

Dr. Vágvölgyi Csaba

A baktériumok általános jellemzése, a prokarióta sejt felépítése. A fontosabb csoportok reprezentánsainak jellemzői és jelentőségük

Segédlet a BSc záróvizsgára való felkészüléshez

Jelen tananyag a Szegei Tudományegyetemen készült az Európai Unió támogatásával.

Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014

Bakteriológia

Segédlet a BSc záróvizsgára való felkészüléshez

Készítette: Dr. Vágvölgyi Csaba

SZTE, 2020

Államvizsga tétel címe: **A baktériumok általános jellemzése, a prokarióta sejt felépítése. A fontosabb csoportok reprezentánsainak jellemzői és jelentőségük.**

Definíció: A baktériumok valódi sejtmaggal nem rendelkező (prokarióta), önálló anyagcserére képes, egysejtű szervezetek.

Prokarióták:

Baktériumok (***Bacteria***) + Archeák (***Archaea***)

Első primitív prokarióták megjelenése kb. 3.7 milliárd éve (ősi baktériumok \neq Archea).

Mindenfajta élőhelyen jelen vannak:

- 1 g (jól szellőzött) talajban - kb. 10^6 aerob baktérium
- Emberi test = 10^{13} humán sejt + 10^{14} baktériumsejt

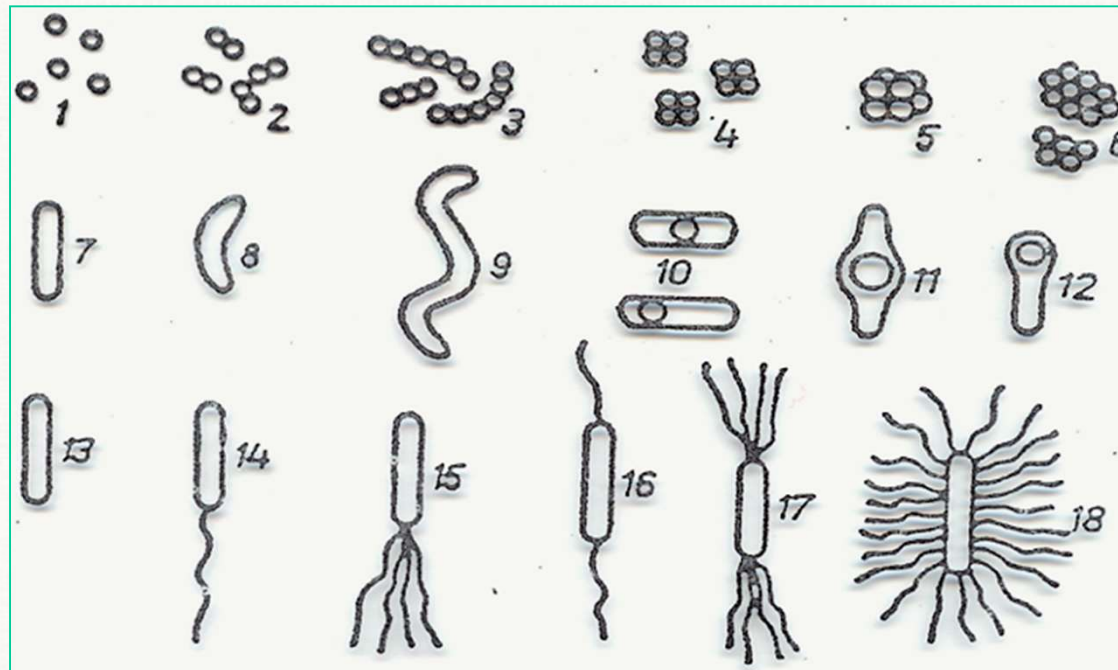
Jelentőségük:

- **ökológiai**, pl. nitrogénkötés, polimerek lebontása, humuszképzés
- **ipari**, pl. antibiotikum termelés, élelmiszeripar
- **humán/állat egészségügyi**, pl. emberi és állati kórokozók
- **mezőgazdasági**, pl. növénypatogének, biokontroll

Prokarióta sejt/telep jellemzői

Sejtméret: ált. 1-10 μm között/fénymikroszkóppal láthatók; legkisebb: *Mycoplasma* (0.2-0.3 μm), *Chlamydia* és *Rickettsia*; legnagyobb: *Thiomargarita namibiensis* (100-750 μm).

Mikromorfológia (pl. sejtalak, flagellumok száma és elhelyezkedése)



1/ kokkus; 2/diplokokkus; 3/ sztreptokokkus; 4/tetrakokus; 5/ csomag (szarcina); 6/ sztafilocokus, 7/ pálca, 8/ vibrio; 9/ spirillum; 10/ centrális/excentrikus endospóra; 11/ klosztrídium-forma; 12/ plektrídium-forma; 13/ atrich; 14/ monotrich; 15/ lofotrich; 16/ amfitrich; 17/ amfilofotrich; 18/ peritrich

Makromorfológia (pl. telepek színe, telepszélek és keresztmetszetek)

Prokarióta sejt felépítése

Baktérium tok. Nincs minden baktériumnál / gyakran homo-, vagy heteropoliszacharid) / pl. kórokozóknál virulenciafaktor; növény-baktérium kapcsolatban jelmolekulák.

Bacillus anthracis (D-glutaminsav homopolimer); *Leuconostoc mesenteroides* (dextrán, D-glükóz főleg $\alpha(1-6)$ kötés, infúziók, gélszűrés); *Streptococcus salivarius* (leván, fruktóz $\beta(1-4)$ kötés, fogromlás); *Xanthomonas* spp. (xantán, heteropoliszacharid, festékek/kenőanyagok/élelmiszerek); *Azotobacter* (alginát, heteropoliszacharid, enzim- és sejtrögztítés).

Baktérium sejtfa.

Gram festés: fixálás+kristályibolya+Lugol oldat+mosás(+szafranin) = G(+) kék/G(-) piros

Gram (+): 15-80 nm vastag murein (peptidoglükán réteg) + teichonsavak

Gram (-): külső membrán + 2-3 nm peptidoglükán réteg a periplazmatikus térben

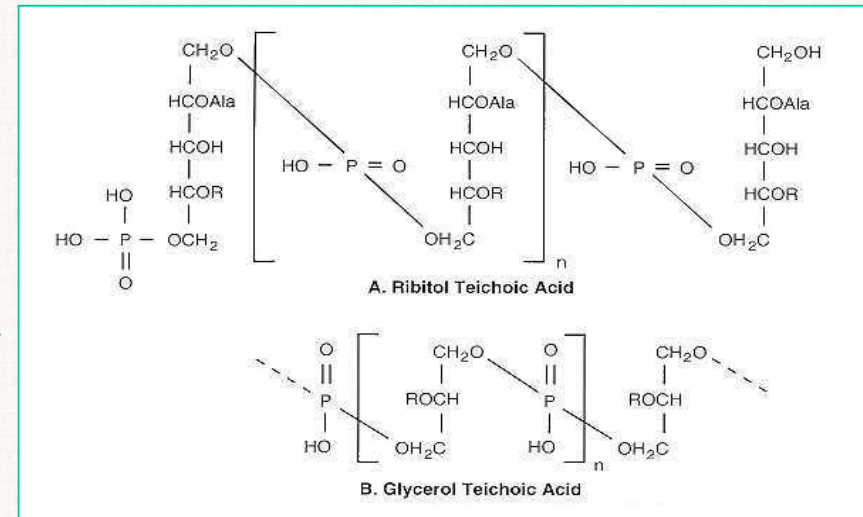
Peptidoglükán: N-acetilglükózamin/ $\beta(1-4)$ kötés/N-acetilmuraminsav) egységekből felépülő polimerlánc. NAM-hoz kapcsolódó tetrapeptid oldalláncok kapcsolják hálózattá. 1., 2., 4. aminosav mindig ugyanaz. 3. aminosav lehet: G(-): mDAP (meso-diamino-pimelinsav - a bakteriális lizin bioszintézis köztiterméke.); G(+): L-lizin, vagy mDAP. Gram(+) 3-5 tagból álló aminosav híd kapcsolja össze a 4. és a 3. aminosavat. G(-) közvetlen kapcsolódás.

Penicillin: a sejtfa-szintézis (transzpeptidáz reakció) gátlása / a D-alanin–D-alanin strukturális analógja

Lizozim: $\beta(1-4)$ glikozidos kötések bontása. Fal nélküli, ozmotikusan érzékeny sejtek keletkeznek: G(+) = protoplaszt / G(-) = szferoplaszt.

Teichonsavak. G(+) baktériumok falában akár 50%/ foszfodiészter kötésekkel kapcsolódó cukoralkoholok (pl. glicerol, ribitol) polimerje aminosav, cukorszármazék oldalláncokkal.

Lipopoliszaharid . G(-) baktériumok falában a külső membrán felszínén. Belülről kifele): **lipid A/ core oligoszacharid/ O-antigén (poliszacharid).**
Lipid A = endotoxin: a sejt szétesésekor jut ki.



Pilus (fimbria). Pl., F-pilus: fehérjéből felépülő sejtfelszíni csőszerű képlet.

Flagellum. Felépítése: **filament** (flagellin fehérje, csőszerű, 1-30 μ m) + **kampó** + **alapi test** (G (-) 4 gyűrű; G(+) 2 gyűrű).

Periplazmatikus tér. A külső membrán határolja: pl., kemoreceptorokat, enzimeket, kötő- és transzportfehérjéket, ozmotikus védelmet biztosító kis molekulákat tartalmazhat.

Sejtmembrán. Foszfolipid-bilayer: hidrofil felszín, hidrofób belső. *Bacteria*: lipidek = glicerol + zsírsavak **észterkötéssel**. *Archea*: glicerol + hidrofób rész (pl. szkvalén) **éterkötéssel**. Szterolok helyett **hopanoidok** (szterol analóg triterpének / polién antibiotikumok nem hatnak). Nincsenek kompartmentek, belső membránok, de lehet **betűródés**: pl. **mezoszóma**.

Citoplazma. Nincsenek belső kompartmentek és az eukariótákhoz hasonló citoskeleton.

Endospóra. Kevés faj képez, pl. *Bacillus*. Ellenálló a környezeti hatásokkal (pl. hő, sugárzás, kiszáradás, vegyszerek) szemben. Ca-dipikolinát tartalom arányos a hőtűréssel.

Prokarióta riboszómák. Számuk nagy, változó. **70S = 30S + 50S** (Svedberg); **30S:** 16S rRNS (1540 nukleotid) + 21 fehérje molekula; **50S:** 23S rRNS (2900 nt) + 5s rRNS (120 nt) + 34 fehérje. A riboszómális rendszer különbözősége - fehérjeszintézis eltérései - szelektív fehérjeszintézistgató antibiotikumok.

A baktériumok örökítőanyaga

Bakteriális kromoszóma. Haploidok. Nincs sejtmag; nukleoid régió (80% DNS, 10% RNS, 10% fehérje). Általában **1 db cirkuláris DNS**/kivételesen lineáris, pl. *Borrelia burgdorferi*. Nincsenek hisztonok, de hisztonszerű fehérjék (**HU-protein**) igen. A **GC arány** egy rokonsági körön belül is eltérhet: legalacsonyabb a *Mycoplasma* csoportban. **Nincsenek** (néhány kivételtől eltekintve) **intronok** → nincs mRNS érés

Méret: *E. coli* K-12 törzs **4.7 Mb**; *Sinorhizobium meliloti* (*R. meliloti*): **3.4 Mb** (+ megaplazmidok: **pSym1/1.4Mb**; **pSym2/1.7Mb**). Legkisebb: *Mycoplasma genitalium* (**0.59 Mb**), legnagyobb: *Myxococcus xanthus* (**0.95 Mb**).

$$1 \mu\text{m} = 2 \times 10^6 \text{ dalton} = 3 \text{ kbp}$$

Supercoiled szerkezet: DNS hurkok (*loop*) sorozata. Lánctörés egy szálaban (*nick*) = kitekeredés (teljes nyitott gyűrűhöz kb. 50 kell). **DNS giráz:** zárt cirkuláris DNS-ben negatív szuperhelikális fordulatok előidézése; **Topoizomeráz I:** supercoiled forma megszüntetése.

Prokarióta plazmidok. Cirkuláris - *supercoiled* szerkezet (kivétel pl. *Borrelia*, *Streptomyces* - lineáris). Kópiaszám lehet alacsony (1 db / *stringens*), illetve magas (10-100 db / *relaxált*). Fenotípus alapján: **fertilitási/bakteriocinogén/rezisztencia/(virulencia)/(metabolikus)** plazmidok.

Fertilitási p.: pl. *E. coli* **F-plazmid** / 94.5 kbp / 1-2 kópia (*stringens*) / **F+ (donor)** és **F-(recipiens)** sejtek. A plazmid tartalmazza a konjugációs pilus képződéséhez és a plazmid átjuttatásához szükséges genetikai információt = **konjugáció**.

Hfr: high frequency of recombination (nagy gyakoriságú rekombináció). Az F plazmid integrálódik a donor génállományába, felnyílik és a plazmid átjut a piluson, „viszi magával” a szomszédos bakteriális géneket. Átjutás a gének sorrendje szerint. Az átjutott szakasz rekombinálódik a recipiens genomjával.

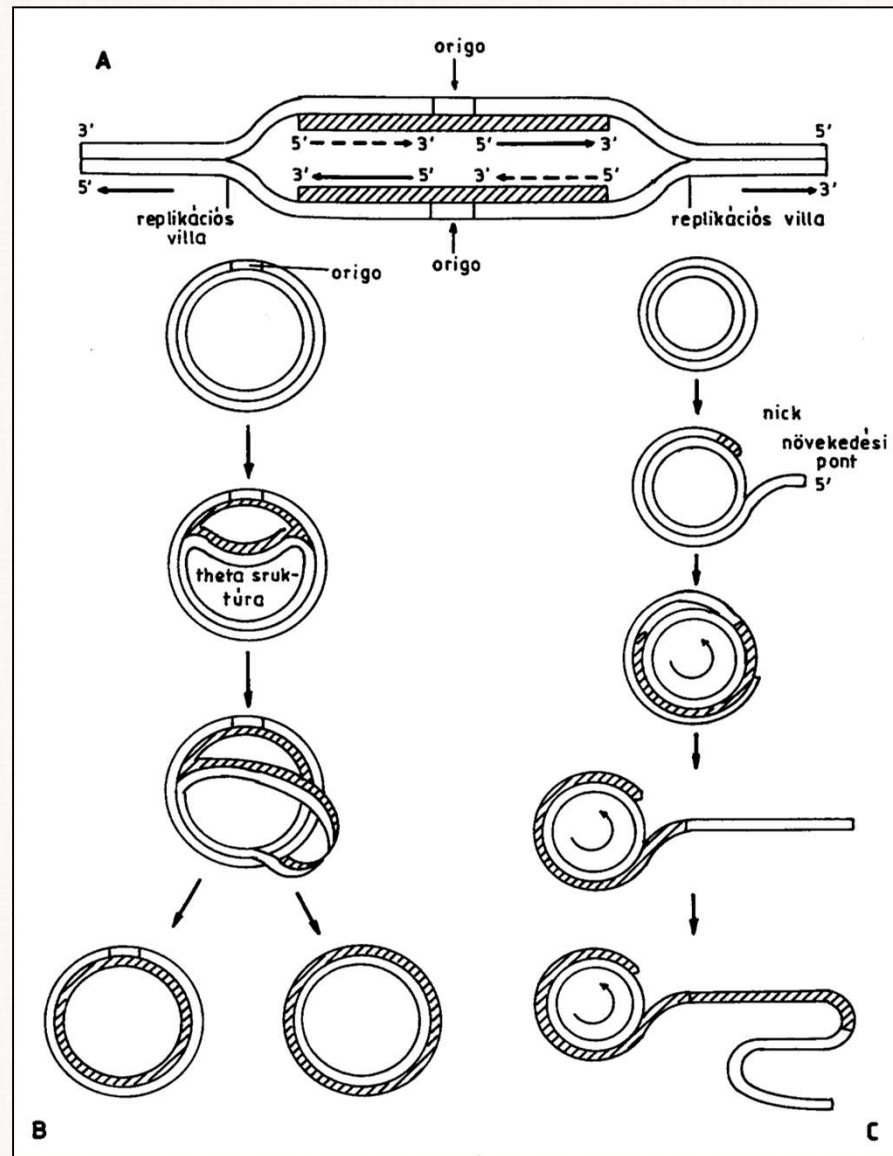
Szexdukció: A genomba integrálódott plazmid pontatlanul is kivágódhat: **F' rekombináns plazmid**. A recipiensbe átjutva nemcsak F+ lesz, hanem rekombináció is történik.

Bakteriocinogén p.: Relaxált plazmidok - **bakteriocinek** termelése. Gének: átvitel, bakteriocin, immunoprotein (védelem). Fajazonos, vagy rokon baktérium elpusztítása. Pl.: *E. coli*: colicinek; *Bacillus megaterium*: megacinek.

Rezisztencia p.: változatos méret, pl. antibiotikum(ok) elleni rezisztencia.

Virulencia p.: pl. *Agrobacterium tumefaciens* (*Rhizobium radiobacter*) **Ti-plazmid**.

Növényi tumorok (pl. málna). T-DNS (ismétlődő szekvenciákkal határolt): növényi hormon gének (auxin, citokinin), opin bioszintézis gének. Opinok: csak a plazmidhordozó *Agrobacterium* törzsek hasznosítják szénforrásként. **T-DNS:** növények laboratóriumi transzformációja.



Bakteriális kromoszóma replikációja:
Egy pontból (replikációs origó) két
irányban, a **theta struktúrán keresztül**.

Bakteriális extrakromoszómális elem
replikációja: „forgó kör” (**rolling circle**)
modell

Baktérium rendszertan

Filogenetikus rendszertan (fejlődéstörténeti rendszertan) a **leszármazási kapcsolatokon** alapul. **Molekuláris filogenetika** – szekvencia adatok. Három nagy csoport (***Bacteria***, ***Archaea***, és ***Eucarya***): **16S rRNS** (1540 nukleotid) szekvenciaadatok alapján (Carl Richard **Woese** úttörő munkássága).

Bacteria

Phylum: Proteobacteria

Gram-negatív festődés/változatos morfológia/Öt osztály: Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria, Deltaproteobacteria és Epsilonproteobacteria

Alphaproteobacteria

Azospirillum. A. lipoferum. Asszociatív kapcsolat elsősorban gabonafélékkel. Hatékony nitrogénkötés + fitohormonok (pl. indol-3-ecetsav = heteroauxin) szintézise = a gyökérrendszer serkentett fejlődése = megnövekedett víz- és tápanyag felvétel = termés hozam növekedés.

Acetobacter. A. aceti / A. xylinum. Ellipszoid, egyenes pálcák. Peritrich, laterális flagellumok. Aerobok. Etanolt ecetsavvá alakítják = „biológiai ecetgyártás” (max. 10%). Cellulóz tok.

Rickettsia. R. prowazekii. Apró (0,3-1 mikron) pleomorf sejtek. Obligát intracelluláris paraziták (sejten kívül nem szaporodik -szövettenyésztésben tenyészthetők). Kiütéses, magas lázzal járó betegségek (pl. kiütéses tífusz; vektor = ruhatetű).

Rhizobium. R. radiobacter (Agrobacterium tumefaciens). Növényi tumorok–Ti plazmid.

Rhizobium, Sinorhizobium, Bradyrhizobium fajok. Pálca alak, flagellumok.

Dillangósvirágu növények gyökérgümőiben (gazdaspecifikus tapadás) endoszimbionta

Betaproteobacteria

Bordetella. B. pertussis. Kokkobacillus, aerob, a számarköhögés (pertussis) kórokozója. Cseppfertőzéssel terjed, tracheák, hörgők epiteliális sejtjein szaporodik, pertussiszisztóxin irritálja a felületi sejteket - köhögési rohamok + szövődmények. Vakcina: DiPerTe (acelluláris komponens).

Neisseria. Diplococcus, obligát aerob, emlősök nyálkahártyáján (2 faj obligát humánpatogén). **N. gonorrhoeae.** Kankó (tripper) – nemi szervek gennyos gyulladása. Újszülöttek szemcseppentése. Nem marad védettség. **N. meningitidis.** Járványos gerinc- és agyhártyagyulladás. Cseppfertőzéssel terjedő, szubtrópusi területekre jellemző, gyors lefolyású betegség, védettség marad.

Thiobacillus. T. thiooxidans, T. ferrooxidans. Színtelen kénbaktériumok. Kemolitotrófia: szervetlen kénvegyületek oxidálása. H_2S méregtelenítés szulfáttá. Acidofil baktériumok. Mikrobiális bányászat: pl. vas szulfidból vas szulfát - ez az oxidáló ágens reagál réz szulfidokkal és vízdékony $CuSO_4$ keletkezik.

Gammaproteobacteria

Escherichia. E. coli. Egyenes, peritrich pálcák. A tápcsatorna normál flórájának része. A születés után órákkal megjelenik. 700 feletti szerotípus (eltérő felszíni fehérjék és poliszacharidok). Kórokozó (pl. toxintermelő) törzsek is ismertek. Biotechnológiai jelentőség, kedvelt vizsgálati objektum.

Shigella. S. dysenteriae. *E. coli*-hoz hasonlóak, de nem mozognak. Vérhast (dysenteria) okoznak.

Fekális-orális fertőzés - a gyomorsav nem pusztítja el őket - 3-4 napos lappangás - láz, bevérzések a vastagbélben, véres hasmenés. Shiga toxin: A-B alegység - fehérjeszintézis blokk. Halálos kimenetel is lehet. 4 F: „Food, fingers, faeces and flies”.

Deltaproteobacteria

Desulfovibrio. D. desulfuricans. Anaerob. Disszimilációs szulfát redukáló: szulfátok a terminális elektronakceptorok - H₂S keletkezik (sejtméreg). Mocsarak, halastavak, rizsföldek. Mikrobiológiai korrózió (katód depolarizációs mechanizmus) = felgyorsítja a fémek korrózióját.

Epsilonproteobacteria

Campylobacter. C. jejuni, C. coli. Görbült („campy”), mikroaerofil, „termofil” (42 °C). Jelentősége a 1970-es évek óta nő (több esetért felelős, mint a *Salmonella*). A madarakban nem vált ki tünetet, emberben patogén. Fertőzés (ált. élelmiszertől) tünetei: hasmenés, láz, hányinger és fejfájás.

Helicobacter. H. pylori. Meghatározó szerepe van a gyomorfekély kialakulásában. Orális-fekális úton csak emberről emberre terjed. Hordozása a gyomorrák kockázatát megnöveli.

Phylum: Firmicutes (Low G+C)

Staphylococcus. S. aureus. Kokkuszok szőlőfürtszerűen. A normál humán flórában: bőr, felső légutak. Gyulladást, de enterális tüneteket is. Ellenálló (beszáradás, magas sókoncentráció – NaCl 9%), gyakori polirezisztencia. *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (MRSA): súlyos fertőzések - nem érzékenyek beta-lactam antibiotikumokra.

Streptococcus. Láncokba rendezett kokkuszok. Fakultatív anaerobok, tejsavas erjedés. **S. mutans, S. salivarius** (orális sztreptokokkuszok): fogszuvasodás. **S. faecalis.** Gyulladások (pl. húgyutak), β-hemolízis, viszonylag hőtüró (30'/60 °C), gyakori polirezisztencia.

Bacillus. B. anthracis. Gram pozitív endospóras pálcák. D-glutaminsav tok. Ellenálló spórák (biológiai fegyver). Lépfene (antrax): bőr-, tüdő-, bél-antrax. Kezelés: ciproflaxin (nincs rezisztencia). **B. thuringiensis.** „Mikrobiális inszekticid” (szúnyogirtás). Parasporális kristály = delta endotoxin (gluzmid kérdelt) = a proteáz a reverz proteázok aktiválják, amely perforáló

Clostridium. Gram(+) endospórák. Anaerobok, talajban, vizekben, bélrendszerben. Vajsavas erjedés. **C. tetani.** Dobverő forma. Tetanusz („merevgörcs”) okozója. Sérüléseken jut be, nem invazív, a plazmid kódolt neurotoxin (tetanospazmin) terjed - a gátló neurotranszmittereket blokkolja = állandó izomkontrakció. Vakcina: DiPerTe (toxoid). **C. botulinum.** Botulizmus = különleges ételmérgezés. A fágkódolt botulinusztoxin hőstabil (kb. 20 perc/100°C kell). Forrás: nyers hústermékek, házi konzervek, vákumozott zöldségek. Neurotoxin: petyhüdt bénulás (az acetilkolin felszabadulás gátlódik = nyelési és beszédzavar + légzésbénulás). Halálos is lehet.

Lactobacillus. L. lactis, L. bulgaricus. Gram(+), szabályos, nem-spórák. Nincs patogén, a normál humán flórában is megtalálhatók (hüvely, bél), és számos faj fontos az élelmiszeriparban. Szeretik az emelt CO₂ tenziót (mikroaerofil, f. anaerob). Fermentálnak: glükózból tejsav. Acidofil baktériumok.

Phylum: Actinobacteria (High GC)

Mycobacterium. Sejtfalban lipid jellegű mikolinsavakat tartalmaznak. Gram festés nem működik. Görbült, egyenes pálcák: fonalásodásra hajlamosak. **M. tuberculosis.** Ellenálló: kiszáradás, vegyi anyagok (tejtermékekben hónapokig). Tuberkulózis (TBC, gümőkór): tüdő, bél, csont. Cseppfertőzés, tejfogyasztás. Tüdőben gümők (tuberkulumok). Vakcina: BCG = *Mycobacterium bovis* attenuált sejtek. Kezelés hatóanyag keverékkel, pl.: INH (isoniazid; mikolinsav szint. g.) + sztreptomycin (fehérjeszintézis g.) + rifampicin (DNS-dependens RNS polimeráz g.). **M. leprae.** A lepra kórokozója.

Phylum: Chlamydia

Chlamydia. Pici, redukálódott, intracelluláris paraziták. Sejtfal van, de hiányzik a N-acetil muraminsav (tetrapeptid összetartotta mátrix)= lizozim nem hat, penicillin igen. Nincs ATP

Phylum: Spirochetes

Borrelia. B. burgdorferi. Vékony, szabálytalan spirális formájú pálca. A Lyme-kór kiváltója. Kullancs vektorok (pl. *Ixodes ricinus*). Bejutás helyén növekvő bőrpír. Ízületi tokban felszaporodó baktériumok = károsodó ízületi felszín. Nagy dózisú antibiotikus kezelés. Vakcina nincs.

Phylum: Tenericutes

A Firmicutes csoporttal rokon sejtfal nélküli baktériumok (mikoplazmák). **Mycoplasma pneumoniae.** Atipikus tüdőgyulladás okozója. **Spiroplasma citri.** Citrusfélék kórokozója. **S. apis.** Háziméheket betegít meg.

Archaea

Három filogenetikai ág: *Euryarchaeota*, *Crenarchaeota*, *Korarchaeota*. Változatos morfológia, változatos Gram-festődés. Extremofilek (extrém körülmények közötti életmód).

Extrém halofilek. Optimális NaCl koncentráció 2-4,5 M. Előfordulás, pl.: Nagy Sós-tó, sóleparlók. **Halobacterium halobium.** Oxigén jelenlétében heterotróf növekedés. Anaerob körülmények: bíbor bakteriorodopszint termel. Ez fény hatására cisz-transz konformáció változás mellett protonokat pumpál a sejten kívülre. A visszaáramló protonok által hajtott ATP-áz biztosítja az ATP-termelést.

Metanogének. A legelterjedtebb Archaeák (pl. **Methanobacterium**). Obligát anaerobok: erősen redukáló környezetben élnek, ahol kevés, vagy nincs oxigén (mocsarak, üledékek, bél). Fontosak a szén körforgásában, a metán kibocsátással fokozzák az üvegházhatást.

Hipertermofilek. Optimális hőmérséklet ált. 80 °C felett. Semleges közeli pH-optimum (kiv. **Sulfolobus**, **Thermoplasma** - acidofilek). Számos obligát anaerob faj. Nagy hőstabilitású