

## 2. Mikrobiológiai alapok

A biotechnológiai eljárásoknál sokféle élőlényt használnak fel, de az esetek több mint kilencven százalékában mikroorganizmusokkal dolgoznak. A maradékba tartoznak a génmanipulált növények, a génmanipulált állatok. A mikroorganizmusok anyagcseréjében a legalapvetőbb folyamatok azonosak, de alaktanilag és szaporodásukat tekintve több változatot különböztethetünk meg.

A mikroorganizmusok nevük előtagját onnan kapták, hogy nagyon kis méretűek, szabad szemmel nem láthatók. A mikrobákat fény- vagy elektronmikroszkóppal tudjuk vizsgálni. Az átlagember számára az első kérdés az, hogy mekkora egy baktérium. A köznyelvben sokszor használják azt a kifejezést, hogy „tűhegynyi”, amit az emberi szem még éppen észlelni tud (pl. egy tűhegy által ütött lyukat.)



1. ábra: A mikroorganizmusok méretének szemléltetése

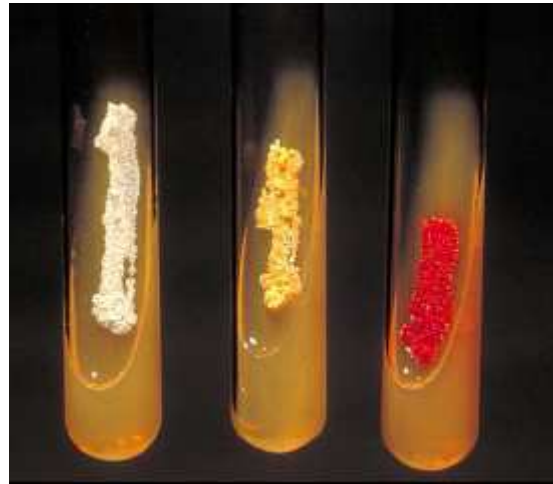
A ábrán egy tű hegyének elektronmikroszkópos felvételét láthatjuk különböző nagyításokban. Látható, hogy egy tűhegyhez képest mekkorák a mikroorganizmusok. (Az ábrán a  $\mu\text{m}$  = mikrométer, a méter milliommód része, milliméter ezredrésze.)

Az első ábrán a vörös színre gondolhatjuk azt is, hogy ez valami megvilágítási hatás lehet. A középső ábrán már lehet látni, hogy a tű hegyére mikroorganizmusok tapadnak.

Az utolsó ábrán már egészen jól látszanak a pálcika alakú mikroorganizmusok a tű felületén. (Ha valaki egy ilyen tűvel szúrja meg magát annak igen súlyos következményei lehetnek, mert ezek a mikroorganizmusok bekerülhetnek a véráramba és akár vérmérgezést is okozhatnak ☺.)

A mikrobákat laboratóriumi üvegedényekben pl. Petri csészében, kémcsőben szaporítjuk.

A mikrobákat szabad szemmel is meg lehet figyelni, de nem egyesével, hanem csak akkor, ha egy mikrobacejt elszaporodik és sok millió példány van egymás mellett. Az elszaporodott mikrobák már látható **telepet** alkotnak a táptalaj felületén. Ha a mikrobák egyesével kerülnek a táptalajra, akkor ennek az egy sejtnek az utódai alkotják a telepet, azaz genetikailag azonos egyedek tömege (**tiszta tenyészet**) keletkezik. A telep színe, alakja, felülete, mintázata az adott mikroba fajra jellemző így bizonyos mértékben lehetséges a mikroorganizmusok azonosítása, szabad szemmel is.



2. ábra: Kémcsőben szaporított mikrobák



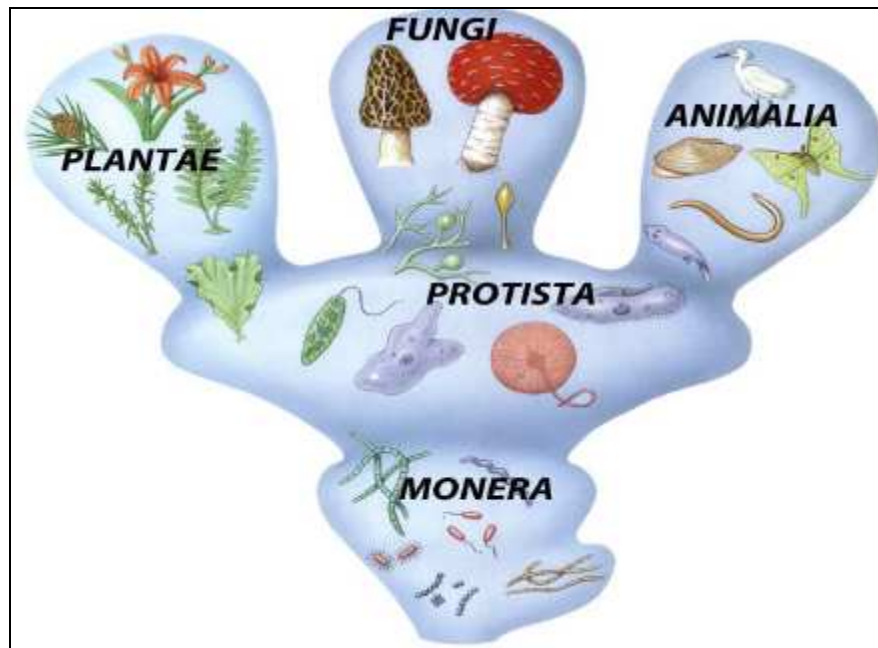
Figure 1-1 Microbiology, 7/e  
Courtesy of Jacquelyn G. Black

3. ábra: Mikrobatenyészetek

A fenti Petri-csészékben vegyes populáció van, több különböző mikroba került a táptalaj felületére és egymás mellett különböző telepeket alkottak. A természetben, a levegőben, a vízben, a talajban sokfajta mikroorganizmus él egymás mellett. A bemutatott vegyes tenyészet is ilyen természetes eredetű. Ilyen képet kapunk, ha tíz percre nyitva hagyjuk a Petri-csészét, és utána egy hétig hagyjuk növekedni a levegőből behullott mikroorganizmusokat.

A tápközeg lehet folyadék is, azaz tápoldat, amelynek belsejében növekednek a mikroorganizmusok. A jobb oldalon látható lombikban a penészgombák apró szemcséket (**pellet**) képeznek, amelyek együtt mozognak a tápfolyadékkal. Maguk a szemcsék egy-két mm átmérőjűek. Ezek a szemcsék technikailag jól kezelhetők, és ugyanakkor még a belsejében lévő sejtek is kapnak elegendő tápoldatot. Ha túl nagyra nőnek a szemcsék, akkor a közepében lévő sejtek már elhalnak.

## Az élővilág (evolúciós) felosztása

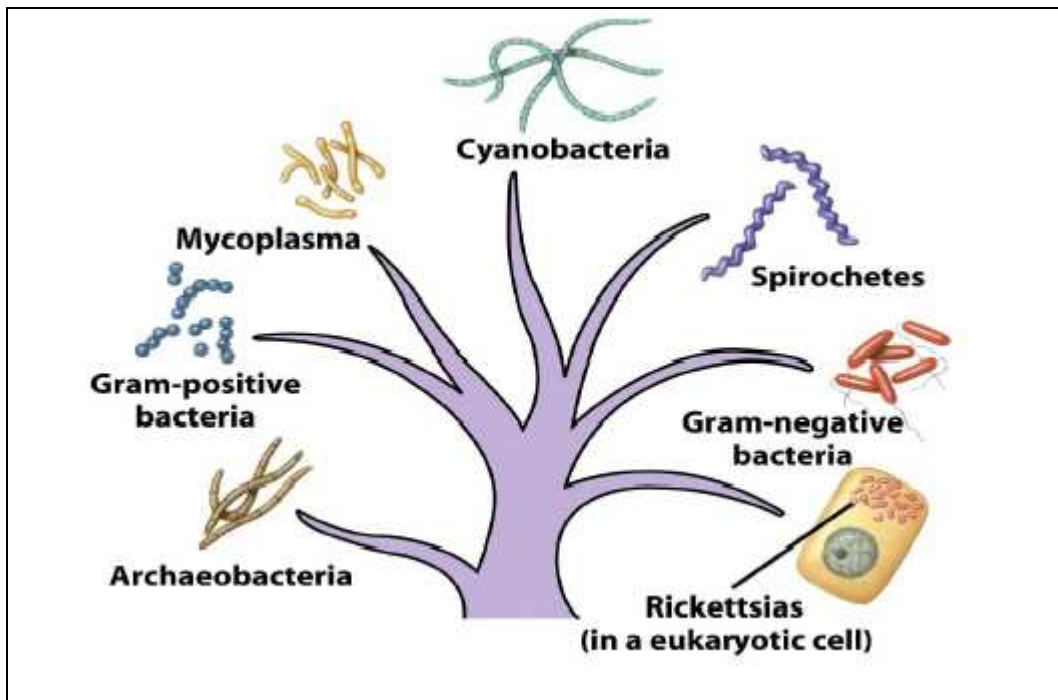


4. ábra: Az élővilág evolúciós csoportosítása

Alul helyezkedik el a monérák nagy csoportja. Ezek egysejtűek, ezek a mikrobák. Felettük helyezkednek el a protiszták, ezek még egysejtűek, de sokkal nagyobbak és bonyolultabbak. Nevezhetjük őket egy sejtű állatoknak (protozoáknak) is. Ide tartozik a zöldszemes ostoros, az amőba, a papucsállatka. A protisztákból fejlődött ki a növények, a kalapos gombák és az állatok birodalma. Mindegyik csoportnak meg van a maga evolúciós folyamata, melyet az ábra jól reprezentál. Pl. a növényeknél is legalul egy telepes növény helyezkedik el, aztán az ábrán felette látjuk a harasztokat, zuzmókat, sokszikűeket és végül egy egyszikűt, ami a legfiatalabb a rendszerben. A gombákat is két nagy csoportra osztjuk. A gombák, akár csak a növények és állatok teljesen önálló csoportot alkotnak. Az állatoknál szintén az egyszerűbb élőlényeket találjuk legalul. Az első soksejtűek a lapos férgek voltak, és a lapos férgekől alakultak ki a gyűrűs férgek, puhatestűek és minden további állat. A rovaroktól gerincesekig, és a gerinceseken belül az emlősökig.

### A prokarióták evolúciója

A prokarióták (valódi sejtmaggal nem rendelkező egysejtűek) evolúciós törzsfája:



5. ábra: A prokarioták, monérák felosztása

**Archaeobaktériumok:** Ezek a legősibb, egyszerű baktériumok. Ezeknél a DNS ugyanolyan, mint a többinél, csak a kírás egy kicsit más, ezért vannak elkülönítve.

**Gram-pozitív és gram-negatív baktériumok:** Ezek az alakjukban is különböznek az előzőektől, valamint a sejtfaluk vastagságában és szerkezetében is különböznek. (Gram egy mikrobiológus volt, aki feltalált egy olyan mikroszkópos festési eljárást, amelyben egyes baktériumok sejtfa megfestődik a bizonyos eljárással, más baktériumok sejtfa pedig nem festődik meg. A Gram pozitív és a Gram negatív ezt jelenti, hogy festődik, illetve nem festődik a sejtfa. A Gram pozitívak megfestődnek, a Gram negatívak nem festődnek meg.)

**Mikoplazmák és a Rickettsiák:** Ezek nagyon apró parazita mikroorganizmusok. A rajzon a Rickettsiát éppen ezért egy eukarióta sejt belsejében láthatjuk. A Mikoplazmák szintén nagyon kellemetlenek, mert még igen kis pórusú szűrőkön is átmennek.

**Cianobaktériumok, vagy kékbaktériumok:** Nincs zöldszintestük, de fotoszintézisre képesek.

**Spirochéták:** A spiro a spirál szóból van. Ez az alakjukra utal, dugóhúzó alakjuk van.

### Miért osztódnak a mikroorganizmusok?

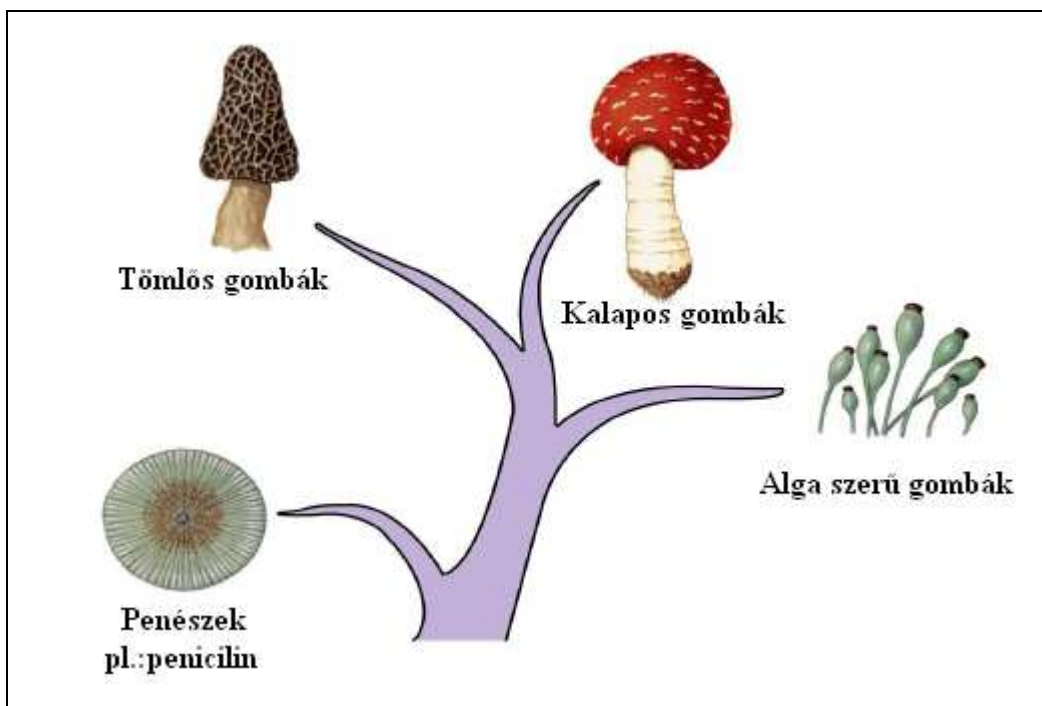
Anyagcseréje során a sejt növekszik, tehát anyagokat vesz fel, ezek az anyagok beépülnek a testébe. A sejt egyre nagyobb lesz. A sejtnek van egy belső anyagcsere kapacitása ami a térfogatával, azaz az átmérőjének a harmadik hatványával arányos. A sejt anyagcseréje nem önmagában a sejtben zajlik, hanem a környezetével anyagforgalmat bonyolít le. Az

anyagforgalom a sejt környezetével a sejt felületén keresztül zajlik. A sejt felülete az átmérő négyzetével arányos, tehát egy kétszeres átmérőjűre növekedett sejtnél a térfogata nyolcszoros, de a felülete csak négyszeresére nőtt. A növekedéssel a felület-térfogat arány felborul, a felület nem tudja kiszolgálni a sejt belsejét. A felület-térfogat arány helyreállítására két lehetőség is adódik. Az egyik az osztódás, egy nagyobb gömbből két kisebb lesz, a fajlagos felület újra nagyobb lesz. A másik válasz, hogy a sejt csak hosszában növekszik és egy végtelen hosszúságú hengert alkot. Ennek felület-térfogat aránya közel állandó marad.

A természetben mind a kettő előfordul. Vannak közel gömb alakú sejtek, amelyek osztódnak (baktériumok, élesztők), és vannak fonalas növekedésű mikrobák (sugárgombák, penészgombák), amelyek hosszirányban növekednek.

A gombák felosztása:

Az egysejtű gombák a mikrobákhoz tartoznak. Törzseiket felhasználják a biotechnológiában, ezért nem hagyhatjuk ki.



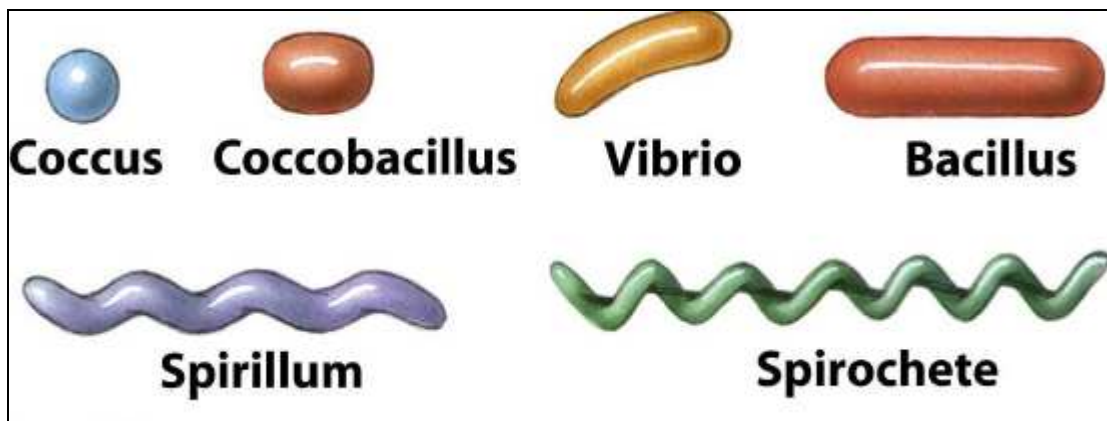
6. ábra: A gombák fajtái

**Fonalas gombák, penészek:** Fonalszerű sejtjeik vannak, szövedéket (micélium) képeznek.

**Tömlős gombák:** A föld alatti fonalszövedék makroszkopikus termőtestet fejleszt.

**Kalapos gombák:** A jól ismert, látható méretű termőtestet fejlesztő gombák.

**Algaszerű gombák:** Átmeneti alakok.

**A baktériumok leggyakoribb formái**

7. ábra: A baktériumok formagazdagsága

**Coccus:** Gömb alakú baktérium. (Különböző tudományos szövegekben is a coccus mindig azt jelenti, hogy gömb alakú.)

**Bacillus:** A másik szélsőség. A köznyelvben a bacillus mindenféle kellemetlen mikroorganizmust jelent. A szaknyelvben a bacillus a baktériumokon belül a megnyúlt, „pálcika” alakúakat jelenti.

**Coccobacillus:** Átmenet a gömb és a pálcika alak közt.

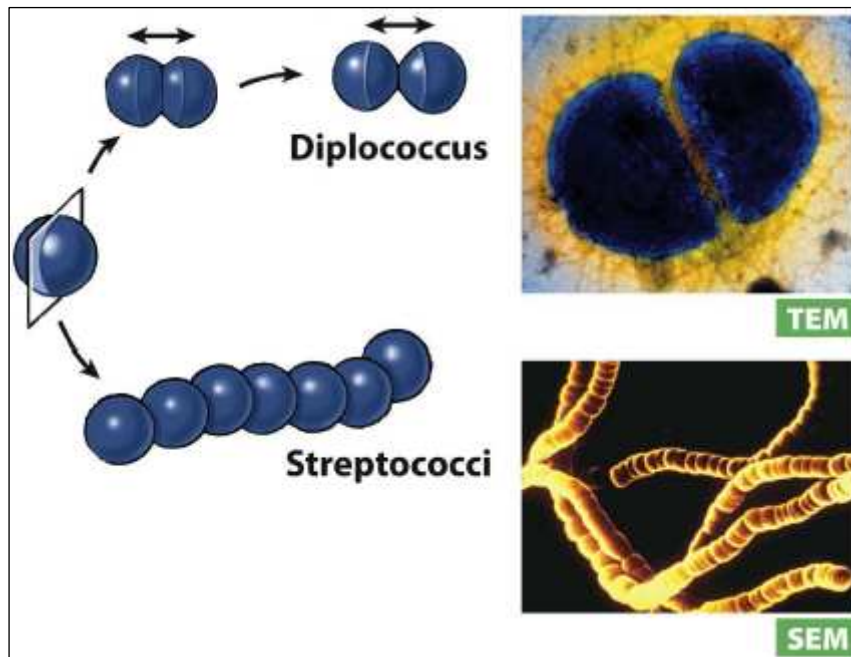
**Vibrio:** Vannak, akik a spirális baktériumok közé sorolják, mert a görbe alak egy spirál negyed fordulatának tekinthető.

**Spirillum:** A spirálisok egyik csoportja. Inkább hullámosnak látszik, olyan a felülete, mint a betonacél mintázata.

**Spirohéta:** Ez rugószerűen feltekeredett hosszúkas sejt, melynek akár egy pálcát is rakhatnánk a közepébe, amire feltekeredik.

**A coccusok osztódási formái:**

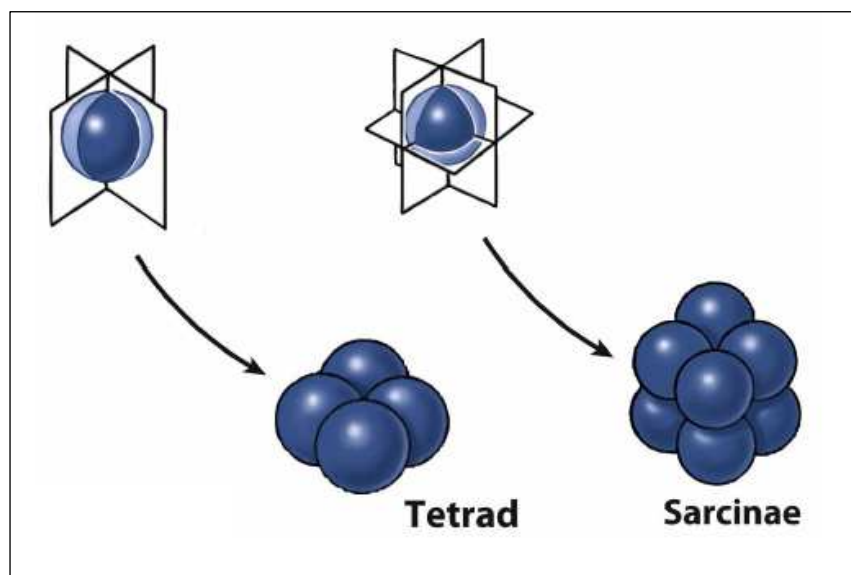
A kokkusokat aszerint lehet a legjobban csoportosítani, hogy osztódás után milyen formákat alkotnak. Ha egy szimmetria síkot veszünk, és erre merőlegesen osztódnak ezek a sejtek és ha osztódás után kettő darab együtt maradó gömböt alkotnak, akkor ezt **diplococcus-**nak nevezzük.



8. ábra: A kokuszok formái

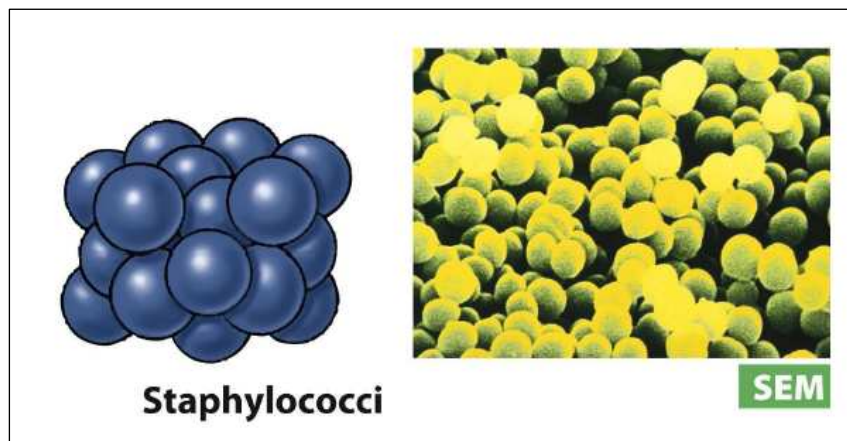
Az egy irányban történő osztódás esetén gyakran jön létre gyöngyszerű alakzat, ezeket *Streptococcus*-nak nevezzük. (A sztreptosz görögül gyöngysort jelent.) (Orvosi szövegekben pl. találkozhattunk már **sztreptokokkusz** fertőzéssel.)

Egyes sejtek képesek több térirányban is osztódni. Ha két tengely mentén osztódnak, akkor **tetrád** jön létre, ha mind a három térirányban is képesek osztódni, akkor a nyolc sejtből álló, „gyapotbála-szerű” alakzat, a **szarcina** alakul ki.



9. ábra: A kokuszok formái 2.

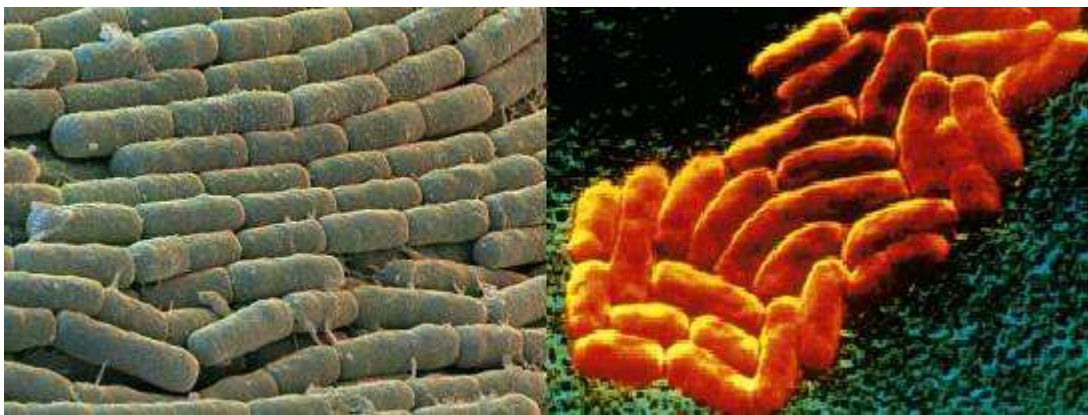
Az együtt maradó kokkusok osztódásánál a teljes rendezetlenség is előfordul.



10. ábra: Sztafilokokkusok, „szőlőfürt” alakzat

A *Staphylococcus* törzseknél a rendezetlenül együtt maradó gömbölyű sejtek szőlőfürt-szerű alakzatot formálnak. (A **sztafilokokkusok**kal is találkozhatunk orvosi szakirodalomban, sok köztük a gennykeltő, és különböző fertőzéseket okoznak, a bőr felületén és a légutakban is előfordulhatnak.)

### **Bacillusok, „pálcika” alakúak:**



11. ábra: A bacillusok

Az ábrák megnyúlt, henger alakú sejteket, beszárított, összetömörödött baktérium tömeget mutatnak. A sejtek szoros illeszkedéssel, párhuzamosan rendeződnek el. A jobb oldali ábrán is egy összetapadt bacillus tömeget láthatunk.





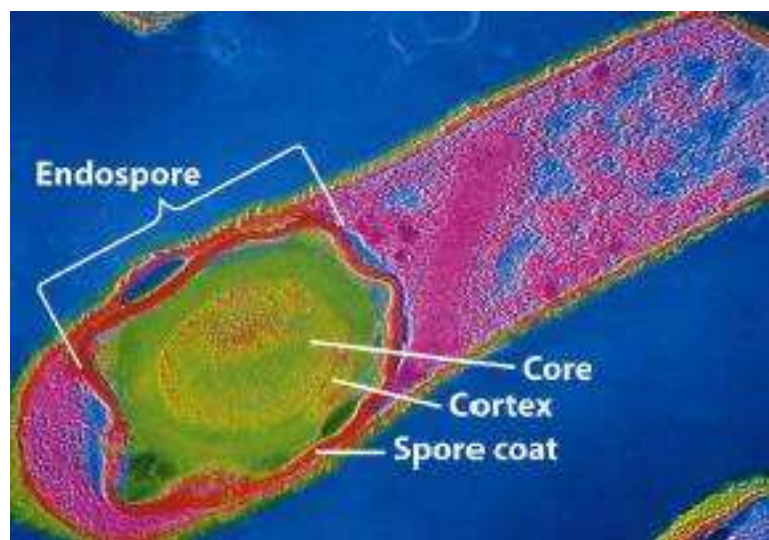
12. ábra: Osztódó bacillus, benne a színezett DNS-sel

A bacillusok a végükön osztódnak. Megnyúlik a sejt, amikor elér egy bizonyos hosszt, akkor derékban befűződik, és a benne lévő DNS állomány is megkettőződik. A két DNS szét húzódik a sejt két végébe, befűződik és így lesz belőle két hosszúkás, pálcika alakú sejt.

A különböző bacillusok közt van még egy fontos morfológiai különbség: Vannak közöttük spóráképzők és nem spóráképzők. Maga a spóra szó az élővilágban sokféle dolgot jelölhet, pl. a gombák, a mohák és a harasztok spórákkal szaporodnak.

A baktérium spórák nem szaporító, hanem túlélő képződmények. Ezek a bacillusok ugyanis alkalmazkodtak ahhoz, hogy a természetben időnként a kedvezőtlen körülmények miatt fel kell függeszteni az életműködéseiket. A természetben tipikusan folyadékban, például egy tócsában élnek. Ha esik az eső, akkor ott a bacillus el kezd szaporodni, ha a tócsában van szerves anyag, akkor azt elfogyasztja, de ha a tócsa néhány nap alatt elkezd beszáradni, először nedves iszap lesz, majd száraz por. Ebben a bacillus nem tud megélni, ehhez valahogyan alkalmazkodnia kell.

Amikor a körülmények kedvezőtlené válnak ezek a sejtek a DNS-ük köré egy nagyon masszív tokot építenek ki, ez a **spóra**. Ebben lecsökken a víztartalom, az enzimes reakciók leállnak. Ez után a sejt többi része elpusztul, ami marad, az rászárad a spóra külső részére. A spóra nagyon ellenálló, bírja a szárazságot, a meleget (világűrbe is vittek fel már spórákat és utána ugyanúgy



13. ábra: Endospóra szerkezete

tovább éltek). Ha a spóra néhány hónap, vagy év múlva újra kedvező körülmények közé jut, pl. beleesik újra egy tócsába, ahol van nedvesség és tápanyagok, akkor a nedvesség hatására fellazul a szerkezete, elkezd működni, helyre állítja a sejtet, újra elkezd növekedni, szaporodni, sokszorozódni, majd ha újra kedvezőtlen körülmények közé kerül, akkor ismét bespórá sodik. Az endospóra szó azt jelenti, hogy ez egy belső (= endo) spóra, ellentétben a szaporodásra szolgáló exospórákkal. Tehát maga a spórásodás egy túlélési trükk.

A bioterrorizmus egyik eszköze is spórák bevetése, tipikusan az antrax baktérium (*Bacillus anthracis*) spóráit használják fegyverként. A spórák nagyon ellenállóak, kibírják a magas hőmérsékletet, vegyszereket, ~30 évig aktívak maradnak. Az orvosi gyakorlatban az antrax fertőzés a bőrön jelenik meg csúnya, fekélyes gyulladások formájában (legtöbbször az állattenyésztésben dolgozók kis sebei fertőződnek el), de ez általában nem életveszélyes. Ha azonban a spórák a tüdőt fertőzik meg, az halált is okozhat.

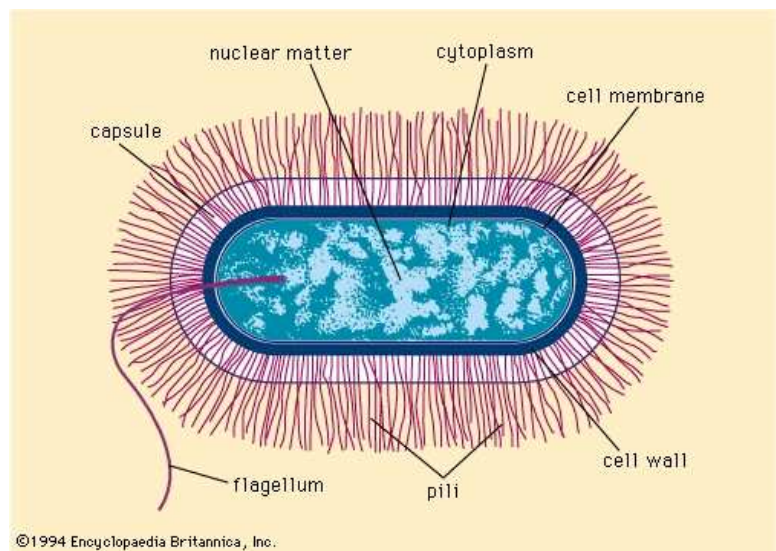
(Magyarországon is többször előfordult, hogy valakinek borítékban fehér port küldtek, de ez egyik esetben sem volt fertőző anyag.)

### **A bacillusok mozgásszervei: csillók és ostorok**

Az ostor, vagy flagellumból általában csak néhány szokott lenni (egy, kettő, néha tucatnyi) és rendszerint a sejtek végén találhatóak. Ha két ostor van, akkor a sejt mindkét végén van egy-egy. Ha tucatnyi ostor van, akkor legyezőszerűen helyezkednek el a sejtek végén és együttesen működnek.

A másik mozgásszerv a csilló. A csillókból sok van és gyakorlatilag a sejt egész felületét borítják. Biokémiailag ezek a mozgásszervek különbözők és a mozgásuk is más. A flagellumok dugóhúzó-szerű spirális alakúak és forgó, hajócsavar-szerű mozgást végeznek.

A csillók viszont csapkodó, evezésszerű mozgást végeznek.



14. ábra: A bacillusok mozgásszervei

Nagyon gyors mozgásra képesek, van köztük olyan is, amelyik a saját hosszának az 50-szeresét is képes megtenni másodpercenként folyadék közegben. Mikroszkóp alatt fekete pötty cikázását figyelhetjük meg a látómezőben. Nem egyenesen, hanem rendszertelenül, cikk- cakkozva mozognak.

### Spirális baktériumok



15. ábra: A spirális baktériumok

Ezek közt nagyon sok patogén, betegség okozó van.

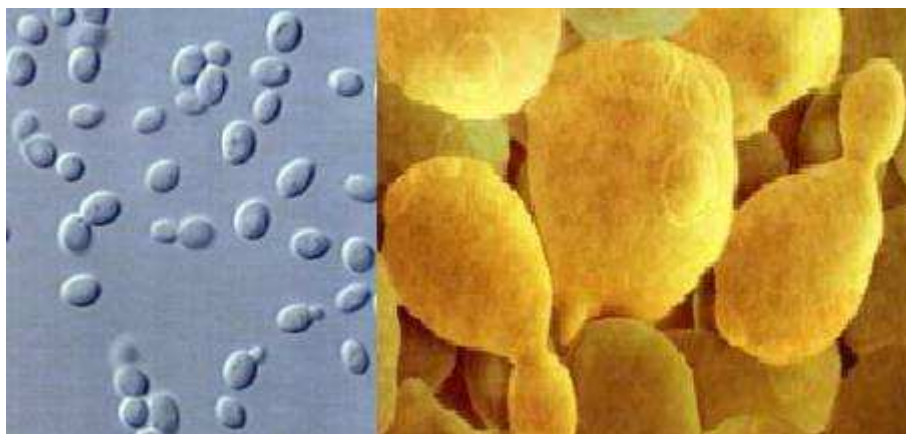
Pl.: *Vibrio cholerae*: a kolera kórokozója (emésztő szervi megbetegedés, sokszor a tengergyümölcsseit olyan helyen halásszák ki, ahol a fekália belemegy a tengerbe)

*Borrelia burgdorferi*: Lyme kór (kullancs)

*Treponema pallidum*: A vérbaj (nemi betegség) kórokozója,.

### **Az eukarióták**

A gombák közül elsőként az **élesztőket** vizsgáljuk, mivel ezek a legegyszerűbbek.



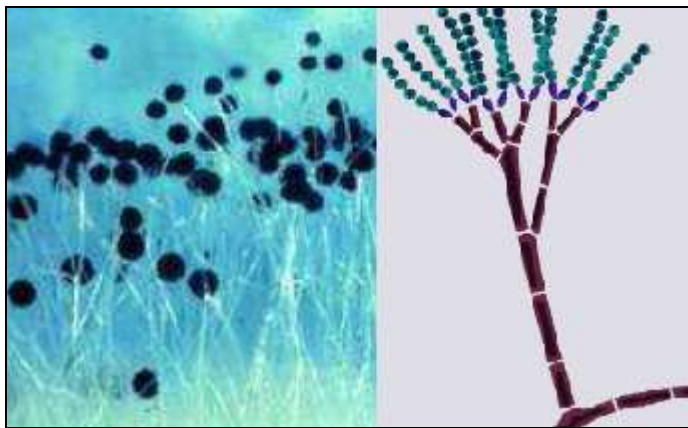
16. ábra: Élesztők

A ábrán egy közönséges pékélesztőt (*Saccharomyces cerevisiae*) láthatunk mikroszkóp alatt. A szaporodásuk más, mint a prokariótáknál volt. A prokariótáknál az osztódás után

a két leánysejtet nem lehetett megkülönböztetni egymástól. Az élesztők sarjadzással szaporodnak, tehát egy nagy anyasejt mellett sarjadzással kialakul egy kis leánysejt, ezt láthatjuk a ábrán is. Az osztódásuk aszimmetrikus.

Az élesztők univerzálisabbak a prokariótáknál. Az anaerob anyagcsere azt jelenti, hogy a sejt oxigén nélkül is képes növekedni, szaporodni, míg az aerob anyagcsere azt jelenti, hogy csak oxigén jelenlétében képes növekedni, szaporodni. Az élesztők fakultatívak, tehát így is úgy is képesek működni (pl. a bor erjesztésénél a levet elzárjuk a levegőtől (kotyogóval), és az élesztő levegő nélkül is szaporodik. Ugyanez az élesztő levegőztetve még gyorsabban szaporítható, pl. a sütőélesztő gyártásánál.)

### **Fonalas gombák, (penészek)**



17. ábra: különböző penészek spóratartói

Ezek szintén eukarióták. Gombafonalakat képeznek, telepük ezek szövedékéből áll. Spórákkal szaporodnak, ezek szaporító képletek (külső spóra, exospóra.) Az egyes törzsek változatos alakú spóratartókat alakítanak ki. A jobb oldalon egy ecsetpenész (*Penicillium*) spóratartóját láthatjuk, ami legyező alakú. A tetején látható kékeszöld szemcsék a spórák, amelyek megérésük után leválnak, szétszóródnak. A baloldali egy fejes penész (*Rhizopus*), ahol vékony nyelek tetején fekete gömbökben helyezkednek el a sötét spórák.

Ezek is egysejtűek, de bonyolult az anyagcseréjük és sok fajta nehezen előállítható vegyület termelésére képesek. Emiatt sok biotechnológiai eljárásban használják ezeket.



18. ábra: A penészek sokfélesége

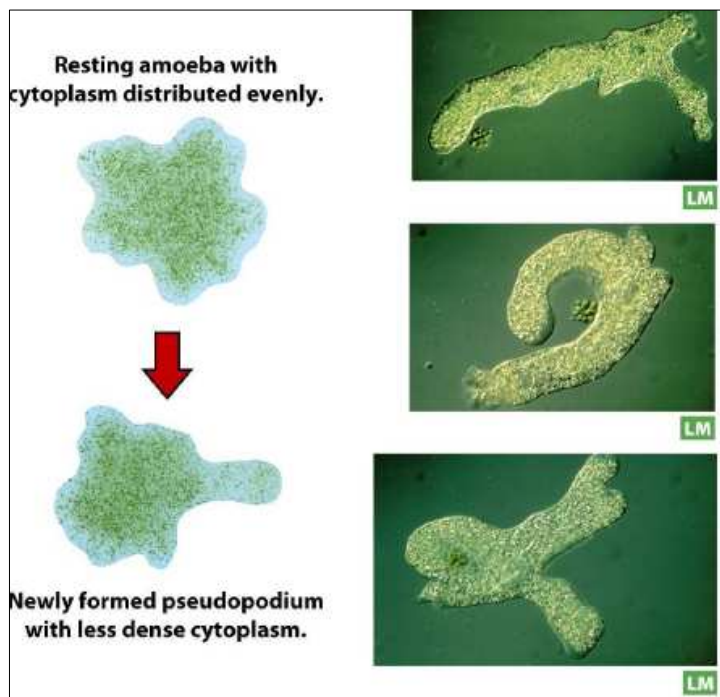
Minden egyes Petri csészére 3 tenyészetet helyeztek el. Látható, hogy különböző színű és formájú spóratartókat fejlesztettek ki. Ebből a morfológiából a szakemberek meg tudják állapítani, hogy milyen típusú penészekről van szó.

### Protozoák (egysejtű állatok)

Nagyobbak, és bonyolultabb felépítésűek, mint az eddig tárgyalt mikrobák. Még egyetlen sejtből állnak, de már „szervek” kezdeményei figyelhetők meg bennük.

Egyik tipikus képviselőjük az amőba. Az amőbáknak nincsen állandó alakjuk, alakváltoztató mozgásra képesek. A citoplazma áramoltatásával „állabak” kialakítására képesek, ezzel „bekebelezik” (fagocitózis) táplálékukat.

19. ábra: Az amőba bekebelez egy tápanyag szemcsét



A felületével érintkező tápanyag szemcsét testtömegével körbeveszi és bekebelezi. Endocitózissal benyeli a sejtbe a tápanyag szemcsét, majd belső emésztő enzimjeivel lebontja.

Az amőbák bármilyen szerves anyagot elfogyasztanak, amit bontani lehet és energiát tud nyerni belőle. A protozoák egy szinttel összetettebbek, mint a monérák.

### **Vírusok:**

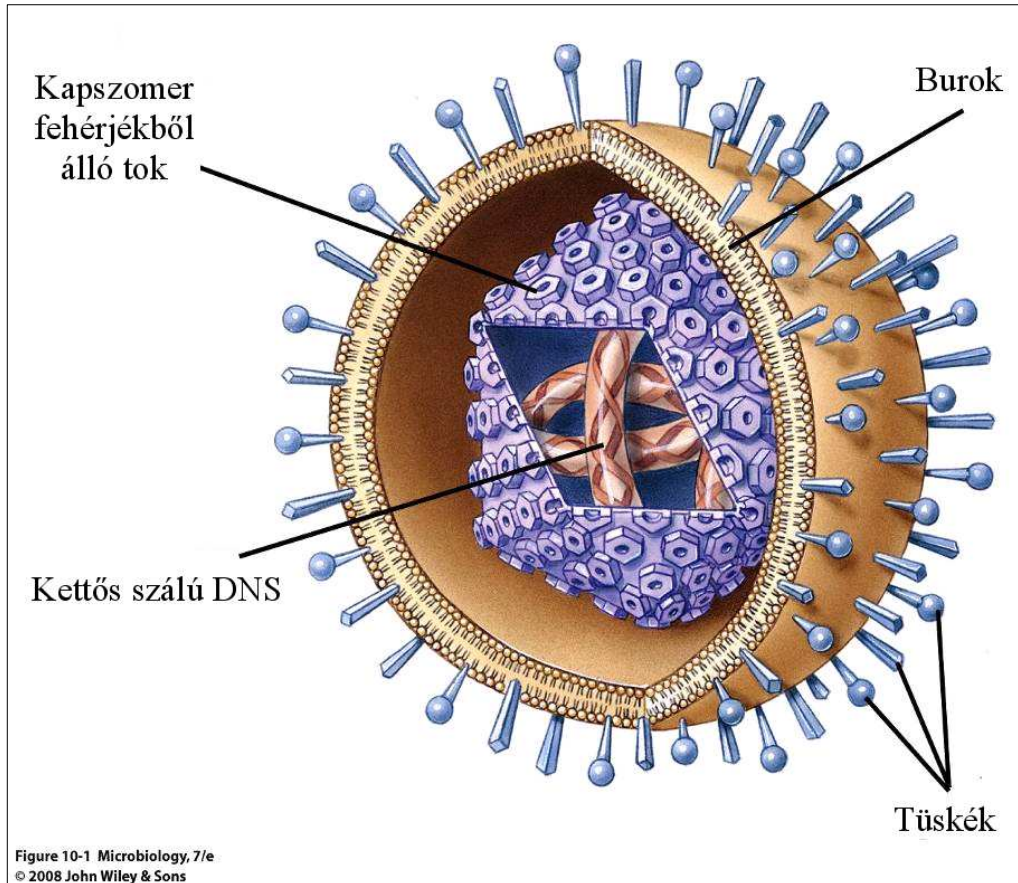
A vírusok nagyon leegyszerűsödött és nagyon érdekes működésű élőlények. Sokan az élőlény kifejezést is kétségbe vonják, mert az élő anyag és az élettelen anyag tulajdonságait is mutatják. Ez elég furcsának hathat, de az a tény, hogy a vírusok kristályosíthatók és kristályos szerkezetet vehetnek fel, ez az élettelen anyagnak a tulajdonsága. A vírusok önállóan nem tudnak szaporodni, mozogni, anyagcserét folytatni - azaz önállóan nem mutatnak életjelenségeket.

A vírusok abszolút paraziták és csak a megtámadott gazdaszervezet sejtjein belül mutatnak életjelenségeket. A megtámadott gazdaszervezet sejtjein belül képesek biokémiai folyamatokat, reakciókat elindítani és végrehajtani, önmagukat megsokszorozni, tehát szaporodni és utána sokkal nagyobb létszámban megjelenni a környezetben - ez viszont az élőlényekre jellemző.

#### **Miért nincsenek az evolúciós törzsfán (4. ábrán) a vírusok?**

Mivel nem férnek rá. Azt gondolhatnánk, hogy egy ilyen egyszerű dolog, illetve élőlény, az evolúció elején fejlődhetett ki, és ebből alakultak ki a bonyolultabb organizmusok. De nem így van, hiszen a vírusok élősködők, bonyolultabb gazdaszervezetekben élnek és szaporodnak, és az evolúció legelején még nem volt min élősködni. Azaz a vírusok az evolúcióban később jelentek meg. Feltehetőleg összetettebb élőlények fokozatos leegyszerűsödésével. Az evolúcióban általában a komplexitás nő, az egyszerűtől az összetettig megy a folyamat, de a vírusok esetében ez fordított irányban ment végbe, bonyolulttól az egyszerű felé. A vírusok egész szerkezete mára már csak néhány fajta molekulából áll, viszont mégis reprodukció-képesek és hosszú távon fennmaradnak az élővilágban. A 20. ábrán egy jellegzetes vírus szerkezete látható. Legfelül van a genetikai információt hordozó nukleinsav. Ez általában DNS, de vannak RNS vírusok is. Ez az egyetlen csoport a Földön, amelyben a genetikai információ nem DNS-en tárolódik, hanem RNS-en.

Korábban tárgyaltuk a genetika centrális dogmáját, amely szerint az információ a DNS → messenger RNS → fehérje irányban továbbítódik. Akkor is megemlítettük, hogy a centrális dogmát az döntötte meg, hogy felfedezték az RNS vírusokat, és kiderült, hogy ezeknél az információ „visszafelé”, az RNS-ről a DNS-re halad. Az RNS vírusokban a nukleinsav nem közvetlenül íródik át fehérjére (mint a messenger RNS-nél), hanem ez az RNS először átíródik DNS-re, aztán a DNS-en keletkezik egy messenger RNS, és ennek alapján keletkezik a fehérje. Tehát a kiírás kerülő úton történik.

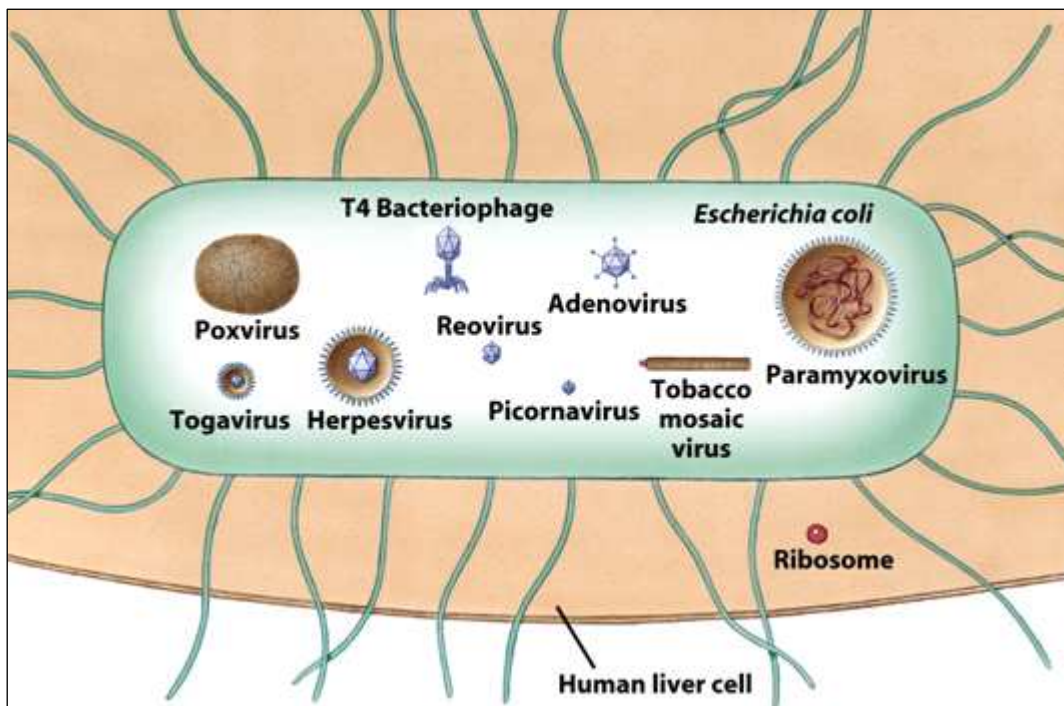


20. ábra: A vírusok felépítése

Legbelül van tehát a nukleinsav, kettős szálú DNS-t mutat az ábra. Körülötte van egy tok, ami ismétlődő fehérje molekulákból mozaikszerűen rakódik össze, általában egy (néha 2-3) féle ismétlődő fehérjéből áll. Ezek gyakran szabályos geometriai idomot alkotnak. Az ábrán egy ikozaédert láthatunk, ez egy olyan szabályos alakzat, amit 20 db szabályos háromszög határol. Az ábrán éppen két ilyen szabályos háromszög van kivágva a szemléltetés kedvéért. A tokon kívül van a burok, ami szintén mozaikszerűen elrendeződő fehérjékből áll, de nem alkot kristályos szerkezetet. Ezen kívül található a tüskék, melyek olyan kötő fehérjék, melyek abban segítik a vírusokat, hogy a megfelelő sejtnél a felületére oda tudjanak tapadni, és meg tudják fertőzni azt a bizonyos sejtet.

A vírusok összességében nagyon kevés féle molekulából állnak, van egy nukleinsav, ami hordozza a genetikai információt és maximum fél tucat féle fehérje sok példányban. A külső felületükön még lehet minden féle „maszat”, ami abból adódik, hogy amikor kiszabadulnak a megfertőződött sejtéből, akkor a felületükre rátapadhat mindenféle anyag, ami a megfertőzött, megbetegített sejtéből származik.

## A vírusok relatív mérete



21. ábra: A vírusok mérete

A vírusok kisméretűek.

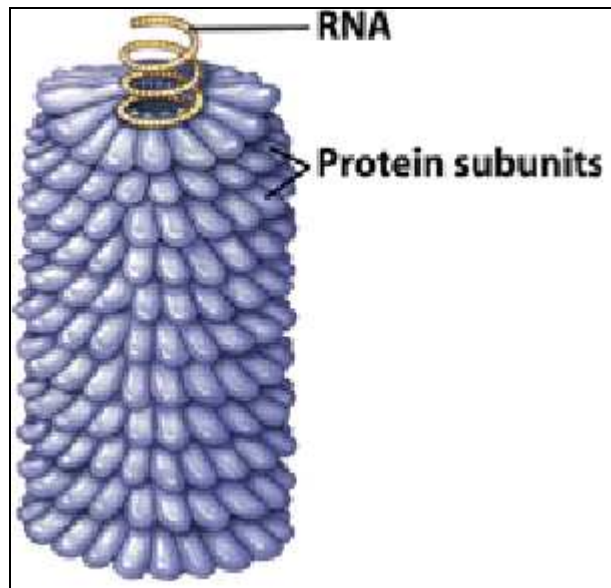
Az ábra háttérében, aminek alul csak az ívét látjuk, egy nagyméretű emberi májsejt van, melynek mérete a 100  $\mu\text{m}$ -es mérettartományba esik. Az ábrán középen egy csillós bélbaktérium (*Escherichia coli*) látható, a pálcika alak átmérője kb. 1  $\mu\text{m}$  (0,001 mm), a hosszúsága kb. 3-5  $\mu\text{m}$ .) Az ábra ehhez viszonyítja méretarányosan a különböző vírusokat. Látható, hogy a vírusok még a baktériumoknál is sokkal kisebbek. Azok a szűrők, amelyek a baktériumokat hatékonyan kiszűrik egy folyadékból, a vírusokat nem tartják vissza.

Viszonylag nagyoknak számít a Poxvírus (himlővírus) és a Paramyxovírus. A kisebbek közé tartoznak pl. a Reovírusok, melyek náthát, légúti megbetegedéseket okoznak. A Picornavírusok a legparányibbak. Az ábrán bemutatott vírusrak közül egyesek kristály formájúak, mások közel gömb alakúak. A dohánymozaik vírus viszont rúd alakú, illetve a T4-es bakteriofág szintén nem gömbölyű, hanem „kézigránátszerű” alakot ölt.

A vírus szó eredetileg azt jelenti, hogy mérge. Ennek eredete az, hogy amikor az orvosok már felismerték, hogy az egyes fertőzéseket baktériumok okozzák, akkor bizonyos fertőző betegségekhez nem tudtak baktériumokat rendelni. Bakteriális fertőzéseknél ki lehetett mutatni, hogy a baktérium-mentesre szűrt folyadék már nem fertőz. A vírusokat nem észlelték fénymikroszkóppal, és szűréssel sem tudták eltávolítani a folyadékokból, a szűrlet fertőző maradt, betegséget okozott. Mivel nem találták meg a folyadékban a kórokozókat, ezért úgy ma-



gyarálták, hogy ezekben a folyadékokban valami féle mérge (= vírus) van, és így maradt rajta a vírusokon ez az elnevezés.



22. ábra: A dohánymozaik vírus

A dohánymozaik vírus felépítése:

RNS vírus, a tengelyében van az egyszálú ribonukleinsav feltekerve. Körülötte egyforma fehérjékből álló tok helyezkedik el. Sok-sok azonos fehérje egymás mellett úgy helyezkedik el, mint a kukoricacsövön a szemek.

### A vírusok jellemzése:

A vírusok paraziták, élőködnek más élőlények sejtjein. Specifikus paraziták, általában viszonylag kevés fajt támadnak meg. Emberi vírusok általában csak emberre és néhány főemlősre hatnak. (Pl.: kutyákra vagy macskákra nem.) Kivételek vannak, ilyen a veszettség vírusa, amely számos emlőst meg tud betegíteni.

Egy másik kivétel az influenza vírusa. Néhány évvel ezelőtt volt madárinfluenza járvány, jelenleg a sertésinfluenza, tehát az influenza vírus képes keveredni különböző rendszertani csoportok között és nem csak emlősök között. A madárban és emberben is működő vírusnak, rendkívül sokoldalúnak és változékonyak kell lennie.

### A vírusokat csoportosíthatjuk aszerint is, hogy milyen sejteken élőködnek:

A legegyszerűbb prokariótáknak is vannak vírusaik, ezek a **bakteriofágok**, vagy röviden fágok. A fág szó azt jelenti, hogy felfal valamit („felfalja”, elpusztítja a baktériumokat.)

A **növényeknek** is megvannak a saját vírusaik. Példa volt a dohánymozaik vírus, mely a dohánynövény mozaik-betegségét okozó vírus.

Vannak **madár vírusok**, pl. madárinfluenza, de van egy jó pár más betegség is, amely csak a baromfikat támadja meg (pl. baromfipestis). Ezekre külön speciális vakcinákat gyártanak állatorvosi célokra.

Az **emlős vírusok** közé tartozik a veszettség, mely számos emlős fajt képes megbetegíteni. (pl. kutya, mosómedve, ember, néha még rágcsálókat és kérődzőket is.)

**Humán vírusok:** Már több száz féle vírust írtak le, mely az embert fertőzi (himlő, bárányhimlő, kanyaró, mumpsz, vörheny).

**Gyors lefolyású betegséget okozó vírusok**, akár halálosak pl.: a himlő.

Egy parazitánál, ha túl gyorsan megöli az áldozatát, az nem biztos, hogy kedvező. Ha a parazita gyorsan megöli az áldozatát, akkor nincsen elég ideje szaporodni. A himlő vírus pl. ilyen, hogy gyors lefolyású, halálos betegséget okoz. (A halálos fekete himlőt már sikerült felszámolni a világon.)

**Hosszútávon fertőző, élősködő vírusok:** Ezek nem okoznak komoly bajt. De éppen ezért, mert évtizedeken át együtt élnek a megtámadott szervezettel hosszú idejük van arra, hogy szaporodjanak, terjedjenek és ezzel hosszú távra biztosítják a saját túlélésüket és nem csak néhány napra. Pl. ilyen a herpesz, aminek valamely fajtájával a lakosság túlnyomó százaléka fertőzött. A herpesz vírus általában lappangva él a sejtjeinkben. Látványos tünete általában akkor jön elő a nyálkahártyákon, ha az immunrendszer legyengül, illetve valami egyéb stressz legyengíti szervezetünket a védekezésben.

**Alig észlelhető vírusok:** Ezek szintén hosszú távon élnek, ilyen pl. a futószemölcs. (Melyet az ember a bőrfelületén esetleg észre sem vesz, mert különösebb tüneteket nem okoz.)

### **A vírusok működése, szaporodása:**

**1. lépés:** A vírusnak először be kell kerülnie a sejtbe. A megtámadható sejt felismerését a felületükön lévő tüskeszerű receptor fehérjék teszik lehetővé. A sejtek felületére odatapadnak, de csak akkor indul be a fertőzési mechanizmus, ahol a megtámadott sejt felületén megtalálnak bizonyos molekuláris azonosítókat. A vírustüskék és a sejt felszín bizonyos molekulafelületei összeilleszkednek, és létrejön a kapcsolat.

**2. lépés:** Miután a vírus rátapadt a számára ismerős fehérje mintázatú sejt felületre, bejuttatja az örökítő anyagát. Ezek spontán molekuláris mozgások. Úgy kapcsolnak össze a felületi fe-

hérjék, hogy végül is megnyílik a biológiai membrán és a vírus a benne lévő nukleinsavat „beinjekciózza” a citoplazmába.

**3. lépés:** A gazdasejt működésének átprogramozása. Amikor a vírus megtámadja a gazdasejtet, akkor általában a fehérje tok az kinn marad, és csak a nukleinsav megy be. A sejtben jelenlévő nukleinsav kiíró enzimek, ha nem „elég” szelektívek akkor a vírus nukleinsavat is kiírják.

**4. lépés:** A gazdasejt saját enzimeit felhasználva új vírusokat termel.

A sejtnek a saját nukleinsav átíró enzimeit működnek. Egyrészt a vírus a DNS-t sok példányban lemásolják, másrészt a tokfehérjéket is sok példányban legyártják. A sejtek természetesen védekeznek különböző trükkökkel (pl. messenger RNS intron kivágása fejlettebb élőlényeknél).

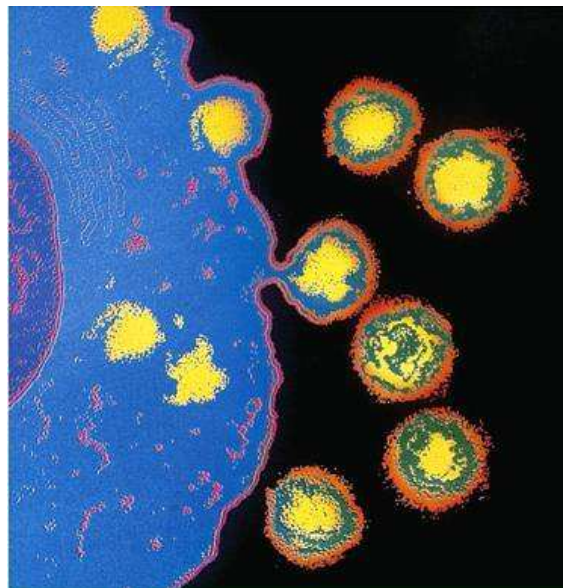
Tehát a vírus hatására a megtámadott sejt anyagait és energiáját felhasználva egy csomó „vírusalkatrész” termelődik..

**5. lépés:** Az alkatrészek létrejötte után jön az összeszerelés. A vírus-nukleinsav és tokfehérjék spontán összeépülnek új vírusokká (önösszeszerelés). A nagyon szabályos kristályos szerkezet (ami a vírusokra jellemző), ez egyúttal energiaminimumot jelent. Tehát a legszabályosabb szerkezetnek van a legkisebb energiaszintje. A természetben a spontán végbe menő folyamatok, azok mindig az energia minimum irányába mennek végbe, tehát van egy hajlam arra, hogy az „alkatrészek” azok spontán összeálljanak teljes vírusokká. (Pl.: A kristálycukor kristályosítása közben is szabályos kristályok keletkeznek, nem amorf alakzat keletkezik belőlük, mert a kristály szerkezetnek, annak kisebb az energiaszintje, mint az amorf alakzatnak.) A vírusok kialakulása statisztikus folyamat, nem minden esetben sikerül tökéletesen, nagyon sok a félbemaradt, félresikerült vírus is. (Ezért keletkeznek nagy feleslegben a szükséges alkotórészek.) Az összeszerelés az tulajdonképpen önösszeszerelődés, mert egy spontán végbemenő folyamat. A vírus az összeszerelődés során a kristályosodáshoz hasonló folyamat megy végbe, amikor különböző alkatrészei összeállnak egy geometriai rendszerré.

**6. lépés:** A gazdasejt elpusztul és az új vírusok kiszabadulnak, készen a további fertőzésre.

Vannak lassú vírusok is melyek nem pusztítják el a gazdasejtet, hanem benne élnek évekig, de ez kevésbé jellemző.

23. ábra: Illusztráció: új vírusok kilépése a fertőzött sejtől

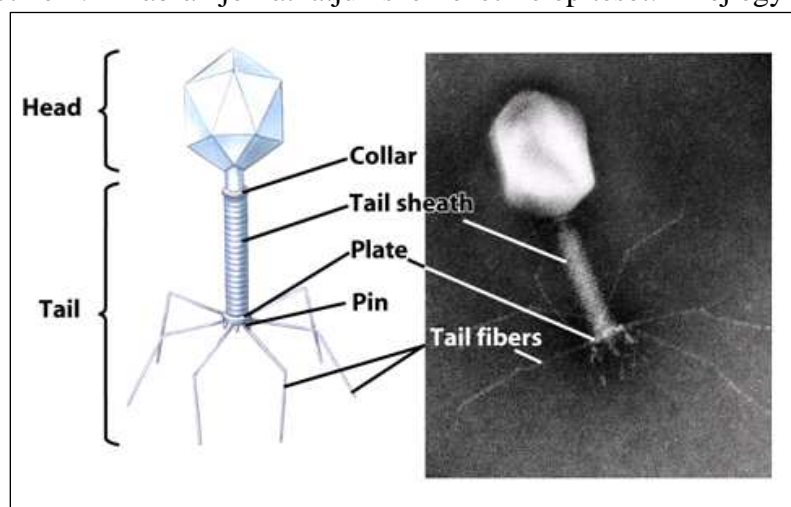


A 23. ábra azt mutatja be, hogy az elektormikroszkópos felvétellel sikerült elkapni azt a pontot, amikor a megtámadott sejtől az elkészült vírusok éppen kiszabadulnak. Az ábrán a sárga (hamis színezés) alakok a vírusok, a pirosas beburkoló réteg a sejtmembránból rájuk tapadt „maszat”. Ez a fedőréteg esetleg beburkolja a felületi receptorokat és ezzel akadályozhatja a következő gazdasejt felismerését.

## A vírusok különböző csoportjainak jellemzése:

### 1. Bakteriofágok

A képen az *Escherichia coli* bélbaktérium T4 fágja látható. Csak az *E. coli*t támadja meg, a többi baktériumot nem. Az ábrán jól láthatjuk szerkezeti felépítését. A fej egy teljesen szabá-



24. ábra: A bakteriofágok felépítése

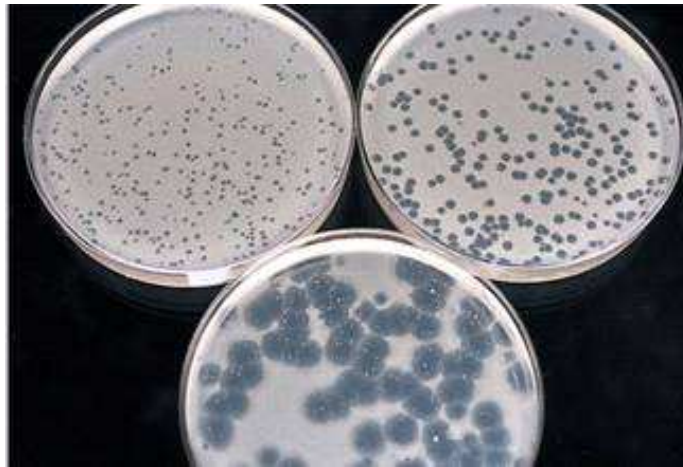
lyos kristály alak, egy ikozaéder (a grafikonon látható a 20 szabályos háromszög) Van egy nyele (tail), ennek az alsó végén található a „fúró” és „belövő” szerkezet (pin, plate). A vékony fehérje fonalak felismerik a coli sejt felületét és rögzítik rajta a fágot. A működés során, amikor a T4 fág rátapad a coli felületére, akkor a nyeles „kézigránát” alakú tok kívül marad a sejten. A nyelük végével, a 6 db fonallal rátapadnak a felületre, a talplemez kilyukasztja a citoplazma membránt és a fejben lévő DNS beleszuszik a sejt a belsejébe. Ezek a vírusok különösen alkalmasak arra, hogy



25. ábra: Üres T4 fág tokok coli sejt felületén

géneket tudunk bevinni egy baktériumba. A fág a benne lévő nukleinsavat beviszi a sejtbe, és kiírja. Génmanipulációhoz elég a fág DNS-ébe beépíteni a kívánt gén(ek)e)t, a bevitelt és a fehérjeszintézist a biokémiai mechanizmusok végrehajtják. Egy fág néhány tucatnyi génállományát sokkal egyszerűbb átalakítani, mint a coli több ezer génes kromoszómáját. A biotechnológusok gyakran kihasználják a fágok működését.

### Hogyan lehet kimutatni a bakteriofágokat?



26. ábra: A bakteriofágok kimutatása

Az eddigi képeken a fágokat elektronmikroszkóppal figyelték meg. Egy ilyen felvétel alapján nem lehet megkülönböztetni az élő és az elpusztult fágokat. Legjobb módszer a fertőzőképességük (Sejtlő, sejtpusztító hatásuk) alapján történő vizsgálat.

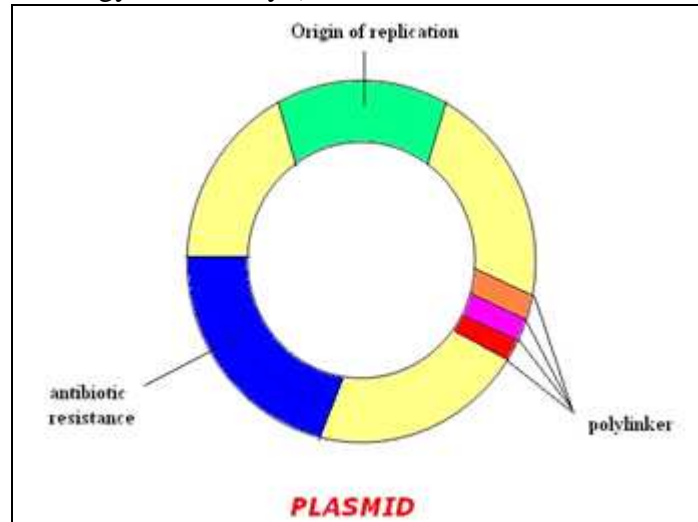
Ehhez a vizsgálathoz a fágokkal baktériumokat fertőzünk meg. A 26. ábrán a Petri csészékben szilárdított táptalaj látható, aminek felületet sűrűn beborítjuk baktériumokkal (fehér színű bevonat). Erre a rávisszük a folyadékot, amiben azt gyanítjuk, hogy fágok vannak. Szétkenünk a tetejére  $1\text{ cm}^3$ -t, egyenletesen elosztatva.

Ezután visszatesszük a termosztátba és várjuk a hatást, hogy 1-2-3 nap múlva mi történik. Ahol egy fág van, ott az elkezd pusztítani maga körül a baktériumokat. (1 fág megtámad egy sejtet, kiszabadul mondjuk 100 és így tovább mindig 100-szor annyi lesz.) Így lyukak jelennek meg a folyamatos baktérium pázsiton. Ebből lehet következtetni, hogy eredetileg annyi fág került a baktérium pázsitra, ahány lyuk keletkezett. (Technikai részlet: ha egy Petri csészében 30-nál több keletkezik, akkor nehézkes és bizonytalan a számolás, ilyen esetben célszerű felhigítani a fág szuszpenziót, hogy kevesebb fág jusson egy Petri csészére.

## Plazmidok

(A kisebb méretek felé haladva ezek következnek.)

A plazmidok a vírusoknál még egyszerűbbek, mert nincsen fehérje burkuk. Ezek kis gyűrűs kettős szálú DNS szakaszok, amelyek gyakorlatilag csak a sejten belül léteznek. Ez a kromozómától függetlenül létező és annál sokkal kisebb DNS darab. (Egy coliban több ezer gén van, egy plazmidban egy-két tucatnyi.)



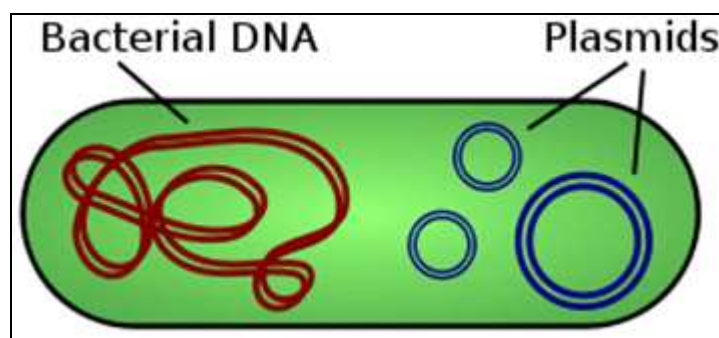
27. ábra: A plazmid felépítése

Szemléltetésül az egyes gén szakaszok különböző színekkel (sárgával, zölddel, késsel stb.) vannak jelölve. Az egyes gén szakaszok az egész plazmid méretéhez képest meglehetősen nagyok, tehát kevés génből állnak. A plazmidok a kromozómától függetlenül léteznek, egy sejtben több is lehet. Önállóan képesek osztódni, replikálódni, mert tartalmaznak egy génszakaszt, a replikációs origót (zölddel jelölve). Erre kapcsolódhat a gazdasejt DNS átíró enzimszisztere, és ez másolja le a plazmid DNS-t. Szaporodásuk ennyire egyszerű, egy indító génszakasz segítségével lemásoltatja saját magát sok példányban. Sejtosztódásnál a citoplazmával együtt kerülnek a két utódsejtbe. Ha elég sok van belőlük, mondjuk tíz körüli darabszám, akkor elég nagy a statisztikus valószínűsége annak, hogy mind a két utódsejtbe jut legalább egy plazmid. (Ez a valószínűség a hipergeometrikus eloszlásnak felel meg.) Ha csak egy-két plazmid van az osztódó sejtben, akkor előfordulhat, hogy valamelyik utódsejtbe nem jut plazmid (**plazmidvesztés**). Az „üres” sejt utódaiba sem lesz plazmid, így a populáció kettéválk plamidhordozó és plazmidmentes sejtekre.

A plazmidok hordozhatnak olyan géneket, melyek a kromozómákban eredetileg nem voltak jelen (ekkor jó lehet a gazdasejtnek, hogy plazmidja van). Ezek a plusz gének plusz tulajdonságokat jelenthetnek a gazdasejtnek is. Az orvostudományban a plazmidokkal kapcsolatos fontos terület az antibiotikum rezisztencia. Gyakori eset, hogy az egyes antibiotikumok semlegesítésére szolgáló enzimeket plazmidok hordozzák. Ha egy bennünket megbetegítő

mikroba sejt hordoz magában ilyen plazmidot, akkor az ellen hiába veszünk be antibiotikumot, mert a plazmidról kiíródó enzim hatástalanítja azt. (Ebben az esetben a sejt jól járt, hogy van plazmidja, mert megvédte az antibiotikum ellen, ha nincs antibiotikum, akkor nem járt jól, mert a plazmidok legyártása az kapacitást von el a saját növekedése, szaporodása elől.) Tehát egy kis evolúciós hátrányt jelent, ha egy sejt plazmidokat hordoz, de bizonyos esetekben előny lehet, és akár a sejt túlélését is biztosíthatja.

A biotechnológusok génmanipulációra a plazmidokat is szokták alkalmazni, mert sokkal jobban kezelhető egy ilyen kis DNS állomány, mint a nagy kromoszóma. Egy plazmidba egy új gént bevinni ma már rutinművelet, egyetemisták is végzik laborgyakorlaton.



28. ábra: Plazmidok

A ábrán jól látható, hogy a baktériumnak van egy saját nagyméretű DNS-e, és vannak a plazmidok melyek sokkal kisebbek, szintén gyűrűs, kettős szálú DNS-ek. (A ábra nem méretarányos, mert a plazmidoknak ezeknél a gyűrűknél is kisebbnek kell lennie. Egy bakteriális kromoszóma ~100-szor akkora, mint egy plazmid.)