznek, hiszen obligát paraziták. A védekezés kétféle módon történhet:

- fizikai-kémiai úton: hőhatással, fertőtlenítő kémiai szerekkel, UV-sugárzással. Ezek főleg csak felületi védekezésre alkalmasak.
- virucidekkel: a legeredményesebbek a vakcinák, melyek in vivo hatnak. A vakcinák lehetnek inaktiváltak vagy élővírusosak. Előbbiek nem okoznak megbetegedést, utóbbiak gyenge megbetegedést okozva váltják ki a szervezet védekezési reakciót, képessé téve azt esetleges későbbi, "egészséges" vírusok általi fertőzések leküzdésére.

A növénypatogén vírusok okozta betegségek közül csupán Európában mintegy ezer különböző ismert: a szilva himlő vírus a volt Jugoszlávia területén mintegy 16 millió szilvafát betegített meg és pusztított el. A növényvírusok által előidézett termésveszteségekre vonatkozóan (több mint 30 vírus esetében) az olasz Pennazio et al. (1996) közölnek adatokat.

A vírussal fertőzött növényi gazdasejtben morfológiai, citológiai, fiziológiai stb. elváltozások figyelhetők meg, amelyek külső és belső tünetekben nyilvánulnak meg. A hiperszenzitíven reagáló növényi szövetekben a vírusok terjedése a nekrotizálódó sejtek miatt megáll, ekkor csak helyi, **lokális tünetek** alakulnak ki. Ha a tünetek az egész növényre kiterjednek, **szisztémikusaknak** nevezzük őket (mozaikfoltosság, klorózis, levél- és virágdeformációk, torzulások, növekedési zavarok, stb.). Ilyenkor a gazdanövény és a patogén egymásra **kompatibilisak** (előző, ellenkező esetben inkompatibilisak). Ha a víruskórokozó ezen korlátlan terjedését a növény gyenge tünetekkel vagy

tünetmentesen viseli el, akkor **toleranciáról** beszélünk. A növényvírusok legtöbb esetben nem pusztítják el a gazdanövényt, csak legyengítik, de okozhatnak rendkívül gyors elhalást is.

A növényeket fertőző **virionok felépítése** összetett, genomjuk osztott, többszakaszú. Többségük egyszálú, pozitív RNS-t tartalmaz, emellett még kis számban kettős szálú DNS-vírusok tartoznak ide, a többi fajta elhanyagolható. Fehérje burkuk csak ritkán van, ilyen többnyire csak az állati vírusokkal rokon típusokban található.

A **fertőzés folyamata** a növényvírusoknál mindig **passzív**, vagyis a kórokozó vagy sebekén keresztül, vagy egy vektor segítségével jut be a gazdanövénybe. Ennek megfelelően a sejtfelszínen való megtapadást segítő képleteik sincsenek.

**Terjedésüknek** hat fő módja van:

1. A **sebzéseken** keresztül legtöbbször a talajban, a gyökérszőrökön át terjednek, de történhet ez a földfeletti részek érintkezésekor is.
2. A **mechanikai átvitelt** az ember végzi, főleg termesztési folyamatok során.
3. A **magátvitelkor** vagy a mag külső része, a perikarpium, vagy a belső, az endospermium fertőződik. Előző ellen eredményesen lehet védekezni, utóbbi ellen nem.
4. A **pollenátvitellel** nemcsak a termést hanem az egész anyanövényt fertőzi a kórokozó.
5. A **vegetatív átvitel** természetesen a vegetatív terjesztésű haszonnövényekben okoz jelentős kárt.

6. Átvihető a kórokozó **kertészeti oltással** is, ha az oltóalany fertőzött volt.

További fontos terjedési módja a növényvírusoknak az, amikor valamilyen élő szervezet játszik közvetítő szerepet a vírus terjesztésében. Ezeket a szervezeteket ilyenkor **vektoroknak** nevezzük. Ezek lehetnek talajlakó fonálférgek, tetvek, mikroszkópusok, gombák. Kiemelkedő jelentőségűek a szűrő-szívó száj szervvel rendelkező rovarok, mint pl. a kabócák, levéltetvek. Magán a rovarátvitelen belül is több formát különböztetnek meg: a **nem perzisztens vírusok** terjesztése a fertőzött száj szervről történik, lappangási idő nélkül; a **perzisztens vírusok** csak a gazdanövényen való hosszabb idejű táplálkozás után válnak fertőzővé. Ennél a csoportnál ha a vírus magában az átvivő vektorban is replikálódik, akkor **propagatív vírusátvitelről** beszélünk. Ezen átviteli formák elkülönítése, ismerete a védekezés szempontjából fontos!

A növényvírusok replikációja a köpenyfehérje részleges vagy teljes lebomlásával kezdődik, ilyenkor a legsérülékenyebbek a vírusok külső hatásokra (pl. UV, hő). A replikáció itt is eltérő a genom típusától függően:

Az **növényvírusok RNS-e** legtöbb esetben egyben mRNS-ként is szolgál. Példájakat a TMV-n (dohány-mozaik víruson) mutatható be. A gazdasejt riboszómáin megtapadva irányítja a fehérjeszintézist, melynek első terméke a replikáz enzim. Ez az enzim egy RNS polimeráz, amely a negatív RNS szál szintézisét indítja. A pozitív és negatív RNS szálak így képzett kettős alakját hívják **replikatív formának** (RF), mely a fertőzött sejből kimutatható. Ennek aztán csak a negatív száláról képződnek új pozitív



szálak, akár a szálon több helyen egyszerre megindulva. Az így létrejövő sajátos, többszálú formát hívják **replikatív intermedierek** (RI). Ők termelik az új RNS nukleinsav szálakat.

A vírusfehérjék szintézise az előbb leírt nukleinsavsintézistől térben és időben elhatárolt. Elsőként a polimeráz enzim szintézise zajlik le, ez fogja az újonnan képződött RNS-száldarabokat összeforrasztani.

A néhány **kettőszálú DNS**-t tartalmazó növényvírus replikációja előbbiektől eltérő. Egyik legismertebbjük a CaMV (kelvirág mozaik vírusa). A sejtekbe jutott virionok deproteinizálódnak. A replikáció helye a sejtmag, ahol a vírus DNS állománya fellazul. Ebben az állapotban szintetizálódik egy mRNS szál, amely az egyik DNS szál teljes információját egyben tartalmazza. Erről az mRNS szálról transzlálódnak egyrészt a fehérjék, másrészt ez az alapja a nukleinsav szintézisnek is. A fehérjetermékek egyike a reverz transzkriptáz enzim, amely az új, negatív DNS szál szintézisét katalizálja a mRNS-ről. Ennek a DNS szálnak a képződése tehát már a citoplazmában játszódik le, majd pedig ez szolgál templátként a pozitív DNS szál szintézisében.

A **növénypatogén vírusok rendszertani felosztása** a nukleinsav típusa, a nukleinsav láncok száma és a genom osztottsága alapján történik.

A **növénypatogén vírusok elleni védekezésben** a korábbiakban elmondottakhoz hasonlóan a megelőzés szerepe óriási. A

mezőgazdaságban számos szigorú rendelkezés próbálja ezt biztosítani, pl. a szaporítóanyagok minőségét, kezelését szabályozva. A növénytermesztés technológiai lépéseinek tanácsos megfelelő megválasztása.

A közvetlen **fizikai vagy kémiai védekezés** itt is korlátozott, eddigi alkalmazása nem ért el széleskörben sikereket. Jóval nagyobb jövőt várnak a **biológiai védekezésnél**. A hagyományos növénynevelés ma is már rendkívül eredményes a rezisztens fajok kitenyésztésével. Legújabb módszere ennek a modern biotechnológiai növénynevelés. (olvasd Hornokból...).

A **viroidok** olyan növényi kórokozók, amelyek nem tartalmaznak fehérjét, csak RNS nukleinsavat, ezért külön csoportba sorolandóak.

Virionfázisuk tehát nincsen, s mindössze kb. 100-150 nukleotidból állnak, tehát genetikai információjuk jóval szűkösebb, mint a vírusoké. Elektronmikroszkóppal szemlélve kis pálcikáknak vagy kötött köröknek látszanak, mely forma a nukleinsavak szabályos, másodlagos elrendeződésének eredménye (kovalens kötések a lánchrészek között). Ez a szerkezet hőkezeléssel megszüntethető, így jobban tudták vizsgálni őket.

A viroidok információtartalma nem elegendő saját replikációjukhoz sem. Mégis képesek a gazdasejt genetikai állományához kapcsolódva, azzal együtt egy közös replikáz enzim kialakítására. A viroidok fehérjét önmagukban nem kódolnak. Replikációjukkor valószínűleg egy negatív templát szál képzése az induló lépés, erről keletkezik az új pozitív szál, melynek lefűződése a folyamat utolsó lépése.

A viroidok keltette fertőzések tünetei megegyeznek a vírusok okozta betegségekével.

Ha már ezekről az RNS-tartalmú szubvirális elemekről beszélünk, akkor említést kell tennünk ilyen jellegű, DNS-tartalmú nukleinsav-molekulákról is. Ilyenek a **plazmidok és az episzómák**. Ezek mindketten kisméretű, kettős szálú, cirkuláris DNS-molekulák, melyek közül a plazmidok DNS-e nem képes a gazdasejt kromoszómáival integrálódni, míg az episzómák mind autonóm, mind integrált állapotban előfordulnak. Ezek az elemek gyorsabban replikálódnak, mint a gazdasejt, ezért egy gazdasejtben 10-100 is előfordulhat belőlük, sőt ugyanazon baktériumsejtben kétféle plazmid is jelen lehet egyidejűleg.

Egyelőre nem is eldöntött, hogy a vírusokhoz sorolhatók-e, mert sok hasonlóságot mutatnak az eukarióta sejtek energiatermelő sejtorganelumaival (a gazdasejttel szoros kölcsönhatásban replikálódnak, de külön genetikai állományuk van).

## Prokarióta mikroorganizmusok: a baktériumok

A mikroorganizmusok sejszerkezetük alapján három, egymástól jól elkülönülő csoportra választhatók szét.

- Az **akarióta** (nem sejtes) szerveződésű élőlények a vírusok, melyek jól elkülöníthetők minden más organizmustól.
- A **prokarióták** (össejtesek) alacsonyabb rendű mikroorganizmusok, melyekhez a baktériumokat és a (korábban kékalgáknak nevezett) cianobaktériumokat, továbbá (a régebben a vírusokhoz sorolt) chlamidiákat, rickettiákat, valamint a mikoplazmákat soroljuk.
- Az **eukarióta** (valódi sejtmagvas) csoportba a magasabb rendű mikroorganizmusok, a gombák, az algák és a protozoák tartoznak. Ezek sejt felépítése alapján véve teljesen megegyező a magasabb rendű növényekével, állatokéval.

Ezen élőlények legtöbbször sejtes szerveződésű, egysejtű vagy többsejtű, de a többsejtű szervezeteket általában egyforma sejtek alkotják, amire számtalan példát találunk a baktériumok, algák és gombák között. A sejtek környezetüktől sejtmembránnal határolódnak el, mely aktív szerepet játszik a külvilággal folytatott kommunikációban és a sejt belső egyensúlyának megőrzésében.

A prokarióták közé tartozik az összes baktérium, beleértve a fotoszintetizáló cianobaktériumokat is, míg a többi sejtes élőlény eukarióta. Ezen általános sejtes szerveződés alól a vírusok kivételt

képeznek. A prokarióták és eukarióták közötti különbséget nem egyedül a sejtmag meglétében vagy hiányában kell keresnünk, hanem az egyéb felépítés- és működésbeli eltérések is a két csoport egyértelmű különállását bizonyítják. Ezeket a jellegzetes bélyegeket egy táblázatban foglaltuk össze (ld. ppt).

Mindkét sejtípus képes az élethez szükséges alapvető funkciók (táplálékfelvétel, makromolekulák szintézise, energiatermelés, reprodukció) ellátására, de az eukarióták felépítésüket tekintve sokkal bonyolultabbak. Ez a tény elgondolkodtató: honnan ered a kétféle sejt, és milyen kapcsolat volt közöttük a törzsfajlás során? Vajon az egyszerű prokarióta sejtek az evolúció korai állomását jelentik-e és belőlük fejlődtek ki a komplexebb eukarióták, vagy a két sejtípus egymástól teljesen függetlenül alakult ki?

Az élővilág megjelenése előtt a földi légkört CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S és vízgőz alkotta, szabad oxigén nem volt jelen. Ez a molekula csak a fotoszintetizáló szervezetek megjelenése után vált a légkör alkotójává, így hát valószínű, hogy az első sejtek anaerobok voltak és igen primitívek. Csak nagyon egyszerű enzimeik lehettek, ezért fejlődésükhöz igen sok vegyületet igényeltek készen (aminosavakat, vitaminokat, purinokat, pirimidineket). A ma élő, s az Archaeobacteria osztályba sorolt baktériumok között ismerünk olyanokat, melyek tulajdonságaik tekintetében nagyon hasonlóak lehetnek a feltételezett legősibb mikroorganizmusokhoz. Az életre utaló első bizonyítékokat 3,5 milliárd éves kőzetekben találták. A legöregebb ismert fossziliák azok a 2,8 milliárd éves prokarióta sejtek, melyekre Nyugat-Ausztrália üledékes rétegeiben bukkantak, míg a 2 milliárd éves kőzetekből a paleontológusok baktériumokat és cyanobaktériumokat egyaránt

kimutattak és erre a földtörténeti korra tehető a szabad oxigén megjelenése is. Az oxigén valószínűleg az ősi cianobaktériumok fotoszintetikus tevékenysége révén került a légkörbe. Az első eukarióta sejtek 1,4 milliárd évvel ezelőtt jelenhettek meg, majd a légköri O<sub>2</sub> koncentrációjának növekedésével párhuzamosan ezekből egyre bonyolultabb szervezetek fejlődtek ki. Mindebből megállapítható, hogy az evolúció során a prokarióták megelőzték az eukariótákat, de nem kaptunk választ arra a kérdésünkre, hogy vajon az eukarióták őseinek tekinthetők-e a prokarióta élőlények. Egyes kutatók elképzelései szerint, a prokarióta sejtekben történt sorozatos mutációk végső soron kialakíthatták az összes eukarióta jellegzetességet, mások viszont valószínűbbnek tartják, hogy a különböző típusú prokarióták szimbiózisa vezetett el az eukarióta sejt létrejöttéhez. Talán e két teória kombinációja áll legközelebb az igazsághoz. Az **endoszimbiózis elméletét** támasztják alá a **mitokondrium és kloroplasztisz eredetére** vonatkozó magyarázatok. E két sejtorganellum számos jellegzetes prokarióta tulajdonsággal bír -a genetikai információ cirkuláris DNS-be rendezett, a fehérjeszintézis 70 S riboszómákon történik, valamint a transzkripció és transzláció is a prokariótákéhoz hasonlóan zajlik. Feltételezhetően valaha szabadon élő, fotoszintézisre ill. sejtlégzésre képes prokarióta szervezetek lehettek, melyeket az ősi eukarióták bekebeleztek és így endoszimbiotikus kapcsolat jött létre közöttük, melynek során a "rabul ejtett" sejtek fokozatosan elvesztették önállóságukat. Ma még nem tudunk egyértelmű választ adni a két sejtípus eredetére, de eddigi ismereteinkből kitűnik, hogy habár e sejtek különböző felépítéssel bírnak, biokémiai

tulajdonságaik tekintetében nagyon hasonlóak, ami az élet egységes eredetére utal.

A vírusokat nem szokás besorolni a fentebb részletezett evolúciós sémába, hiszen származásukkal kapcsolatban sok a bizonytalanság és igen kevés a fogódzó. Vajon az élet legősibb, sejt nélküli formái, vagy inkább differenciálódott, bonyolult szervezetekből keltek önálló életre? Ez utóbbi elméletet látszik igazolni abszolút parazitizmusuk és az a képességük, hogy a gazdaszervezettel bensőséges genetikai kapcsolatot alakítanak ki.

Végigtekintve a mikroorganizmusok világán sokféle, az evolúciós időskálán nagy távolságokra elhelyezkedő élőlényt láthatunk. A vírusok nem sejtes szerveződésűek és kristályosíthatók, így bizonyos értelemben közel állnak a makromolekulákhoz. Felépítésükben a genetikai információt hordozó nukleinsav (RNS vagy DNS) és az ezt védő fehérje vesz részt. Kizárólag parazita életmódot folytatnak; életjelenségeket csak a gazdasejten belül mutatnak és ez is főképp az öröklődésre korlátozódik. A gazdaszervezet lehet bármely más élőlény, a baktériumoktól kezdve az emberig.

A baktériumok a legegyszerűbb sejtes szerveződésű prokarióta élőlények, az élet első formái a Földön. Képviselőik nagyban különböznek egymástól méretükben, alakjukban és ami ennél is fontosabb, az energiatermelő folyamatok tekintetében. Általában egysejtűek, de néhány fajuk egyforma sejtekből álló aggregátumokat képez. Sejtosztódással szaporodnak.

A protozoonok eukarióta, egysejtű állatok. Jellegzetes képviselőik a papucsállatkák vagy Parameciumok, melyek csillóik segítségével mozognak, és az amőbák, melyek állábakat fejlesztenek. A legtöbbjük

ártalmatlan, azonban akadnak kórokozók is, mint például a maláriás tüneteket kiváltó Plasmodium fajok.

Az algák egy- vagy többsejtű, fotoszintézisre általában képes eukarióta szervezetek. A vízi ökoszisztémák fontos alkotói, ahol az elsődleges produkcióért felelősek. Taxonómiai besorolásuk során kiemelt jelentőségű bélyegnek tekintendő a sejtfal, ill. a fotoszintetikus pigmentek összetétele. Az algák között van néhány gazdasági szempontból fontos faj, mint például azok a Gelidium- és Gracilaria-nemzetségbe tartozó vörösmoszatok, amelyekből az agart nyerik. Veszélyes szervezetekkel is találkozhatunk. A barázdás moszatok közé sorolt Gonyaulax nevű alga egy, a gerincesek idegrendszerére ható mérget termel, ami a környező vizekben élő kagylókban felhalmozódik. Ezeket a puhatestűeket elfogyasztva súlyos betegség alakulhat ki emberben is.

A gombák is eukarióta szervezetek, a növekedésükhöz szükséges tápanyagokat szerves anyagok lebontásából szerzik (heterotrófok). Osztályozásuk szexuális és aszexuális reprodukciójuk jellegzetességein alapszik. A penészek többsejtűek, fonalas testfelépítésűek. Igen gyakoriak, nedves helyeken, rosszul tárolt élelmiszereken rövid időn belül megjelennek. Az élesztők mindig egysejtűek, és különleges módon, sarjadzással szaporodnak. Számos fajuk ipari szempontból nagyon jelentős, gondoljunk csak a sör-, bor- és sütőélesztőre. Igen jól ismertek a növény-, állat- és humánpatogén gombák és vannak olyanok is, melyek az általuk termelt toxinok miatt veszélyesek.



### A baktériumokról általánosan:

A baktériumok egysejtű, általában hasadással szaporodó, mikroszkópikus méretű, mag nélküli, önálló anyagcserével rendelkező organizmusok. Ők a bioszféra legkisebb, ÖNÁLLÓ anyagcserére képes biológiai rendszere. Morfológiailag meglehetősen egyszerű felépítésűek, de fiziológiailag igen nagyfokú változatossággal rendelkeznek, vagyis a baktériumsejtek által kivitelezett reakciók nagyon sokfélék lehetnek. Ebben a tekintetben jóval "fejlettebbek", mint az eukarióta sejtek egy-egy differenciált sejtje, melyek ezen képességeiket a specializálódás során már elvesztették. A baktériumsejtek apró mérete és az ehhez társuló relatíve nagy testfelület fiziológiailag és ökológiailag szintén kiemelkedő jelentőségű. Ez a tulajdonságuk teszi lehetővé számukra, hogy igen kis mennyiségben rendelkezésre álló táplálék- és energiaforrásokat is ki tudjon használni kevés számú sejtjük.

### A baktériumok morfológiája:

A baktériumokat alakjuk szerint hagyományosan három fő csoportra sorolhatjuk:

- gömb alakúak (kokkusok), ezen a formán belül további alcsoportokat különítenek el aszerint, hogy a sejt osztódásai után milyen alakzatok jönnek létre: mikrokokkus (elkülönülő sejtek), diplokokkus (páros), sztreptokokkus (hosszú láncok), tetrakokkus (kétdimenziósan négyszögben), sztafilokokkus (csomós vagy szőlőfürtszerű gömb alakú), szarcina (három egymásra merőleges irányban osztódik, 8-as csoportok)

(0,5-1,5  $\mu\text{m}$  mérettel)

- pálcika alakúak (bacillus forma, hajlott pálcikánál vibrió forma)

(0,6-200  $\mu\text{m}$  hosszmérettel, 0,4-3,0  $\mu\text{m}$  vastagsággal)

A pálcika alakú baktériumok alapvetően kétfélék: spóráképzők és spórátnem képzők. A bacillus név helyesen csak a pálcika alakú sporogén szervezeteket illeti meg. Ezeknél aszerint, hogy aerob vagy anaerob szervezetekről van szó, előbbi esetben *Bacillus*, utóbbiban *Clostridium* genuszt szokás megkülönböztetni.

- csavar alakúak (vibrio –félfordulattal–, spirillum –2 vagy több fordulattal–, spirocheta –többször megcsavarodott–).

(1-5  $\mu\text{m}$  hosszmérettel, 0,2-0,5  $\mu\text{m}$  vastagsággal)

- mind a három alakot élőhelyhez alkalmazkodva felvenni képes baktériumok (pleomorfizmus)

A rajtuk/bennük fellelhető képleteket szintén három csoportra tagolhatjuk:

1. függelékek: flagellumok, píluszok, fimbriák
2. sejtburkok alkotói: glikokalix (tok, nyálkabevonat), sejtfal, sejthártya
3. protoplazma részei: sejttartalom, riboszómák, mezoszómák, granulátumok, maganyag, plazmidok.

A fent felsorolt alaki tulajdonságok az egyes baktériumnemzetségekre, fajokra jellemzőek, ezért meghatározásuknál fel is használják ezeket. A fajra jellemző formát azonban csak optimális feltételek mellett találjuk meg!

Amennyiben a feltételek (tenyésztési körülmények, a tenyészetek öregedése, különböző sók jelenléte vagy hiánya, stb.) nem megfelelőek, úgy a fajra nem jellemző formák, az ún. involúciós alakok jönnek létre. Ezek méretükben és eltorzult alakjukban eltérnek a normális baktériumoktól. Leggyakoribb ilyen formák a nagyobb gömbök, különböző fonalak. Kedvezőtlen környezeti körülmények között óriástesteket hoznak létre, melyek a kedvező feltételek visszatérésekor visszaalakulhatnak normális sejtekké.

#### A baktériumsejt szerkezeti felépítése:

Sejthártyája, sejttartalma, riboszómái és maganyaga minden baktériumnak van. Ezek a sejt élete szempontjából nélkülözhetetlenek, ún. elsőrendű vagy vitális részek.

Azon sejttartozékokat, amelyek jelenléte vagy hiánya nem befolyásolja döntően a sejt életét, másodlagos vagy járulékos alkotórészeknek nevezzük. Ilyenek a tok (kapsula) vagy burok, az ostor ill. csilló, a spóra, a fimbriák és a sejtközötti állomány vagy zárványok. Ezek nem is fordulnak elő minden baktériumsejtben.

## A baktériumok sejtfalának szerkezete és funkciói:

A baktériumsejt legkülső, összetett szerkezetű rétege, amely határozott funkcióval rendelkezik. Vastagsága a különböző fajoknál igen változó, átlagosan 0,1-0,2  $\mu\text{m}$  nagyságrendű, és tömege a sejt szárazanyagtartalmának kb. 20%-ára tehető.

Az legkülső burkolóanyag a **glikokalix**, melynek vastagsága, összetétele nagyon eltérő lehet. Egyes baktériumoknál ez laza szerveződésű, ún. *nyálkaburok*, mely a kiszáradástól, tápanyagvesztéstől óvja a sejtet. Másoknál a vastagabb, erősebb *tokot* különítjük el. Ez szorosabban tapad a sejtre, összetétele szigorúan meghatározott, fajra jellemző, főleg védelmi funkciókat lát el külső hatásokkal szemben.

Példaként hozhatjuk fel azt az esetet, amikor az ember szájában a szénhidrát-tartalmú táplálékmaradványokból táplálkozva, sárgás, rózsaszínes félgömbök, kúpok, ún. baktérium-plakkok keletkeznek. Fogmosáskor ezeket ugyan eltávolítjuk, ám egy nyálkaréteg mindig marad, „sima” fogfelszín okozva. Ezen nyálkaréteghez aztán „orális” *Streptococcus*-ok kapcsolódnak, s más mikróbákkal együtt alkotják ezt a tokot. Nem megfelelő szájhygiéna miatt a fogíny begyulladhat, s fogmosáskor felszakadhat, véres lesz. Ilyenkor HEM szabadul fel, ami azért nagyon veszélyes, mert rajta egyes baktériumok robbanásszerűen elszaporodhatnak, ami végső soron a fog kihullásához vezet!

Közvetlenül a glikokalix alatt található a **sejtfal**, mely méret és kémiai összetétel alapján is lényegesen különbözik a magasabb rendű növények sejtfalától. Ez határozza meg a baktériumsejtek alakját, annak szerkezeti vázát képezi és egyben védelmet nyújt. Egyes vegyi alkotórészeit és funkcióját illetően emlékeztet az ízeltlábúak és a rákok kitinrétegére. Egyes csoportjaikon (pl. *Eubacteriales*) belül is nagy különbségek vannak

a sejtfal kémiai összetételét illetően, ahogy azt a Gram-pozitív ( $G^+$ ) és Gram-negatív ( $G^-$ ) baktériumoknál látni fogjuk.

*A baktériumsejtfal a következő funkciókat látja el:*

- szilárd támaszt nyújt a citoplazmában uralkodó nyomással szemben, amit a sejthártya önmaga nem lenne képes megtartani. Ez a nyomás a  $G^+$  baktériumokban kb. 20, a  $G^-$  sejtekben pedig 5 bar (atmoszféra) körüli.
- védi a sejtet a külső abiotikus és biotikus hatásoktól.
- a szaporodásban is fontos szerepet játszik.

Ezen utóbbi funkciót *Fleming* bizonyította, aki a lizozim (muramidáz) nevű enzimmel egyes  $G^+$  sejtek sejtfalát hidrolizálta, miután a baktériumsejtek ugyan tovább növekedtek, de a megfelelő méret elérésekor sem voltak képesek osztódásra, vagyis a szaporodásra.

*A baktériumsejtfal vegyi összetétele* lényegesen különbözik a növényi és állati sejtfal összetételétől. Ez is az egyik oka a baktériumsejtek antibiotikumokkal szembeni érzékenységének, melyet pl. az állati sejtek nem mutatnak.

- koenzimek: A tápanyagcserében játszanak fontos szerepet. Ebben a rétegben megy végbe a makromolekulák aprítása. A sejtfal általában a 10 Megabázis alatti vegyületeket engedi át.

- aminosavak: Valószínűleg a proteolitikus (sejtfalbontó) enzimekkel szembeni ellenállóságot növelik.
- aminocukrok: Ezek a természetben általánosan elterjedtek, a  $G^+$  sejtekben nagyobb arányban (10-20%), mint a  $G^-$ -okban (3-5%).
- zsírszerű anyagok (lipidek): A  $G^+$  sejtek sejtfalában jóval kevesebb (3-4%), mint a  $G^-$  sejtekében (15-20%)
- **glükopeptidek**: A baktériumok sejtfalában ezen anyagok találhatóak meg a legnagyobb arányban, egyes fajokban akár 85-90%-ot is kitehetnek. A peptidoglükán egy (a legtöbb bakt.-ban megtalálható) különleges anyag, amely csak erre az élőlénycsoportra jellemző.

A sejtfal felépítésének fejlettsége szerint a következő sorrendet állapíthatjuk meg: ősi felépítésű baktériumok (Archaeobacteria oszt.) <  $G^+$  bakt.-ok <  $G^-$  bakt.-ok.

Az Archeobacteria családba tartozó fajok sejtfalában még egyáltalán nincs peptidoglükán, az csak poliszacharidokból vagy fehérjékből áll. Utóbbi kettő sejtfalának merevségét a glükopeptidek közé tartozó **peptidoglükán (murein)** váza adja. Ez egyetlen polimerizált óriásmolekula. A váz hosszanti elrendezésű poliszacharid fonalakból és az ezeket haránt irányban összekötő peptid alegységekből és peptidhidakból áll, méghozzá több dimenzióban, ami az egymás fölötti rétegek között is kapcsolatot teremt.

A  $G^+$  baktériumok sejtfała túlnyomórészt (több mint 50%-ban) peptidoglükánból áll, ami viszonylag homogén, tömör sejtfałszerkezetet biztosít. A  $G^-$  baktériumok sejtfała viszont több rétegű, s csak a sejtmembrán fełli alaprétege áll mureinből, ami a sejtfał anyagában kevesebb mint 10%-a. Mellette a sejtfał anyagát nagyrészt lipoproteinek és lipopoliszacharidok alkotják (a sejtfał tömegének 80-90%-a), a sejtfał külső rétegében membránszerű réteget képeznek.

A Gram-pozitív és Gram-negatív baktériumok elkülönítésének módját, egy különleges festési eljárást Christian Gram dán orvos 1886-ban fejlesztette ki. Első lépésében a rögzített baktériumsejteket sötétlila színű kristályibolyával kezelik, majd jóđ-jóđkáli oldattal, ezután alkohollal kimossák, végül szafraninnal kontrafestik. Az alkoholos mosás után egyes sejtek lilák maradnak, mások színtelenné fakulnak – az előzőek a Gram-pozitív, az utóbbiak a Gram-negatív sejtek, mely színek a kontrafestéskor sötét ibolyára ( $G^+$ ) ill. halvány rózsaszínre ( $G^-$ ) módosulnak. A különbséget az okozza, hogy a jóđ-jóđkálival kezelt kristályibolya nagy kristályokat képez, melyek a Gram-pozitív baktériumok vastag peptidoglükán rétegében megkötődnek, onnan alkohollal sem moshatók ki. A Gram-negatív baktériumoknak is (mint láttuk) van egy vékony peptidoglükán rétege a sejtfałban, de ez nem képes visszatartani a komplex kristályokat, így alkoholos mosás után elveszti színét.

A  $G^+$  baktériumok sejtfałának váza porózus, így a viszonylag nagy molekulájú anyagok számára is könnyen átjárható. Ezért ezek a baktériumok igen érzékenyek a nyálban, könnyben, vérsavóban és szövetnedvekben stb. is előforduló lizozim enzim bontó hatására. Fontos szerepe van ezen különbségnek a szelektív kemoterápiában is, miután a

$G^+$  baktériumok érzékenyek a penicillinre és származékaira. A penicillinek ugyanis gátolják a peptidoglükán felépítését végző enzimet. A hatás specifikus, lényege abban rejlik, hogy a penicillin vetélkedik a transzpeptidáz enzimmal a dialanin végen, ezzel gátolva meg a sejtfalhálózat létrejöttét. Mivel a hálózat erőssége, vastagsága a kötések számától függ, ezért az adagolandó penicillin mennyisége nagyon fontos tényező.

A  $G^+$  baktériumok sejtfalába még savas jellegű poliszacharidok, pl. teichosav és lipoteichosav is beépülnek. Ezek a sejtfal folytonosságát fenntartásában nagy szerepűek a növekedéskor és osztódáskor, meghatározzák továbbá a sejtfal savas töltését. A  $G^+$  baktériumok sejtfalának vastag peptidoglükán rétege szorosan tapad a sejthártyához.

A  $G^-$  baktériumoknál ezzel ellentétben a sejfal legbelső, peptidoglükán rétegét egy vékony periplazmatikus tér választja el a sejthártyától. A peptidoglükánt körülvevő külső membránban (amelyet kívülről egy lipopoliszacharid réteg határol), vékony kis csatornák vannak, melyek a sejtfalon keresztüli transzportot szolgálják. Ezek anyagai transzportfehérjék (emlékezzünk a fehérjék szerkezeténél tanultakra!). A peptidoglükánt mindkét oldalról vékony lipoprotein réteg határolja, mely erősen antigén jellegű, patogénitás okozója lehet. A  $G^-$  baktériumok sejtfala kémiai szerekkel szemben ellenállóbb.

#### A baktériumok sejthártyájának szerkezete és funkciói:

A sejtfalon belül a protoplazmát a sejthártya (vagy citoplazmamembrán) veszi körül. Vastagsága  $<0,1 \mu\text{m}$ , a sejt szárazanyagtartalmának 10-15%-



át teszi ki. Fő összetevői a lipidek, fehérjék és poliszacharidok. A lipidek közül a glicerinre épülő, 15-18 C-atomszámú zsírsavláncokat tartalmazó foszfolipidek a legjellemzőbbek a sejthártya anyagában. Ezen poláros molekulák kétrétegű réteget alkotnak, az apoláros végükkel egymás felé fordulva. Közéjük fehérjék rakódnak be, melyek a membrán síkjában viszonylag szabadon mozoghatnak, de a membrán túloldalára nem járhatnak át. A valódi baktériumok esetében a lipid részaránya 30-40 %, a fehérjéé kb. 60-70 %.

#### *A baktérium-sejthártya funkciói:*

- Az anyagcsere legfontosabb szerve. Rajta keresztül valósul meg az anyag- és energiatranszport, az anyagok aktív és szelektív felvételével ill. leadásával. Az aktív átáramlást a transzportrendszerek teszik lehetővé.
- Az enzimszintézisnek is a sejthártya a helye. Az intenzív proteinszintézis folytán a membrán gazdag riboszómákban. Itt történik a sejtfalat alkotó polimer molekulák szintézise is, mely folyamatban a sejthártya gomolyszerű betüremkedésű függelékeinek, a mezoszómáknak kiemelt szerepük van.
- Fontos a szerepe még az elektronok transzportjában (energiatranszport), több sejtalkotó bioszintézisében, a spórák képződésében.
- Itt szintetizálódnak az extracelluláris enzimek is, melyek a baktériumok környezetébe diffundálva ott előbontják a makromolekulákat a tápanyagfelvételhez, ill. közömbösíthetnek veszélyes anyagokat is.

### A baktériumok citoplazmájának szerkezete és funkciói:

A magállománytól és a volutinszemcséktől megtisztított belső sejttartalom a protoplazma vagy citoplazma. A baktériumok citoplazmájában nem minden esetben mutatható ki világosan a magasabbrendű eukarióták sejtjeire jellemző sejtalkotók (pl. mitokondriumok, endoplazmatikus retikulum, riboszómák), de biztos, hogy hasonló összetevőkkel ők is rendelkeznek.

*A citoplazma vegyi összetételében* a struktur- és szolubilis (váz és oldható) fehérjék, nagyrészt enzimek, jelentik a fő alkotórészt. Ezen sejtrész tartalmazza a sejtfehérjéknek több mint 50%-át. Az elektronmikroszkóp alatt a 15-20 nm átmérőjű riboszómák nagy száma miatt szemcsés szerkezetűnek látszik.

A citoplazma a riboszóma-RNS-en kívül jelentős mennyiségben tartalmaz mRNS-t és tRNS-t is. Az egyéb szemcsék közül nagyobb mennyiségben polifoszfátok, zsírszerű anyagok, keményítő és glikogén található meg benne. Sokféle oldható enzim is jelen van, melyek az anyagcserefolyamatokat szabályozzák.

A citoplazma hidro- és lipofil (vagyis víz- és zsíroldható) vegyületeinek aránya rendkívül fontos a sejt élettevékenységeinek aktivitása szempontjából: a lipofil jellegű vegyületek felhalmozódásakor a sejtaktivitás lecsökken. Ezen arány változtatásával a sejt bizonyos mértékig képes aktívan alkalmazkodni a környezetében végbemenő változásokhoz, ez segítheti kedvezőtlen időszakok átvészelésében.

A baktérium citoplazma következő fontos funkciókat látja el:

- itt folyik az anyagcserefolyamatok szabályozása (membránhoz kötött folyamatok)
- ez a legfontosabb bioszintézis folyamatok helyszíne (fehérje-, nukleinsav-szintézis, enzimek felépítése ill. végső formájuk kialakítása)
- az összes oxidációs-redukciós energiatermelő folyamat itt játszódik le.

#### A baktériumok maganyagának szerkezete és funkciói:

A maganyag (vagy kromatin test) a baktériumokban egyetlen cirkuláris DNS-molekula. Sejtmagról nem beszélhetünk, mert a maganyag és a protoplazma között nincs elválasztó membrán. Kezdetben a baktériumoknál nem is tudták kimutatni a maganyag létezését, mert az magas RNS-tartalmú, így egyszerű festési eljárásokkal nem lehetett elkülöníteni.

A baktériumok magállománya eltér a magasabb rendűek sejtmagjától abban is, hogy haploid és hiszton nem fordul elő benne, csak DNS-t tartalmaz. A magállomány az összes sejttartalomnak csak mintegy 10 %-át teszi ki.

A haploid állapotú kromoszómaállományt alkotja, egyetlen cirkuláris DNS-molekula alakjában. A sejtnél 600-szor hosszabb (E. coli) molekula szorosan felgöngyölítve van elrendezve, formájából adódóan rendkívül törékenyen.

A DNS-molekulában lévő bázispárok fajtájának aránya az egyes fajokra jellemző, egyben az eukariótákétól is eltérő határozási bélyeg.

A *magállomány funkciója* nagyjából ismert:

- egyrészt a génegységekben tárolt információkat saját anyaguk replikációjával örökítik át utódaikra,
- másrészt a közvetítőként működő mRNS-eken keresztül a fehérjék képződésében fejezik ki a génekben tárolt információkat.

A tok (capsula) szerkezete és funkciói:

A baktériumok sejtfalának felszínén általában található még egy vékony nyálkaréteg is. Ezt általában olyan baktériumok képezik, amelyek szénhidrátgazdag, foszfor- és nitrogénszegény körülmények között élnek, de más körülmények is befolyásolhatják. Képzése általában genetikailag öröklött tulajdonság, de ritkán létrejöhet ill. elveszhet mutáció útján is. Morfológiailag a tokkal rendelkező baktériumok telepei sima, fényes felületükkel különülnek el a tokot nem képzők rögös felszínű telepeitől.

A tokot képző anyagok alapján elkülöníthetők:

- poliszacharid-tartalmú tokot képező baktériumok (pl. glükózból képződő dextrán),
- aminosavból álló tokot képző baktériumok,
- cukor mellett annak N-tartalmú származékait is tartalmazó tokot képző baktériumok.

A *tok funkciója* fajonként eltérő lehet: általánosan igaz, hogy a tok a baktériumsejt által kiválasztott salakanyag, amely egyrészt védő szerepű (pl. kiszáradás ellen), másrészt (pl. dextrénnél) tartalék tápanyag lehet. Patogén baktériumok esetében növelheti a baktérium fertőzőképességét (virulenciáját), valamint antifagocita tulajdonságúként védelmet adhat a fertőzött szervezet védőmechanizmusával szemben. Nem patogéneknél is elláthatja ez utóbbi funkciót, valamint elősegítheti egyes nehezen oldódó tápanyagok oldását és ezáltal felvételét.

#### A baktériumspóra szerkezete és funkciói:

Bizonyos baktériumok a vegetatív formájuk mellett öregedő tenyészetekben a sejten belüli, nagy ellenállású, a kedvezőtlen környezeti körülmények átvészelésére szolgáló kitartóképleteket, ún. **endospórákat** képeznek. Nagyobb gyakorisággal a pálcika alakú baktériumoknál fordul elő.

A spórák alakja általában ovális, ritkábban szabályos gömb, mérete általában kisebb a sejt keresztmetszeténél. Alakja, mérete és elhelyezkedése a sejten belül fajra jellemző, elkülöníthető bélyegként szerepelhet.

*Funkciójuk szerint* az endospóra nem a szaporodás, hanem a fajfenntartás szerve. Védelmet nyújt a kiszáradás, az alacsony és magas hőmérsékletek, valamint vegyszerek ellen. Ezen hatását a dipikolinsav Ca-sójának segítségével fejt ki, valamint az erősen lecsökkent víztartalommal. Kedvező körülmények között megindul a csírázás folyamata, ami a dipikolinsavnak a spóra burkából való kilépésével kezdődik. A vízfelvétel enzimek által irányított folyamat, a dipikolin kilépése már nem.

### Az ostor (flagellum) szerkezete és funkciói:

A baktériumok határozott irányú, aktív mozgását elősegítő járulékos képletek a flagellumok. Vastagságuk általában 12-19 nm, hosszuk a sejt hosszát többszörösen túllépheti (70-szeresen!). Számuk és elhelyezkedésük fajra jellemző bélyeg. A mozgás sebessége akár 1-5 mm/perc is lehet, az ostor propeller szerű mozgásával. A spirális baktériumok endoflagellumokkal mozognak, ezek módosult flagellumok, a periplazmatikus térben a sejtfal és a sejthártya között helyezkednek el.

Az ostorok hármasszegmentűek, így állnak egy alapi részből, egy hurokrészből és egy filament részből. Az ostorok *vegyi összetételük* szerint szinte kizárólag fehérjékből állnak (akár 98%), a filamentben globuláris, ún. flagellin-fehérjék találhatók. Ezek ciszteint alig tartalmaznak, mivel azok diszulfid hídjai a környezeti paraméterekre érzékenyek, ám az ostornak változó körülmények között is funkcionálnia kell! A filamentben egymás mellett 5-6 flagellin is fut párhuzamosan, így az ostor nem merev, hanem spirális gyöngysor, benne állandóan feszültséggel. Az alapi test egy pálcából és a ráépülő négy gyűrűből áll, ezek rögzítik a flagellumot a sejtfal különböző rétegeihez (M: citoplazma membrán; S: periplazmatikus space; P: peptidoglikán réteg; L: külső membrán és lipopoliszacharidok). Lényeges funkcionális szerepű emellett a hurok rész kampós alakja is a mozgásban. Ennek megértéséhez az ostorral történő baktérium-mozgás biokémiai mechanizmusát külön ábrán szemléltetjük. A mozgáshoz felhasznált energia azonban csak a teljes energiafelhasználás 1%-át teszi ki.

### A fimbriák szerkezete és funkciói:

Csak a Gram-negatív baktériumoknál megtalálható, 1-10 mikrom hosszú, 0,1 mikrom vastag, pálcika alakú képletek. Vegyi alkotóik fehérjék, üreges, csöves szerkezetűek és a citoplazmamembránból erednek. Szerepük a baktériumok megtapadókéességének növelése, nem csak a vörös vértetek felszínén, hanem egyéb felületeken is, tehát felismerési szerepük van (virulenciát növelhetik).

Ide sorolhatók a **sexfimbriák** vagy **sexpilusok** is. Ezek jóval hosszabb, merev, törékeny, csőszerű képletek, melyeknek a konjugációban van fontos szerepük.

### A mezoszómák szerkezete és funkciói:

A mezoszómák a citoplazmamembrán sajátos morfológiai függelékei, annak gomolyszerű (csigaszerű) betüremkedései. Főleg a G+-baktériumoknál jellemző meglétük. Összetételük még nem ismert pontosan.

*Funkciójukat* tekintve a legfontosabb a membrán felületének növelése az osztódás során, ill. a sejtfal megfelelő idejű hasítása.

### A baktériumok tartalékanyagai, vakuolumai és zárványai:

A *vakuólák* némely baktériumnál előforduló, saját membránnal rendelkező sejtalkotók, melyek valószínűleg a sejtek ozmoregulációjában játszanak szerepet. Tartalmazhatnak nagyrészt vizet, ezen kívül pl. volutint, lipoidokat, ként.

A *zárványok* egyrészt tápanyagkészletekként szolgálnak, másrészt a sejten belül kiválasztott anyagcseretermékeket raktározzák el. Összetevőik szerves polifoszfátok, RNS, fehérjék és lipoidok. Növekedő baktériumokban csak kis mennyiségben találhatók meg. Nagyobb mennyiségben a sejt növekedésének leálló szakaszában halmozódnak fel, ezért többek szerint szerepük tartaléktápanyagok felhalmozása. Jelenlétük, mennyiségük fajmeghatározó bélyeg lehet.

További sejtelemelek: viasszerű anyagok (sav- és alkoholállóság); pigmentek (intercelluláris és extracelluláris)

Legismertebb extracelluláris pigment a *Serratia marcescens* baktérium terméke, magyar nevén csodabacillus. Ennek pigmentje savas közegben piros, vérre emlékeztető elszíneződést mutat, melyről a középkorban tévesen azt feltételezték, hogy az ördöggel való cimborálás jele, az inkvizíció számos embert égetett meg ezért.

### **A baktériumok rendszertani felosztása, csoportjaik:**

A vírusoknál elmondottakhoz hasonlóan a baktériumokon belüli csoportok konkrét, lexikális felsorolása itt nem képezi előadásunk anyagát. Sor kerül azonban azon szemléletnek, módszereknek az ismertetésére, melyek ennek a felosztásnak alapját képezik. Ezeket "A mikroorganizmusok rendszertani felosztása" című fejezetben, közvetlenül az egyes élőlénycsoportok általános jellemzőinek részletesebb tárgyalása után vesszük sorra.



## Eukarióta mikroorganizmusok: a (mikroszkópikus) gombák

Az eukarióta mikroorganizmusoknak két fő csoportját különítjük el: az egyikbe az algák és protozoák (véglények), a másikba a (mikroszkópikus) gombák tartoznak.

Az első eukarióta sejtek mintegy 2 milliárd évvel ezelőtt, vagyis a földi élet történetének csak mintegy felénél jelentek meg. Az elméletek szerint a prokariótákból fejlődtek ki, intracelluláris szimbiózis révén, miután egyes sejtek mutációk révén függővé váltak másoktól. A fejlődésük a magasabbrendű, szöveti szerveződést mutató élőlényekhez vezetett. Az eukarióta mikróbáknál az ilyen szerveződés azonban még nem jelenik meg, mindössze az algák és a mikroszkópikus gombák bizonyos csoportjai mutatnak kezdeti differenciálódást ill. telepkezést.

### **Az eukarióták és ezen belül a gombák sejtjeinek szerkezete és funkciói**

A prokariótákkal ellentétben itt nem adható meg olyan ideális sejt szerkezetet bemutató ábra, mely minden csoportra ill. egy-egy csoporton belül minden sejtre nagyjából igaz lenne.

Az egyes fő sejtösszetevők az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- függelékek
- felszíni struktúrák
- sejtfa
- sejtmembrán
- sejtmag
- citoplazma

- sejtorganellumok (riboszómák és citoszkeleton).

Az eukarióta sejtek **függelékei** a mozgást, esetleg táplálkozást vagy szűrést szolgálják. Lehetnek **flagellumok** (algáknál, mikroszkópikus gombáknál) vagy **csillók** (protozoák egy csoportjánál). Méretükben kb. 10-szer vastagabbak a protozoák függelékeinél, összetételük is bonyolultabb és a sejtmembrán meghosszabbításának tekinthető burokkal védettek. A flagellumok szerkezete az élővilág valamennyi mozgó alakkal rendelkező típusánál azonos, ezen formája annyira megfelelőnek tűnik, hogy az evolúció évmilliárdok alatt nem változtatott rajta, ugyanilyen a magasabbrendű állatok spermáinak vagy bizonyos hámszöveti sejtek csillóinak felépítése is. Az ostorok 11 fibrillumból (mikrotubulus) állnak, melyek közül 2 hosszabb és centrálisan helyezkedik el, 9 pedig rövidebb, periférikus szilárdítóhélyt képez. A gombák flagellumai külső megjelenésüket tekintve kétfélék lehetnek: a **whiplash** flagellum sima felületű, míg a **tinsei** flagellum finom rostoktól borzas. A gombák flagellumainak fajtája ill. megléte vagy hiánya fontos rendszertani jellemző lehet egyes csoportjaiknál.

A sejt felszíni struktúrák elemeként a sejt legkülső rétege a gombáknál minden esetben a **glikokalix**, amely főleg poliszacharidokból épül fel, és képezhet rostokat, nyálkás burkot vagy tokot. Szerepe megegyezik a prokariótáknál elmondottakkal: a védelem, megtapadás és a külső szignálok érzékelése.

Alatta húzódik a **sejtfal**, mely kezdetben vékony, hártyás, később lerakódásoktól megvastagszik, de meg is színesedhet. A sejtek fala centripetálisan, a szaporítóképletekben képződő szaporítósejteké viszont centrifugálisan vastagszik meg. Az eukarióták sejtfala szerkezetében

lényegesen különbözik a prokariótákétól. Az algák sejtfala cellulózból, pektinből, mannánokból és berakódott ásványi anyagokból ( $\text{SiO}_2$  = kvarc,  $\text{CaCO}_3$  = mészkő). A gombák sejtfalában cellulóz, hemicellulóz, kitin, ill. kitinszerű anyagok találhatóak. A kitin 2-amino-2-dezoxiglükóz alapegységekből (monomerek) épül fel  $\beta$ -1,4 kötésekkel, az alapegység az N-acetil-glükózamin.

A cellulóz monomerje a glükóz, a kötés szintén  $\beta$ -1,4 helyzetű.

A kitin és a cellulóz mikrofibrillumokat, egy erős vázat képeznek, melybe többféle makromolekula rakódik még be. Legjelentősebbek ezek közül a glükoproteinek, amelyek polipeptidek, szénhidrát és oligo- vagy poliszacharid oldalláncokkal (főleg mannóz vagy galaktóz). Funkciójukat tekintve ellátják a sejt védelmét, működhetnek enzimként és felismerő (receptor) szerepük lehet. Sok gomba nagy mennyiségű, akár 20%-nyi lipidet is felhalmoz a sejtfalban. Ennek célja nem pontosan ismert, lényegében a sejtfelszínt hidrofób állapotban tartják, növelve ezzel ellenállóképességét.

A legtöbb gombának és algának jellemzője a vastag, merev sejtfal, de hiányzik az összes protozoánál és néhány algacsoportnál.

**Sejtmembránja** viszont minden eukarióta sejtnek van, s az tipikusan kettős lipidrétegből áll, melybe fehérjemolekulák ágyazódnak. A foszfolipidek mellett szterolok is találhatóak, melyek funkciója a szilárdítás. A sejtmembrán funkciója a prokariótáknál elmondottakhoz hasonlóan az aktív, differenciált anyagcsere biztosítása a citoplazma és a sejt környezete között.

Az eukarióták **sejtmagja** a magasabbrendű növényekéhez hasonló, összetétele így már ismert. Jellemzőes sejtmagra vonatkozó tulajdonságai a mikrobiális sejteknek a következők:

- a mag feltűnően kicsi, a kromoszómák is kicsik és törékenyek,
- gyakori a többmagvúság,
- sokszor fajon belül is változik a kromoszómák száma,
- és a legtöbb gombafaj, sok algafaj és néhány protozoa szomatikus (testi) sejtjei haploidok,
- a sejtmagon kívül, extranukleáris elemeként a plazmidok itt jóval kisebb jelentőségűek, mint a prokariótáknál, legtöbbször nem kódolnak fontos, fenotípusosan is jelentkező tulajdonságokat.

Az **endoplazmatikus retikulum** szintén az eukarióta sejt vívmánya. Kétféle változata található meg a sejtben: a szemcsés felszínű (RER) és a sima felszínű (SER). A RER közvetlenül a sejtmag membránjából ered, s összefüggő hálózatként tölti ki a citoplazmát, egészen a sejtmembránon kívülre nyúlva. Rajta keresztül történik az anyagáramlás a sejtmag és a citoplazma között ill. utóbbin túlra. Itt történik a fehérjeszintézisben keletkezett molekulák végleges szerkezetének kialakítása, ami főként szubsztitúciós folyamatokat jelent (pl. acetilezés, glükolizálás, hidroxilálás, foszforilálás, stb.). Fontos folyamat a fehérjéket nem kódoló aminosavak (kb. 120 db) itt lejátszódó szintézise és az enzimek alegységeinek összeszerelése is. A sima endoplazmatikus retikulum riboszómák nélküli csöves hálózat, mely a nem fehérje-jellegű molekulák szintéziséhez képez megfelelő felületet.

Az eukarióta sejt **Golgi-készülékei** lapos, a végükön megvastagodó, korongalakú alegységekből összeállított gúlákhöz hasonlóak. A korongok

üregesek, membránnal körülhatároltak, ezek az üregek nem alkotnak összefüggő hálózatot. A Golgi-készülékben az endoplazmatikus retikulumról érkező fehérjék módosulása, szénhidrátokkal, poliszacharidokkal, lipidekkel történő kapcsolódása zajlik. A két sejtalkotó között a fehérjék szintén fehérjék alkotta, membránnal bevont hólyagocskákban vándorolnak. A készre szerelt fehérjék legtöbbször enzimek, ezek szintén kis hólyagokban jutnak el a citoplazma megfelelő helyeire, vagy akár a sejten kívülre is.

A Golgi-készülékből becsomagoltan éréznek az enzimek a **lizoszómákba** is, ahol a citoplazma alkotóitól megfelelően elkülönítve csak az oda bekerülő tápanyagot bontják le, de nem a sejt alkotóit is.

A **mitokondriumok** a mikroorganizmusokban is a sejtlégzés organelumai, melyet külső membrán választ el az egyéb sejtartalomtól. Fontos tulajdonsága az önálló genetikai információ, mely a maganyagétól elkülönülten képes replikálódni.

A **lomaszómák** a sejtfa és a sejthártya között elhelyezkedő laza, kevésbé elektronelnyelő, amorf képződmények, melyek a hifák oldal- és hártafala mentén mindenütt megtalálhatók. Keletkezésük és szerepük még vitatott, de valószínű, hogy a plazmamembrán kitüremkedései és kizáródásai révén, valamilyen váladékképződéssel kapcsolatosan keletkeznek. Csak gombáknál található meg.

A **itoszkeleton** a sejtet átszövő rugalmas hálózat, mely támaszul szolgál a sejtorganelumoknak, biztosítja ezek citoplazmában való mozgását, s bizonyos eukarióta sejtek vázát is ez képezi. Két fő formája a *mikrofilamentumok* és a *mikrotubulusok*. Az előbbiek vékony fehérjefonalak, a sejtmembránhoz kapcsolódnak, s a sejtorganelumokat terelgetik, ill. primitív gombákban és protozoákban az amóboid

mozgáshoz asszisztálnak. Az utóbbiak hosszú csöves fehérjék, ún. tubulinok, s az eukarióta sejt alakjának fenntartását és a sejten belüli transzportot szolgálják. Ilyen tubulusok azok az orsófonalak is, amelyek a mitózisban az osztódáskor a megkettőződött kromoszómákhoz tapadnak és azokat szétválasztják a képződő két sejtbe.

### **A mikroszkópikus gombák telepeinek szerveződése:**

A mikroszkópikus gombák alakjukat tekintve igen változatosak, de besorolhatók három alapvető csoportba: fonalások, sarjadzók vagy dimorfak.

a) **A fonalás gombák** egy vagy több sejtből álló, rövidebb vagy hosszabb fonalakat, hifákat képez, melyek egysejtű, többsejtű, osztatlan vagy válaszfal felépítésűek, csőszerűek, gyakran elágazóak, egymással összeköttetést (anasztomózist) képezhetnek. Bonyolult hálózatukat micéliumnak nevezzük.

A **hifák** között meg lehet különböztetni a közösleges vagy *alap-, rost-, edény- és tapadóhifákat*, melyek falvastagságukban, merevségükben, üregeik átjárhatóságában különböznek. Így az alaphifák meg nem vastagodott falú és eredeti alakjukat megtartó, a rosthifák az alaphifákból a fal megvastagodásával keletkező, szűk üregű, az edényhifák tágas üregű, csőszerű fonalak. A tapadóhifák a szaprofita és parazita gombák tenyészhifáinak azon típusa, amely a gomba tenyésztését a táplálóközegen vagy a gazdanövényen rögzíti. A szaprofita gombáknál a tapadósejt rendszerint többszörösen elágazó vagy gyökérszerűen tagolt, neve *rhizoida*, míg a parazitáknál *hausztorium* a neve.

A fakultatív parazitáknál a tapadósejtből nyúlványok hatolnak be az epidermisz sejtekbe, ott jellemző gumós, bokros, elágazó formát alakítanak ki.

Az ivaros ciklusban jelentősebb differenciálódás megy végbe, ezt majd a szaporodási formák tárgyalásánál láthatjuk. A hifák lehetnek hialinok, azaz üvegszerűen áttetszőek, vagy a legkülönbözőbb árnyalatokban pigmentáltak.

A hifák a gombák többségénél harántfalakkal (szeptumokkal) tagolt, amelyek egyedi sejtekre osztják a hifát, de rajtuk pórusok találhatóak. Ezek kétféleképpen lehetnek: az Ascomycetes és a Deuteromycetes osztályokban egyszerű, mely megengedi a sejtmagvak sejtről-sejtre vándorlását, ezzel elősegítve a heterokariotikus állapot létrejöttét. Az utóbbi a Basidiomycetes osztálynál az ún. dolipórus, amely nem engedi meg a sejtmagvak sejtek közötti vándorlását, s ezzel az ivaros osztódás dikariotikus fázisának fenntartásában tölt be rendkívül fontos szerepet.

A **micélium**, amely a gombafonalak szövődésének összessége, változatos teleptestet fejleszthet ki. Az ún. *cönotikus micélium* egysejtű, nem elágazó, sok sejtmagvú. A *táptalaj-micélium* a táptalajba mélyedve vegetatív szerepű. A *felszínmicélium* szintén vegetatív, míg a *légmicéliumon* fejlődnek ki az ivaros és ivartalan szaporodás szaporítóképletei.

A micéliumok magállományuk minősége (ontogenetikai) és alaktani (morfológiai) szempontból is csoportosíthatók. Ezen felosztás megmutatja, mennyire sokrétű a gombák telepi szerveződése, aminek a fajok beazonosításában is fontos szerepe lehet:

A primer micélium a spórából fejlődik ki, sejtjei mindig haploidok, ritkán soksejtmagvúak. A fő- és oldalhifák egyszerűek, vattához hasonló

szövedéket hoznak létre. Mellékspóra alakokat, pl. konídiumokat termelhetnek.

A szekunder micélium két nemileg differenciált sejttaggal rendelkezik és a primer micéliumok citogámiájával jön létre. A *Basidiomycetes*nél a teljes élelciklusban dikarion állapotban van, míg az *Ascomycetes*nél csak az aszkogén hifákban. A micéliumok erős tagolódást mutatnak, kifejlesztik a termőtesteket.

A tercier micélium a másodlagos micélium képlete, csírázva is másodlagos micéliumot fejleszt. Ide sorolható a *plectenchyma*, a hifák minden irányban összeszövődő, laza vagy sűrűbb, szövetre emlékeztető szövedéke. Az elszélesült, egymáshoz szorosan kapcsolódó sejtek tömött szövedéke a *pszeudoparenchima*.

A *plectenchyma* egy további alakja a *szklerócium*, a kedvezőtlen körülmények átvészelésére szolgáló, vastag külső pszeudoparenchimatikus kéreggel és laza állományú béllel rendelkező kitartó képlet. Szintén a *plectenchyma* formája a micéliumnyaláb, amely a micéliumok, csúcsnövekedéssel hosszanti irányban megnyúlt sejtjeiből áll. A hosszú (néha több méteres), tömör, vastag kötegeket *rhizomorfának*, a keményfalú kitartóképleteket, melyek pedig az aljzatba simulók vagy belenövők, *sztrómának* nevezzük.

A mikroszkópikus gombák telepi szerveződése makroszkópikus méretet is felvehet, ezt nevezzük *thallusnak* (tenyésztet, telep).

A legegyszerűbb gombáknál csupasz, sejtfa nélküli, sőt amőboid jellegű is lehet. A *chytrid* típusú telepeknél a telep nem oszlik micéliumokra, válaszfalak nem fejlődnek, hanem egyetlen sokmagvú (cönocitikus) óriássejtből áll. A *holokarp chytrid* zsákszerű sejt, függelékek nélkül, a megfelelő időben az egész sejt sporangiummá alakul át, melyen a



sporangiospórák kialakulnak. Az *eukarp chytridnek* csak egy része alakul át szaporítóképletté, s ilyenkor a telepből kinyúló elágazásokon fejlődnek a sporangiumok.

Egy ősi típusú, a Myxomycetes osztályra jellemző telep típus a *plazmódium*, melyben csupasz, sejtfal nélküli, amőboid képlet. Sokmagvú, de ezek a sejtmagvak diploidok, s egymással egyidőben osztódnak.

A fejlettebb gombáknál mindig van sejtfal, s a telep általában osztott, tagolt (szeptált, ld. korábbiak) hifákból áll.

b) **A sarjadzó gombák** kivétel nélkül egysejtűek, nevüket a szaporodási módjukról kapták. Alakjuk gömb, ovális vagy kihegyezett. Telepformájuk az előző csoporténál jóval egyszerűbb, a táptalajok felületén általában micéliumot sem fejleszt. Az ezeknél előforduló pseudomicélium a sarjadzás (bimbózás) után az anyasejttel együtt maradt leánysejtek által létrehozott, láncszerű képlet.

c) **A dimorf gombák** a hőmérséklettől függően fonalas vagy sarjadzó formák lehetnek. Az ide tartozó kevés faj 26°C-on fonalas, 37°C-on sarjadzó gombaként jelenik meg. Rendszertanilag a *Fungi imperfecti*hez (tökéletlenül ismert gombákhoz) tartoznak.

A gombák telepein képződhetnek spórák. Ezek sokfélék lehetnek, leírásukat ezért a rendszertani egységek elkülönítésénél érdekesebb megtenni. Keletkezhetnek ivaros és ivartalan úton, származhatnak mind vegetatív (mellékspóralakok), mind speciális spóratermelő sejtekből

(főspóralakok), szolgálhatják a szaporodást és a kitartást (kedvezőtlen viszonyok átvészelését), lehetnek csupaszok és sejtfallal körülvettek.

A spóráképződést (sporulációt) biotikus és abiotikus tényezők indítják meg. Ilyen tényező a tápanyagforrás kimerülése: táptalajon tenyésztett gombáknál gyakran megfigyelhető, hogy a telep közepén indul meg a spóráképződés, ahol a tápanyag hamarabb kifogyott. Ugyanígy a sporuláció erősen visszaszorul, amennyiben könnyen felvehető, jól hasznosítható, egyszerű tápanyagok vannak jelen nagy fölöslegben. Hasonlóan fontos tényező a hőmérséklet: a vegetatív növekedéshez általában optimális 20-25 °C hirtelen 10-15 °C-kal történő lecsökkenése többnyire a sporuláció megugrását idézi elő. A fénynél elmondható, hogy általában a sötét és fényes szakaszok váltakozása a legkedvezőbb. A sporulációhoz legkedvezőbb hullámhossztartománynak pedig a közel-ultraibolya fényé bizonyul. Az alacsony páratartalom serkenti, a magas pedig gátolja a spóráképződést, hiszen ezeknek megfelelően kedvezőtlenül ill. kedvezően növekedhetnek a vegetatív telepek. Fontos tényező még a szén-dioxid koncentráció, melynek 5%-os, a légköri normál koncentrációnál jóval magasabb értéke már gátolhatja sok gomba spóráképződését.

A kedvezőtlen körülmények között kifejlődött spórák, különösen a vastag falúak, erősen dehidratáltak, nyugalmi állapotba kerülnek. Ebben erősen korlátozott a sejtfal permeabilitása, a respiráció és az ATP-képződés. Újbóli aktiválódásuk, leválásuk akkor következik be, ha kedvező feltételek közé kerülnek, ilyenkor ezután azonnal csírázásnak indulnak, belőlük új telep fejlődik ki. A legjelentősebb aktiváló körülmények a hőmérséklet, víz- (pára-)tartalom.

A gombák klorofill hiányában szerves anyagot nem szintetizálnak, hanem lebontó, heterotróf szervezetek. Ez a heterotrófia kiterjed a növekedési anyagok felvételére is. A szükséges tápanyagokat, növekedési enzimeket mindig oldatból veszik fel, ún. kilotrófok. A táplálékként rendelkezésre álló, oldhatatlan makromolekulákat előbb a sejten kívül, extracelluláris enzimeik segítségével alkotóikra bontják.

A sejtfaalon még viszonylag nagy molekulák is ki-be tudnak közlekedni, ilyen nagyméretű molekulák maguk az extracelluláris enzimek. A citoplazmamembrán viszont már csak kisméretű molekulákat, legfeljebb diszacharidokat, 3-5 tagból álló polipeptideket enged át, aktív transzport révén.

A gombasejt a felvehető tápanyagok fajtái között kifejezetten differenciál, egyeseket előnyben részesít, míg másokat csak másodlagos tápanyagként fogad el. Az ilyen másodlagos tápanyagokat daraboló bontóenzimek és a velük együttműködő, a sejtfaalon és a sejtfaártyán való áthatolást lehetővé tevő enzimek (gyűjtőnéven **permeázok**) represszált (inaktívált) állapotba kerülnek, amennyiben a könnyen felvehető tápanyagok is rendelkezésre állnak. Ilyen elsődleges tápanyag a glükóz, míg másodlagos tápanyagként a glükóz monomerek kapcsolódásából felépülő cellulóz és keményítő a glükóz jelenlétében hátrányt szenved, csakúgy mint a sejtbe belépésüket elősegítő permeázok. A glükóz tehát a szénhidrát-anyagcsere enzimeinek legfőbb effektora. Emlékezzünk itt vissza a genetikánál elmondottakra: az effektor olyan szabályozó molekula, amely az enzim regulációs régiójához kapcsolódni képes, megváltoztatva ezzel annak aktivitását (alloszterikus gátlás vagy serkentés). A nitrogén anyagcserében ilyen effektor lehet az ammónium-ion, a glutamin vagy az aszparagin, a kén-anyagcserében pedig a cisztein és a metionin.

A gombák számára rendelkezésre álló tápanyagok közül legnagyobb mennyiségben a cellulóz található meg.

Ezt a  $\beta$ -1,4 kötésű, glükóz alegységekből álló, kristályos és amorf régiókat tartalmazó polimert a komplex celluláz enzimrendszer segítségével bontják le a gombák, melynek három fő komponense különíthető el: endo- $\beta$ -1,4-glükanázok, cellobiohidrolázok és  $\beta$ -glükozidázok. Ezek megosztva bontják a cellulóz amorf és kristályos részeit. További gyakori poliszacharidok a pektinek, hemicellulózok és a keményítő, melyeket pektinázok, xilanázok, mannanázok, stb. enzimek segítségével hasítanak felvehető monomerekre.

A lignin bontására eddigi ismereteink szerint csak a gombák képesek. Ezek fenil-propilalkohol polimerek.

Ezen anyagokat a gombák nem hidrolízissel, hanem oxidációval bontják (!!!!), és ez a bontás a gombáknak nem jelent sem szén-, sem energiaforrást!!! Bontása révén csak hozzá tudnak férni egyéb, könnyebben hasznosítható növényi sejtfal-alkotókhoz.

A nitrogént képesek mind szervesen, mind szerves vegyületekből felvenni, extracelluláris proteáz enzimeikkel.

Jellemzőjük még, hogy a legtöbb gomba ként, foszfort vagy egyéb mikro- és makroelemeket sem igényelnek szerves formából, képesek azt szervesen felvenni.

A biológiai degradáció leghatékonyabb elemeiként lehetnek szaprofiták, paraziták, nekrofiták és szimbionták.

A szaprofita gombák általában elhalt állati és növényi és állati részeken élnek, kiemelkedő szerepet az erdei talajokban töltenek be, a faanyag lignintartalmának bontásával. Nemcsak a lebontó tevékenységük fontos, mellette fontos fehérjéket, zsírokat szintetizálnak. Az erjedésiparban (szeszipar), gyógyszeriparban (antibiotikum), élelmiszeriparban betöltött szerepükről részletesebben fogunk szólni, de az élelmiszerek tárolása, szállítása közben jelentős kárt is okozhatnak.

A parazita gombák élő növényi és állati, emberi szervezetekben élnek, így pl. a növényi betegségek jelentős részét ők okozzák. A parazitizmusnak számos átmeneti formája van a szaprofitizmussal. Az ember és az állatok gombás betegségeinél megkülönböztetünk ún. dermato- (bőr, haj, szőr, köröm stb. betegségei) és szisztémás mikózist, utóbbi a belső szerveket (tüdő, központi idegrendszer, bélcsatorna, csontok) támadja meg.

A szimbionták magasabb rendű növényekkel (mikorrhiza) és állatokkal, alacsonyabb rendű növényekkel (moszatokkal) és állatokkal (ízeltlábúak) élnek együtt. Fő társult fajok a szil, tölgy, juhar, bükk, nyír, nyár, *Abies*-ek és *Pinus*-ok. Előfordulnak orchidea és kosborféléken, sőt a burgonya gyökerein is. A mikorrhiza-gombák N, P, K és Ca-tartalmú vegyületekkel látják el a társult növényt, és javítják annak vízellátását is. Növelhetik emellett pl. a növény gyökereinek toleranciáját a talaj nehézfém-tartalmával szemben, aminek rekultivációkban lehet kiemelkedő jelentősége.

### **A gombák szaporodása:**

Szaporodásuk lehet ivaros és/vagy ivartalan. A legegyszerűbb formájú egysejtű gombáknak az egész sejt átalakul szaporítóképletté, ezt nevezik holokarpikus szaporodásnak.

A fejlettebb gombáknál a vegetatív tenyésztést és a szaporítószervek létrejötte időben és térben élesen elváló fejlődési szakaszokra különül. Ilyenkor a tenyésztést egy részéből alakulnak ki a szaporítószervek, míg a másik része megmarad vegetatív formájában. Ez a forma az eukarpikus szaporodás nevet kapta.

A gombák szaporodási folyamatának eredménye a **spóra**, mely ivartalan úton, az anyasejtben redukciós osztódással (meiózissal) létrejött szaporítósejtet jelent.

A számtartó osztódással létrejött szaporítóképleteket (melyeket a baktériumoknál endospóráknak nevezünk) a gombáknál elkülönítve **konídiumoknak** hívjuk, mely lényegében nem is szaporodást, hanem fajfenntartást szolgál.

Az előzőekben elmondottaktól eltérően a gombáknál spóra alatt olyan, jellegzetesen kifejlődött sejtet vagy sejtcsoportot értünk, amely az anyasejttől elválik és új egyedé fejlődik.

### **A gombák ivartalan szaporodása:**

Legegyszerűbb fajtája a baktériumok osztódásához hasonló hasadás. Szétválhatnak a hifák sejtjeikre, elkülönülve új hifákat létrehozva. A sarjadzás (bimbózás) főleg a Saccharomyceseknél (élesztők) fordul elő. Ennek során az anyasejten egy bimbószerű képlet, az ún. blasztospóra jön létre, mely aztán leválva önálló életet kezd, vagy az anyasejten maradva pszeudomycéliumot hoz létre.

A gombák ivartalan szaporodása legelterjedtebb módon aszexuális spórákkal megy végbe. Az ivartalan úton létrejövő mellékspóraalakok létrejöhetnek speciális hifavégeken, a konídiumtartókban. Ezek az

ivarosan szaporodó gombáknál is előfordulhatnak, mindig megelőzve az ivaros fázist. Előfordulhat haploid és diploid életfázisban is!!! Az aszexuális spórák közé sorolhatóak a thallospórák, amelyek a hifán belül jönnek létre. Fajtái a gombafonál feldarabolódásával létrejövő arthrospórák és a hifafonalak széteséséből keletkező, vastag falú, gömb vagy tojásdad alakú nyugvósejtek. Ide sorolhatók az üszögspórák, uredo- és teleutospórák is.

A spórák tehát vagy a hifákról, vagy meghatározott spóratartókról származnak. Utóbbi esetben a spóráképző sejteket sporangiumoknak, a sporangiumtartókban keletkezett sejteket pedig aszerint, hogy azok csupaszok és mozognak, rajzó- vagy zoospóráknak, míg ha sejtfallal rendelkeznek és mozdulatlanok, sporangiospóráknak (aplanospóra) nevezzük.

A magasabb rendű gombák konídiumtartói, ill. az azokat képző hifák sokszor **speciális termőképleteket** hoznak létre. A konídiumtartók csokros, oszlopszerű tömörülése a koremium. A hifák többé-kevésbé tömör hifaszövedéke, amelyeken vagy amelyekben szaporítóképletek jönnek létre, a sztrómák. A piknídiumok zárt vagy nyílással ellátott szaporítóképletek, bennük a piknidióspórák jönnek létre. Velük azonos felépítésűek a rozsdagombák spermogóniumai, melyekben az egyenként mindig csak az egyik nemet képviselő, ivaros jellegű spermáciumok jönnek létre.

A felsorolt spóraformák az Ascomycetes haploid és a Basidiomycetes diploid életszakaszában fejlődnek ki, s izolált spóratartókban, telepekben vagy termőtestekben képződnek.

### **A gombák ivaros szaporodása:**

A szexuális folyamatok eredményeként főspóraalakok jönnek létre. Mindig két ivarsejt egyesülése következtében jönnek létre a különböző spórák. Ez utóbbi lépést vagy megelőzi a megtermékenyítés, és megjelenése ekkor a dikariotikus fázis elejére tehető, vagy a másik lehetőség szerint a redukció közvetlenül a sporangiumokban megtörténik, és a spórák megjelenése csak a dikariofázis végén következik be. A keletkező spórák száma a redukciós osztódás következtében 8 vagy 4 lehet, a biológiailag kedvezőtlenebb időszak átvészelésére szolgálóan.

Az ivaros folyamat az ősbibb nyálkagombáknál még két mozgó, a szaporítóképletekről levált ivarsejt egyesülésével történik, ezt hívják **gametogámiának**. A magasabb rendű gombáknál már maguk az ivarszervek, a legfejlettebbeknél csak a hifavégek egyesülnek, ezzel biztosabb lehetőségét megteremtve az ivarsejtek egyesülésének. Ez a **gametangiogámia**. Egyes gombacsoportoknál ez a módszer odáig fejlődött, hogy maguk a gaméták már hiányoznak, csak az ivarszervek vagy pedig a közönséges testi (szomatikus) sejtek -sarlsejtek, hifák- egyesülnek egymással. Ezt a folyamatot **szomatogámiának** hívjuk.

Csak az érdekesség kedvéért mutatjuk be a gombák ivari folyamatainak sokrétűségét vázoló alábbi felsorolást:

A gombák ivaros szaporodásánál létrejövő spórák sokféle alakja a növénytan megfelelő fejezeteiben már ismertetésre került, itt újbóli tárgyalásuk nem indokolt.



A gombák ivaros folyamatait két fő szakaszra oszthatjuk, a megtermékenyítésre és a redukciós osztódásra.

- a) A megtermékenyítés során két haploid sejt vagy sejtek tartalma (esetleg az egyik sejtmag a másik sejtmaggal) egyesül. A folyamat két szakaszban megy végbe, elsőként a két plazma egyesül (plazmogámia), majd a sejtmagvak egyesülnek (kariogámia).

Ay alacsonyabb rendű gombáknál a két lépés közvetlenül követi egymást, míg a magasabb rendűeknél idő- és térbeli elkülönülés van, a két folyamat között magpáros (dikariotikus) micélium fejlődik ki.

- b) A redukciós osztódás során a kariogámiával kialakult diploid sejt redukciós osztódásával 4 db haploid spórasedjt (meiospóra) keletkezik. A legjelentősebb ilyen spóraalakok a zoospórák és az aplanospórák.

A fő ivaros szaporodási módok legtöbb esetben a sajátos termőtestek kialakulásával kapcsolatosak. A gombák genetikai információjának cserélődését ezen ivaros folyamatokon kívül még a heterokariózis és a parasexualitás folyamatai biztosítják. Előbbieknél a vegetatív hifasejtek és az ivartalan szaporítósejtek nem egy, hanem több, genetikailag eltérő tulajdonságot hordozó sejtmagot tartalmaznak. Utóbbiak körébe azon jelenségek tartoznak, amelyek a jellegzetes ivari folyamatokkal (pl. plazmogámia, kariogámia, redukciós osztódás) egyenértékűek, de nem a tenyésztést meghatározott pontján, képletében játszódnak le.

A gombák ivartalan és ivaros szaporodásában keletkező spórafajták morfológiai sokrétűségét mutatja be (főleg az ínyencek kedvéért) a következő fólia:

### **A gombák rendszerezése:**

A gombafajokat is kettős tudományos (legtöbbször latin, de sokszor görög) névvel látták el, hasonlóan a baktérium-, növény- és állatfajokhoz. Ezek közül első a nemzetségnév, második a fajnév. Az elnevezés módját a Nemzetközi Botanikai Nomenklatúra Szabályok írják le, vagyis növényteni szempontok, főleg alaktani bélyegek a rendszerezés alapja. Ez a gombák nagy száma, a fajok ivaros alakjainak sokrétűsége miatt sok bonyodalmat okoz. Nem ritkák a szinoním nevek egy-ugyanazon fajra, de előfordulnak ún. homoním nevek is, amikor kétféle gombafajt neveztek el ugyanúgy.

Magyarországon korábban Soó Rezső és Ubrizsy Géza botanikusok 1953 publikált rendszertani felosztása volt elfogadott, mely rendszerben a gombák két törzsre (Nyálkagombák és Valódi gombák), azokon belül összesen 5 osztályra voltak felosztva.

Ezt a rendszert később felváltotta az Ubrizsy-Vörös Mezőgazdasági mikológia c. könyvében 1968-ban közölt gombarendszertan, majd 1985-ben Bánhegyi és munkatársai közlésében egy újabb rendszerezés látott napvilágot.

Az általunk ajánlott jegyzetben (Hornok László) Griffin 1994-ben közölt felosztása szerepel. Ő a gombák regnumát 3 divízióra, 11 osztályra és 8 alosztályra osztotta.

## **A gombák rendszertani egységeinek rövid áttekintése és jellemzése:**

### I. Divízió – Gymnomycota (Nyálkagombák törzse)

Amőboid mozgásra képesek, asszimilációs életszakaszukban nincsen sejtfaik, s nem csak kilotróf módon (oldott anyagként) képesek felvenni a táplálékot, hanem az amőbákra jellemző bekebelezéssel is. A protozoáktól őket elkülönítő, gombákra jellemző tulajdonságuk a spóratartók és sejtfallal bíró spórák termelése.

Három osztályt sorolunk ide. Különösebb gyakorlati jelentőségük nincs.

### II. Divízió – Oomycota (Oospóras gombák törzse)

Rendszertanilag eléggé távol állnak a többi gomba-divízió fajaitól. Ivartalan ciklusukban mozgékony zoospórákat termelnek. Vegetatív telepük egysejtű, cönocitikus (egyetlen sokmagvú sejt), gyakran elágazó, jól fejlett micélium, melyben válaszfal csak a szaporítóképletek lefűződése helyén alakul ki. Egész életciklusukban diploidok, ivarsejtjeik képződését azonban számfelező osztódás (meiózis) előzi meg.

Két osztályt sorolunk ide.

### III: Divízió – Eumycota (Valódi gombák törzse)

Többségükre jellemző, hogy hifákból álló micéliumuk vagy sarjsejtekből képződött telepük van, és mozgó, ostoros spórával nem rendelkeznek. Minden képviselőjüknek van sejtfa, mely mindig tartalmaz kitint, cellulóz viszont egyáltalán nincs benne, ezzel teljesen elkülönülve fejlődéstanilag a növényektől. Spóráképzésüknek számos formája lehetséges. Ivaros szaporodásuk a hifák egyesülésével, szomatogámiával megy végbe. A gombák fajainak legtöbbször ezen törzsbe tartozik.

Hat osztályba soroljuk őket, melyek közül néhányat itt is tárgyalunk.

- *Ascomycetes* osztály (Tömlősgombák): Egyes becslések szerint az összes létező, mintegy 200.000 gombafaj kétharmada ezen osztályba tartozik. Közös jellemzőjük, hogy ivaros spóráik, az aszkospórák speciális tömlőszerű képződményekben, az aszkuszokban keletkeznek, meiózist, majd egy vagy két mitotikus osztódást követően. Elsősorban a termőtestképzésben jelentkező nagy eltérések alapján három alosztályát különítik el.

- A **Hemiascomycetidae** alosztály fajainak nincs micéliumalkotta termőtestük, aszkuszaik csupaszok, élesztősejtek vagy hifaszakaszok differenciálódásával keletkeznek. Lehetnek teljesen diploidok vagy teljesen haploidok (a zigóta ilyenkor azonnal meiózissal osztódik) és egyes fajoknál a vegetatív állapotban váltakozva lehetnek haploidok és diploidok. Főleg sarjadzással szaporodnak. Jelentős részük szaprofita, többségük erősen alkalmazkodott a környezetéhez (pl. a rovarok bélcsatornájához).

Ebbe az osztályba sok fontos gomba tartozik, legismertebb a *Saccharomyces cerevisiae* élesztőgomba.

Tésztafélék kelesztésére, alkoholos italok erjesztésére, vitaminok előállítására széleskörűen alkalmazzák, emellett genetikai kísérletek fontos alanya. Az élesztősejtek alakja általában gömb és ovális.

A sejt a sejtfalra, a zárványokkal rendelkező protoplazmára és a sejtmagra különül.

Az élesztőgombák többségének vegetatív tenyésztése egyetlen sejt, amely sarjadzással szaporodik. Az ivartalan szaporodáskor a sarjak az anyasejt bármely részén (multipolárisan) vagy csak a

sejt két végén (bipolárisan) eredhetnek. Ennek megfelelően a vegetatív alakok sokfélék lehetnek:

Sarjadzás után a sejtek együtt is maradhatnak, így jön létre a már említett pszeudomicélium. Ezen álmicélium sejtjei gyakran differenciálódhatnak, róluk kerekded sejtek, (blasztospórák) sarjadzhatnak le.

Az élesztőgombák között megkülönböztethetünk vad- és kultúrélesztőket. A **kultúrélesztők** a szőlő- és gyümölcsnemesítéssel, az élelmiszerek azonos elkészítésével tenyésztődtek ki anélkül, hogy az embernek korábban bővebb ismeretei lettek volna az élesztőkről.

Az élesztőket a cukorforrással szembeni igényük alapján is csoportosíthatják, gyakorlati szempontból pedig alsó- és felső erjesztőkre osztják. Az **alsó erjesztésű** élesztők sejtjei fehérjékben gazdagabbak, így nehezebbek és ezért az erjesztendő folyadék aljára süllyednek. Vadon nem fordulnak elő, és alacsony alkohol%-ra erjesztenek. A hazai sörgyártásban ilyen élesztőket használnak fel. A **felső erjesztésű** élesztők az erjesztendő folyadék felső részében lebegnek és magasabb alkohol%-ot erjesztenek.

- **Euscomycetidae** **alosztály** (Valódi, termőtestes tömlősgombák): Legjellemzőbb tulajdonságuk, hogy az ivaros szaporodás eredményeképpen azkusz jön létre. Ezen csoportban már szabályos keresztfala van a hifáknak, amelyek egy- vagy soksejtmagvú részekre tagolják azokat. Ivartalan szaporodásuk konídiumokkal történik. Az ivaros folyamatok fő jellemzője a tömlőképzés, amely főleg a genetikai anyag rekombinációját szolgálja. Előfordulásuk elég általános, vannak szaprofita,

növény-, állat- és emberparazita és szimbionta fajaik is. Telepük haploid hifákból álló micélium, sejtfaluk kitint tartalmaz.

Az askospórák általában lencse alakúak, rajtuk egyenlítői síkban kiemelkedő barázdával.

A gömbölyű vagy ovális askusokban egy vagy két számtartó osztódással 4-8 haploid sejtmag jön létre.

A konídiumos alakjuk az elterjedt, a legtöbb fajnál az askuszos alak nem is ismert.

- *Basidiomycetes* osztály (Bazídiumos gombák): Ezek a legfejlettebb gombák. Micéliumuk minden esetben sejtfallal tagolt, ivaros szaporodásuk bazídiumokkal történik, mely képletek a hifavégeken képződnek, bennük játszódik le a kariogámia, majd a meiózis. A legtöbb ide tartozó fajra jellemző a makroszkópikus méretű kalap és a hozzá központosan illeszkedő, tönkből álló termőtest. Sejtfaluk szintén kitint tartalmaz. Gazdaságilag nagyon fontos ide tartozó fajok a rozsdagombák, amelyek a gazdanövényen kifejlődött rozsdás küllemű spóratelepek után kapták nevüket, valamint az üszöggombák, melyek szintén magasabb rendű növények parazitái.

- *Deuteromycetes* osztály (Konídiumos gombák): Igen sok gombánál gyakran nem lelhető fel az ivaros forma, csak az imperfekt (ivartalan) alak azonosítható be: ezeket a gombafajokat ide sorolják. Ezért van az, hogy ezen osztály fajainak kb 90%-ánál az ivaros fejlődésmenet követi a tömlősgombák fejlődésmenetét, a maradék pedig a bazídiumos gombákét.

Általánosan harántfalakkal osztott, vegetatív tenyésztetű gombák, csaknem mindig haploid genommal. Az elenyészően csekély számú diploid forma sem szabályos ivaros folyamat eredménye. Legfőbb közös jellemző a konídiummal történő, ivartalan szaporodás. Ezen sejtekből lefűződés után csíráznak aztán ki az új hifák. A képződő konídiumok nem mindig válnak le azonnal, együtt maradva jellegzetes láncokat, fejecskéket, fürtöket alkothatnak.

Több humán- és növénypatogén faj, sok allergiás tünetekért, élelmiszer és takarmányeredetű toxikózisért felelős penészféleség, és egy a humánegészségügyben kiemelt jelentőségű faj, a *Candida albicans* élesztőgomba tartozik ide.

## Algológia

Az algákat rendszertanilag először Linné (1754) különítette el: ő a növényeket 25 osztályba sorolta, ezen belül egy osztályt képeztek a virág nélküli növények, melynek 4 csoportját; az algákat, gombákat, mohákat és páfrányokat írta le.

**Az algák egy- vagy többsejtű, fotoszintézisre képes eukarióta szervezetek.** Nagyságuk a  $\mu\text{m}$ -es tartománytól a 200-300 m-es óriási tengeri algákéig terjed, így a világ legkisebb és legnagyobb fotoszintetizáló szervezetei ide sorolhatók. Lehetnek egysejtűek, alkothatnak laza telepeket, vagy sejtjeik szövetekhez hasonló szerveződést mutatnak, így szárszerű, levélszerű képződményeik lehetnek. Szaporodásuk haploid ivarsejtekkel, az ún. gamétákkal történik. Egysejtű algáknál lehet maga az algasejt is a gaméta, míg a soksejtűek egy részénél azok a gametangiumokban képződnek.

Az algák a növényvilág legváltozatosabb tagjai. A legegyszerűbb felépítésűek a baktériumokkal mutatnak közeli rokonságot. Nem véletlenül hívják újabban a kékalgákat cianobaktériumoknak. A legbonyolultabb Charophyceae fajok ránézésre hasonlítanak a hinarakhoz. Túlnyomó többségük fotoszintetizál, ezzel döntő jelentőségűek a vizek elsődleges biomassza-termelésében, a vízben zajló oxigéntermelésben, természetes tisztulási folyamatokban. Egy részük heterotróf táplálkozásra is képes (még a valódi zöld algák között is akadnak olyanok, melyek bizonyos életfázisukban állati táplálkozásúak), így fontos alanyai a zoológiai-rendszertani kutatásoknak.

A legszélsőségesebb körülmények között fordulhatnak elő édes és sós vízben, hőforrásokban és hó-, jégfelszíneken. A talajban is nagy



mennyiségben megtalálhatóak, annak felső 1-2 cm-ében, sziklákon, még kőzetek belsejében is, a sivatagoktól az Antarktiszig. A vizekben 100-150 m mélységig élnek, ahova a fénynek már csak kb. 1 %-a jut le. Ezt kiegészítő pigmentjeikkel képesek hasznosítani. A korábbi Szovjetúnióban mintegy 1500 talajban élő algafajt határoztak meg. Ottani kísérletekben kimutatták, hogy pl. egy erdőtűz után egy fenyőerdőben, ezen élőlények jelentek meg elsőként újra. Képesek még arra is, hogy ne csak térben, hanem időben is beosszák az életterüket, fényt, ásványi anyagokat!!!

Jelentőségüket óriási bolygónk légkörének O<sub>2</sub>-termelésében, annak kb. 2/3-át ők termelik meg!!!

Taxonómiai besorolásuk során kiemelt jelentőségű bélyegnek tekintendő a sejtfal, ill. a fotoszintetikus pigmentek összetétele.

Az algák között van néhány gazdasági szempontból fontos faj, mint például azok a Gelidium- és Gracilaria-nemzetségbe tartozó vörösmoszatok, amelyekből az agart nyerik. Veszélyes szervezetekkel is találkozhatunk. A barázdás moszatok közé sorolt Gonyaulax nevű alga egy, a gerincesek idegrendszerére ható mérget termel, ami a környező vizekben élő kagylókban felhalmozódik. Ezeket a puhatestűeket elfogyasztva súlyos betegség alakulhat ki emberben is.

Vízi élőhelyekben betöltött fontos szerepükkel, ill. a vízminőség jellemzésére történő felhasználásukkal a gyakorlati órák keretében fogunk foglalkozni.

## Protistológia

A protozoákkal a protozoológia, vagy más néven protistológia tudományága foglalkozik, amely mintegy 200 évvel ezelőtt fejlődött ki. A protistológia vizsgálódási köre hagyományosan az egysejtű algákra és protozoonokra terjed ki. Ez az *egysejtűek tana*. A protozoa szó a német "Urtiere" szó lefordítása görögre. Régen túl sokmindent soroltak ide, nem volt egy jól körülhatárolt előlénycsoport. 1870-ben Heckel választja el a protozoákat a növényektől és állatoktól fogalmilag. Ekkora már egyértelműen körvonalazódott, hogy **eukarióta, egysejtű, állandóan vagy időszakosan heterotróf életmódú élőlényeket sorolnak ide.**

Vannak tartósan (*Volvox*) vagy ideiglenesen sejtkolóniát alkotó egysejtűek, utóbbiak között van, ahol a kolónia alkalomszerűen, a táplálék közös emésztésére jön létre (egyes *Heliozoa*), máshol az életmenet bizonyos szakasza során plazmódium vagy többsejtes állapot jön létre (*Myxozoa*).

A kezdeti rendszerbe sorolások még nem voltak helytállóak, először csak *morfológiájuk* alapján történik meg. Az 1950-es évektől kladisztikus módszereken alapuló rendszertani iskolák kezdtek működni:

- 1.) biológiai faj fogalma: reprodukciós izolálás alapján,
- 2.) filogenetika: leszármazási csoportok, vagy monofiletikus csoportok (egyetlen közös őssejtől való származást keresik a leszármazott bélyegek alapján). Ez azért nagyon helytelen, mert pl. az emberi hímvarsejtnek is van ostora, s mégsem sorolható egy csoportba az ostoros egysejtűekkel.

Mára már kb. 60.000 egysejtűt írtak le, a rendszerük nagyon nehezen tekinthető át. Nálunk az 1998- as Cavalier-Smith féle rendszertant fogadják el. E szerint a protozoák birodalmába sorolható élőlények nem egyetlen közös ős leszármazottai, azaz *polifiletikus* jellegűek. Ezt látszik megerősíteni az is, hogy az újabb vizsgálatok eredményeként a *Myxozoa* csoportot az **Animalia** országba (csalánzók távoli rokonsága) sorolják, mert az egysejtű állapot feltételezhetően redukció következménye, vagy a *Microspora* és *Opalinata* csoportokat molekuláris bélyegek alapján a **Fungi** ill. **Chromista** országba. A modern vizsgálati módszerek alkalmazásával egyre több rokonsági kapcsolatra derül fény, ami az egysejtű rendszer állandó gyökeres átalakulását eredményezi.

Az egysejtűek rendszerezésének alapjai: Az 1960-as évektől összefoglalóan citológiai sajátosságok alapján történt a rendszerezés:

Ultrastruktúra vizsgálatok:

- mitokondrium kriszták (tubuláris, csöves vagy elágazó, v. lemezes...)
- ostor felületén pillák, pikkelyek vagy más felületi képződmények
- az ostor – csilló és az alapi test felé átmenet alakulása
- a bazális testek és a velük kapcsolatos mikrotubuláris struktúrák
- mikrotubulusok és a sejtvázas egyéb elemeinek az elrendeződése
- a különféle sejt felszíni struktúrák, vázák eredete, szerkezete

- mikrotubulus organizáló centrum (pl. centriólum) jelenléte, természete
- sejtmagok száma, tulajdonságai
- a sejtmaghártya és a magorsó viselkedése osztódás során
- speciális organellek.

Molekuláris biológiai vizsgálatok:

- törzsfák készítése nukleinsavak (pl. SSU-rRNS és fehérjék (pl.  $\alpha$ - és  $\beta$ -tubulin, hsp70 dajkafehérje) alapján. A mai összehasonlító DNS-RNS ill. fehérje-szekvenciavizsgálatok alapja az, hogy az egyes fehérjék ill. nukleinsavak szerkezetében a generációk során eltérések jelennek meg. Ezek mértéke időarányos: minél korábban különült el két fejlődési vonal, annál nagyobb eltérés tapasztalható.

### **A protista sejt felépítése:**

Az eukarióta sejt általános felépítését a gombáknál fogjuk részleteiben tárgyalni, itt csak a csoportra jellemző sajátosságokat emeljük ki.

Az édesvízi egysejtűeknél a sejt alakjának megtartásában játszanak szerepet:

- sejthártya intracelluláris oldala mentén elhelyezkedő sejtvázelemek (aktin és mikrotubulusok) (a citoplazmának ez a része a cortex vagy ektoplazma).

- lüktető üröcske komplex az édesvízi egysejtűeknél a fölösleges vizet pumpálja ki a sejtből; ok: az édesvízi egysejtűek citoplazmája komplex kémiai összetétele miatt hiperozmotikus a közeghez képest, a sejthártya pedig a vizet féligáteresztő membránként átereszt, így a lüktető üröcske komplex működése nélkül ozmotikus egyensúlyi állapot felé haladva folyamatosan duzzadna, majd kipukkadna a sejt, ezt akadályozza meg a lüktető üröcske komplex; ha egy egysejtű elpusztul, a lüktető üröcske komplex működése leáll, a sejt hamarosan szétpukkad a beáramló víztől, ezért a természetben elpusztult egysejtűeket nemigen lehet látni; tengeri és endobionta fajoknál nincs.
- sejthártya alatti membránrendszerek (pl. Alveolata: dinozoa, spórások, csillósok alveolusai).
- perilemma: egyes csillósoknál a sejthártyán kívül elhelyezkedő membránréteg (Stylonychia, egyes tintinnidák), szerepe ismeretlen.
- extracelluláris elhelyezkedésű pikkelyek, lemezek (pl. egyes amőbák: Cochliopodium fajok, egyes napállatkák: Heterophrys).
- extracelluláris vázak: theca, testa, lorica; *theca*: közvetlenül a sejt felszínén húzódik, akárcsak a növények sejtfala (pl. dinoflagelláták); a többi struktúra közös vonása, hogy lazábban kötődnek a sejthez; *testa*: védőtokot képez a sejt körül, roppant változatos formái léteznek, alapanyaga pszeudokitin, gyakran nagymértékben épülnek bele mészsók vagy kova (pl. foraminiferák, házas amőbák, radioláriák); *lorica*: többnyire nagyjából hengeralakú, kitinszerű alapanyagból áll, kismértékben homokszemcsék is beleépülhetnek, fő különbség a testával

szemben, hogy a sejt a lorícán belül szabadon mozoghat ( csillósok: tintinnidák, egyes szájkoszorús csillósok).

A protozoák sejtmagja legalább egy darabból áll, de lehet több is (egyes radioláriák, napállatkák stb.), lehet magdimorfizmus (csillósok), nemzedékváltóknál lehetséges magdimorfizmus és egymagvúság váltakozása (egyes foraminiferáknál). Találtak eltéréseket az univerzális genetikai kódtól: az univerzális stop kodonok TAA és TAG egyes csillósoknál glutamint kódolnak, itt a stop kodon TGA;

Golgi-készülékük változatos alakulású: van, ahol hiányzik (*Diplomonadea*, *Pelomyxa*), eukarióták közül itt van a legkevesebb ciszterna 1-2: *Microsporidia*, *Tetrahymena* vegetatív életszakaszából, legtöbb (>30) a *Trichonympha* nevű *Hypermastigida* ostorosban (parabazális test). Benne készülnek pl. a sejt felszínére szánt saját készítésű extracelluláris vázelemek.

Mitokondriumok: kriszták típusai többfélék lehetnek: csöves (tubuláris), lemezes (diszkoidális), vezikuláris, lapított; számuk 0-1-sok ezer között változhat. Vannak elsődlegesen mitokondrium nélküli egysejtűek, ezek anaerob környezetben élnek. A kinetoplastosoknál (*Trypanosoma* stb.) egyetlen, óriási mitokondrium van.

Plasztiszok: heterotróf egysejtűekben vagy endoszimbionta partnerben (pl. csillósok közül: *Mesodinium rubrum*ban a *Cryptomonadina* alga az endoszimbionta), vagy autotrófról heterotróf életmódra áttért egysejtűekben (pl. spórások közül *Plasmodium*, *Toxoplasma* apicoplastja).

Peroxiszómák: katalázt tartalmaznak, amely a keletkező hidrogénperoxidot bontja:  $\text{H}_2\text{O}_2 \Rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ .

Hidrogenoszómák: ma alfa-proteobaktériumokból kialakult *pro-mitokondriumok származékának tartják*. Létezik egységmembránnal határolt (Trichomonadina) és kettős membránnal határolt változata (egyes anaerob csillósoknál), amelyek egymástól független módon alakultak ki, a bennük lezajló oxidatív reakciósorban a végső elektronakceptor nem oxigén, hanem protonok, így molekuláris hidrogén keletkezik (tovább alakíthatják intracelluláris szimbióta metanogén baktériumok metánná).

Acidokalciszóma: (korábban: volutin szemcséknek nevezték őket) membránnal határolt vakuóla, benne savas kémhatású, elektrondenz anyag, a membránban vakuoláris típusú ATP-áz: proton felvétel,  $\text{H}^+/\text{Ca}^{2+}$  transzportáló ATP-áz:  $\text{Ca}^{2+}$  felvétel, növényi típusú proton pumpáló pirofoszfataz; kimutatták belsejében a  $\text{Ca}^{2+}$  jelenlétét (immuncitokémia: K-piroantimoniát, ELMI); Trypanosoma cruzi, Leishmania mexicana, Toxoplasma gondii; szerepe: gazdaváltó egysejtűekben találták, feltételezhetően az eltérő környezeti viszonyokhoz történő alkalmazkodást szolgálják (T. cruzi: legnagyobb számban: amastigotában, legnagyobb térfogatban: epimastigotában).

Lizoszómák: a sejt emésztőfunkcióinak ellátására specializálódott sejtorganelumai. Változatos alakúak, a citoplazmában szétszórva található meg. Belsejükben degradáló enzimek, savas hidrolázok találhatóak. Az itt uralkodó alacsony pH-t protontranszportáló ATPáz molekulák tartják fenn.

Rezervoszóma: Trypanosomatidákban található, pre-lizoszomális kompartment, a flagelláris zsebnél és a sejtszájnál keletkezik, pH-ja

savas, főként a sejt kaudális végében helyezkedik el, endocitotikus vezikulák fúziójával jön létre, belsejében fehérjéket tárol, tartalmaz egy enzimet, cruzipain, amely a *T. cruziban* (álomkór ostoros) található legfontosabb Cys-proteináz.

Glikoszóma: a glikolízis glükóz -glicerinaldehid-3-foszfát szakasza (első hét lépés) egy membránnal határolt mikrottestben, a glikoszómában játszódik le a *Trypanosomatidáknál*, cecelégnyben: működő mitokondrium, az első 6 enzim a glikoszómában, a GAP-kináz pedig a citoszolban található; emberben mind a hét a glikoszómában: ok: ATP keletkezés mindkét helyen shunt-öt indítana, a glikoszómában nem tudna végigmenni a folyamat, plussz nem tudna megtörténni a glükóz első (ATP-igényes) foszforilációja; szerep: fokozott anyagcsere, energia termelés.

Extruszómák: membránnal határolt testek, a sejthártya alatt helyezkednek el többedmagukkal, meghatározott ingerre tartalmuk exocitózissal ürül a sejtéből, miközben jellegzetes változáson megy át, hatásuk különböző lehet, számos fajtájuk ismeretes (trichociszta, toxiciszta, haptociszta, kinetociszta, mukociszta.)

Endoszimbionta elmélet: A fent ismertetett kompartmentáció (eukarióta sejt) kialakulásának elfogadott magyarázata. *Elsődleges endoszimbiózis*: eukarióta sejt kialakulásához kapcsolódó események (sejtmag, mitokondrium, plasztisz "megszerzése"); *Másodlagos endoszimbiózis*: eukarióta sejt által egy másik eukarióta sejt bekebelezése. Pl. Euglenozoa színtestek (ősi, heterotróf Euglenozoa által bekebelezett zöldmoszat, összesen 3 membrán: plasztisz, sejtmaghártya (vagy RER), vakuólum), vagy pl. Apicomplexa (spórás egysejtűek): ősi, heterotróf Apicomplexa által bekebelezett zöldmoszat, összesen 4 membrán.



Először tehát valamilyen aerob anyagcseréjű prokarióta sejtek kerültek az ősi anaerob eukariótákba, s a két sejt között szimbiózis alakult ki. Innen származik a mitokondrium, amivel már képes volt oxidatív foszforilációra (ATP-szintézisre) az elsődleges szimbionta.

Második szimbiotikus lépésként a *cyanobaktériumok* bekebelezésére került sor, így a színtest és a mitokondrium is rendelkezésre álltak már, a másodlagos szimbiontában.

A következő nagy evolúciós ugrás a soksejtűség kialakulása volt, de ez már nem a protozoák tárgykörébe tartozik.

Példák a protozoákra:

- papucsállatka, mely csillókkal mozog, állábakat fejleszt.
- Legtöbbjük ártalmatlan, akadnak azonban kórokozók is, mint pl. a maláriás tüneteket kiváltó *Plasmodium* fajok.
- *Hexamiták*: halaknál lyuk a fejben betegséget okoznak,
- *Oxymonadea*: fával táplálkozó rovarok (termeszek, csótányok) szimbiontái, cellulózt és talán lignint is bontanak. Termeszek üregeiben ezek a *Spirocheta*-k acetátot termelnek,
- *Trichomonas* sp.: emberi urogenitális rendszerben, szarvasmarhák elhullását okozza,
- *Radiozoa* (sugárállatkák) és *Heliozoa* (napállatkák): extruszómáik vannak, tartalmát sejten kívülre ürítve bénítják áldozataikat,

- *Phytomyxa*; *Plasmodiophora brassicae*: káposzta gyökérgolyvát okoz
- *Foraminifera*=likacsoshéjúak: tengerekben mészvázai felhalmozódnak. A geológiában mint fuzulinás, numuliteszes mészkő játszik fontos szerepet, pl. kőolajlelőhelyek feltárásánál. A hazánkban „Szent-László pénze” néven ismert fosszilis foraminifera is ide tartozik. A planktoni foraminiferák Mg/Ca aránya hőmérsékletfüggő, ebből korábbi korok klímájára vonnak le következtetéseket. A planktoni foraminiferák mészvázának radioaktív bórizotóptartalma alapján megmondható az óceán pH-ja az adott korban, mélységben ( $\text{HCO}_3^-$ -tartalom a vízben összefüggött a levegő  $\text{CO}_2$ -koncentrációjával).
- A maláriás tüneteket kiváltó *Plasmodium* fajok a legveszélyesebb kórokozók az emberre nézve.
- Az *Amoebozoa* törzsbe tartozik sok olyan amőba, amely a természetben gyakori, számos gerinces állat parazitájaként.
- *Entamoeba gingivalis*: az emberi szájüregben, gennyes, ínygyulladásos fogak tövéénél találjuk, ahol kemény fogkő képződik. A fogkő mentén ugyanis ezek az amőbák behatolnak a fog és az íny közé, ott leukocitákat fogyasztanak, feloldják a fogcementet, ami a fogat a fogmederbe rögzíti. Ennek következtében a fog kihullik. Becslések szerint a felnőtt fogvesztések 50%-ért felelős!!!
- *Entamoeba histolytica*: emberre 2. legveszélyesebb protozoa (malária kórokozója után)!!! Évente mintegy 35-40 millió embernél lép fel, s 40-100ezer halálozást okoz. Fekáliával

szennyezett ivóvízben, élelmiszerben terjed. A bélcsatorna falát támadja, abban okoz vérzéseket, gennyesedéseket, véres székletet, fogyást, gyengeséget. Később eljut a májba, ott gyulladást okoz, majd halált. Felnőtt férfiakban 10x gyakoribb, mint nőkben.

- *Naegleria gruberi*: uszodákban találja meg optimális növekedési körülményeit, 25°C-os hőmérsékletnél. Patogenitása miatt erre a szűrés fontos.
- *Euglenozoa*: szemes ostorosok.
- *Tripanosomatidae*: álomkór ostorosok. Két fő formája van. Az enyhébb Közép- és Ny-Afrikában, a súlyosabb betegséget okozó D-Afrikában. A betegség tünetei: nyirokcsomóduzzاناتok, ödémák, agyhártya duzzاناتok, aluszékonyság, halál. Cecelégyszerjeszti.
- *Leishmania* sp.: szintén humánpatogén. (Kala-azar kór, zsigeri leishmanniózis, AIDS-eseknél gyorsítja a betegség eluralkodását). Kb. 22 fajuk, 90 országban okoz súlyos betegségeket, kb. 15 millió ember fertőzött, kb. évente 2 millió új fertőzéssel.
- *Trichostomatia*-k: szélsőségesen specializálódott élőlények. Csak patások belében élnek, szimbionta cellulózbontó baktériumokkal együtt.
- A csillós egysejtűek (*Ciliophora* törzs) tagjainak gyakorlati jelentősége is nagy. A vízminősítésben alkalmazhatók trofitás, szaprobitás meghatározására. A Bajor Vízügyi Hatóság-nak van egy kiadványa „A szennyvíztisztítás szakaszai a protozoák

előfordulása alapján” címmel. A szennyvízben ugyanis az első egysejtűek, amelyek megjelennek, az ostorosok! Utánuk a baktériumokból és a detritusból ha már flekkek keletkeznek, felváltják ezeket a szabadon úszó csillósok. Ahogy még több baktérium jelenik meg, követik őket a szájkoszorús, szesszilis (aljazathoz, vmilyen felszínhez rögzült) csillósok