

PROKARYOTICKÉ MIKROORGANISMY

Charakteristické vlastnosti významných
kultivovatelných skupin prokaryot

Prokaryota

- Dvě domény
 - Archaea
 - Bacteria
- Více než 7000 známých prokaryot

Doména: *Bacteria*

- 29 kmenů kultivovatelných bakterií
- Řada dalších kmenů známa na základě metagenomických dat

Učebnice Madigan a kol., 12th ed., obr. 15.1, str. 399

Kmen: *Proteobakterie*

- Největší skupina bakterií
- 5 tříd (α , β , γ , δ , ϵ)
- Gram-negativní
- Velká metabolická a morfologická diverzita

Purpurové fototrofní bakterie

- Nejdůležitější rody: *Chromatium*, *Rhodobacter*, *Rhodospirillum*, *Ectothiorhodospira*
- Fototrofní, anoxygenní
- Bakterioklorofyl, karotenoidy
- Fotosyntetické membrány v cytoplasmě
 - Různá morfologie
 - Invaginace CM membrány

Purpurové fototrofní bakterie

- Purpurové sírné bakterie
 - Redukované sloučeniny síry jako donor elektronů pro redukcí CO_2 při fotosyntéze
 - Obvykle ve vodném prostředí, ve kterém se síra akumuluje nebo vytváří H_2S
- Purpurové nesírné bakterie
 - Typický fotoheterotrofní metabolismus
 - Většina může růst i fotoautotrofně
 - Některé potmě aerobně respirací, jiné anaerobně fermentačně nebo respiračně
 - Fixují dusík

Nitrifikační bakterie

- Nejdůležitější rody: *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*
- Chemolitotrofní
 - Zdroj energie redukována anorganická látka (zde dusíkatá)
- Nitrifikace probíhá jako sekvence 2 reakcí
 - Oxidace amoniaku
 - Nitrosifikační bakterie
 - Nitroso-
 - Oxidace dusitanu
 - Právě nitrifikační bakterie
 - Nitro-
- Vnitřní membránové systémy
 - Obsahují enzymy pro nitrifikaci (amoniakmonooxygenasa)
- Výskyt ve vodě a půdě

Bakterie oxidující síru a železo

- Nejdůležitější rody: *Thiobacillus*, *Acidithiobacillus*, *Achromatium*, *Beggiatoa*
- Chemolitotrofní (H_2S , S , $S_2O_3^{2-}$)
 - Některé obligátně, pak i autotrofní
 - *Beggiatoa* mixotrofní (anorganické sloučeniny síry jako zdroj energie, organické látky jako zdroj uhlíku)
- 2 velké skupiny
 - Acidofilní
 - Vytvářejí kyselinu sírovou
 - *Acidithiobacillus ferrooxidans* oxiduje Fe^{2+}
 - Žijící při neutrálním pH
- Voda, rizosféra rostlin (*Beggiatoa*)

Bakterie oxidující vodík

- Nejdůležitější rody: *Ralstonia*, *Paracoccus*
- Energie: redukce kyslíku vodíkem
- Mnohé rostou autotrofně
- Většina fakultativně chemolitotrofní
- Obsahují enzymy hydrogenasy
- Chemolitotrofní růst v prostředí s 5-10% kyslíku a obsahujícím nikl (kofaktor hydrogenasy)
- Některé fixují dusík
- G^- i G^+ (neřadí se všechny k proteobakteriím!)

Metanotrofní a metylotrofní bakterie

- Nejdůležitější rody: *Methylobacter*, *Methylobacter*
- Oxidace metanu a dalších jednoduhých sloučenin (zdroj energie i uhlíku)
 - Metanotrof
 - Methylotrof
 - Řada z nich současně i metanotrofní
- Obsahují větší množství sterolů
- Vnitřní membránové systémy
 - Umístěn enzym metanmonooxygenasa
 - Oxidace metanu na metanol
- V půdě a vodě u zdrojů metanu
- Symbióza s mořskými mušlemi (vakuoly)

Pseudomonády

- Nejdůležitější rody: *Pseudomonas*, *Comamonas*, *Ralstonia*, *Burkholderia*, *Zymomonas*, *Xanthomonas*
- Přímé nebo zakřivené tyčinky s polárním bičkem (pohyblivé)
- Respirační metabolismus, téměř nikdy fermentace
- Pozitivní oxidasový i katalasový test, netvoří plyn při oxidaci glukosy
- Tvorba fluorescenčních pigmentů
- Schopnost metabolizovat mnoho různých sloučenin
- Ekologicky významné
 - Degradace látek z rozkladu rostlin a živočichů
 - Degradace xenobiotik (bioremediace)
- Metabolismus glukosy Entner-Doudoroffovou dráhou

Patogenní pseudomonády

- *Pseudomonas aeruginosa*
 - Oportunní patogen
 - Infekce pacientů s oslabenou imunitou
 - Přirozeně rezistentní k mnoha antibiotikům
- Některé druhy jsou patogenní pro rostliny (fytopatogenní)
 - *Ralstonia*
 - *Xanthomonas*
 - *P. syringae*

Zymomonas

- Fylogeneticky příbuzné pseudomonádám
- Oxidasa negativní
- Fermentace cukrů na etanol
- Entner-Doudoroffova dráha

Octové bakterie

- Nejdůležitější rody: *Acetobacter*, *Gluconobacter*
- Gramnegativní, aerobní, pohyblivé tyčinky
- Neúplná oxidace alkoholů a cukrů na organické kyseliny (akumulace)
- Tolerantní k nízkému pH (<5)
- Bičík
 - Polární: *Gluconobacter*
 - Peritrichální: *Acetobacter*
- *Acetobacter* je schopen oxidovat kyselinu octovou (oxidace ethanolu) dále na CO₂, *Gluconobacter* ne
 - *Gluconobacter* nemá kompletní citrátový cyklus
- Průmyslové využití
 - Výroba octa
 - Výroba sorbosy (oxidací sorbitolu, prekurzor pro výrobu vitamínu C)
 - Celulosa

Aerobní bakterie fixující dusík

- Nejdůležitější rody: *Azotobacter*, *Azomonas*
- Půdní bakterie
- Nitrogenasa
- *Azotobacter*
 - Obligátně aerobní tyčinky, pleomorfni
 - Tvorba polysacharidových pouzder
 - Roste i na jiných zdrojích dusíku
 - Může tvořit cysty (klidové formy buněk)
- *Azomonas*
 - Netvoří cysty
 - Hlavně voda

Neisseria a příbuzné rody

- Nejdůležitější rody: *Neisseria*, *Chromobacterium*, *Moraxella*, *Acinetobacter*
- Aerobní metabolismus
- Bez bičíku
- Koky nebo tyčinky přecházející na kokoidy ve stacionární fázi
- Živočichové, některé patogenní
 - *Neisseria gonorrhoeae*
 - Kapavka
- *Acinetobacter* ve vodě a půdě

Enterobakterie (střevní bakterie)

- Nejdůležitější rody: *Escherichia*, *Salmonella*, *Proteus*, *Enterobacter*, *Shigella*, *Yersinia*
- Gramnegativní, nesporulující tyčinky
- Nepohyblivé nebo pohyblivé pomocí peritrichálních bičíků
- Fakultativně aerobní
- Oxidasa negativní
- Katalasa pozitivní
- Tvorba kyseliny z cukrů (fermentace)
 - Fermentace za vzniku směsi kyselin
 - Butandiolové kvašení
- Dusičnany redukuje pouze na dusitany
- Mnoho patogenních druhů
- *E. coli*: nejstudovanější mikroorganismus, modelový

Identifikace enterobakterií

- Řada diagnostických testů a diferenčních médií
- Velmi příbuzné
 - Identifikace velmi obtížná
 - Počítačová analýza velkého množství testů
 - Imunologické sondy
 - Analýza nukleových kyselin

Enterobakterie tvořící směsné kyseliny

- *Escherichia*
 - Zažívací trakt člověka a živočichů
 - Syntéza vitamínu K
 - Některé kmeny patogenní
- *Salmonella, Shigella*
 - Obvykle patogenní
 - Průjemová onemocnění
- *Proteus*
 - Rychlá pohyblivost
 - Plazivý růst na agarové plotně
 - Tvorba ureasy
 - Infekce močových cest

Enterobakterie tvořící butandiol

- *Klebsiella*
 - Voda, půda
 - Fixace dusíku
 - *K. pneumoniae* patogenní
- *Enterobacter*
 - Voda, odpadní voda, střevní trakt teplokrevných živočichů
- *Serratia*
 - Tvorba červeného pigmentu
 - Prodigiosin
 - Charakteristické barevné kolonie na agaru
 - Voda, půda, střevní trakt hmyzu a obratlovců, občas i člověka

Riketsie

- Nejdůležitější rody: *Rickettsia, Wolbachia*
- Obligátní intracelulární parazité
- Mnohé způsobují nemoci
- Postrádají řadu metabolických funkcí
 - Získávají důležité metabolity od hostitele
- Přenos přes artropodního hostitele

Spirilla

- Nejdůležitější rody: *Spirillum, Bdellovibrio, Campylobacter*
- Spirálovitý tvar
- Neohebná buněčná stěna
- Pohyb pomocí bičíku(ů)
- Aerobní nebo mikroaerofilní
- Většinou ve vodě
- *Bdellovibrio*
 - Živí se jinými bakteriemi
 - Množí se v periplasmě
- Magnetotatická spirilla
 - Obsahují magnetosomy sestávající z Fe_3O_4 nebo Fe_3S_4
- *Campylobacter jejuni*
 - Způsobuje úplavici
- *Helicobacter pylori*
 - Žaludeční vředy

Pochvaté proteobakterie

- Nejdůležitější rody: *Sphaerotilus, Leptothrix*
- Nerozvětvené vláknité formy
- Vlákno je uzavřeno v obale (pochvě) z lipoproteinů a polysacharidů
- Obal chrání bakterie a připevňuje je na pevné povrchy
- Sladkovodní prostředí bohaté na organické živiny
- Pouzdro může být impregnováno hydroxidem železitým nebo oxidem manganatým
- Hnědé povlaky na znečištěných tocích

Pučící a prostékaté bakterie

- Nejdůležitější rody: *Hyphomicrobium, Caulobacter*
- Tvoří různé druhy cytoplasmatických extruzí
 - Prostěky
 - Stěbla, hyfy, přívěsky
- Nerovnoměrný růst buňky

Učebnice Madigan a kol., obr.
15.37, str. 433

Pučící bakterie

- *Hyphomicrobium*, *Rhodomicrobium*
- Uvolňují pupeny z konce dlouhé hyfy
- Hyfa je přímým prodloužením mateřské buňky
- *Hyphomicrobium*
 - Metylotrofní a denitrifikační bakterie
 - Sladká, slaná voda, i suchozemské prostředí

Prostékaté a stéblovité bakterie

- Nejdůležitější rody: *Caulobacter*
- Striktně aerobní
- Připojují se pomocí přívěsků k pevným materiálům, rostlinám, mikroorganismům ve vodném prostředí
- Zvětšení plochy buňky
 - Zlepšení absorpce živin
- Snížení rychlosti sedimentace
 - Prostěky zabraňují klesání bakterie do sedimentu nebo anoxní zóny

Myxobakterie

- Nejdůležitější rody: *Myxococcus*, *Stigmatella*
- Pohybují se klouzavým pohybem
 - Nemají bičík
 - Pohyb při kontaktu s povrchem
- Tvoří plodnice
 - Diferencují se na kulovité myxospory
 - Jednoduchá kulatá masa myxospor ve slizu až komplexní formy se stěnou a stonkem
 - Často výrazně zbarveny
 - Karotenoidy
 - Při nedostatku výživy
 - Mikrospory mohou být uzavřeny v cystách
- Chemoorganotrofní půdní bakterie
- Tráví mrtvý organický materiál a jiné bakterie

Bakterie redukující síru a sírany

- Nejdůležitější rody: *Desulfovibrio*, *Desulfobacter*
- Užívají síru nebo sírany jako koncové akceptory elektronů při anoxních podmínkách (anaerobní respirace)
 - Redukce na sirovodík
- Organické sloučeniny nebo vodík jako donor elektronů
- Bakterie redukující sírany
 - Skupina I
 - Oxidace org. látek na acetát
 - Skupina II
 - Oxidace org. látek až na CO₂
- Obvykle striktně anaerobní
- Často mohou růst i na nitrátu
- V usazeninách bohatých na organické látky
- Důležité v recyklaci síry

Kmen: Firmicutes

- Gram-pozitivní
- Nízký obsah GC

Nesporulující grampozitivní bakterie

- Nejdůležitější rody: *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Sarcina*

Staphylococcus a Micrococcus

- Aerobní organismy
- Respirační metabolismus
- Katalasa pozitivní
- Tolerují vyšší koncentrace soli

Staphylococcus a Micrococcus

- Stafylokoky
 - Fakultativně aerobní
 - Běžné komenzální a parazitické organismy u člověka
 - *S. epidermidis*
 - Neopatogenní
 - Kůže
 - *S. aureus*
 - Patogenní
 - Žlutý pigment
- *Micrococcus*
 - Obligátně aerobní
 - Kůže, ale častěji na neživých objektech, prachových částicích a v půdě
 - Morfologicky příbuzný stafylokokům, ale fylogeneticky se řadí k aktinobakteriím
- Rod *Staphylococcus* a *Micrococcus* lze rozlišit pomocí OF testu
 - *Staphylococcus* tvoří kyselinu z glukosy za aerobních i anaerobních podmínek, *Micrococcus* jen za aerobních

Sarcina

- Dělí se ve třech kolmých směrech
- Obligátně anaerobní
- Fermentace cukrů
- Extrémně acidotolerantní (pH 2)
- Půda, bahno, fekálie, obsah žaludku

Bakterie mléčného kvašení

- Významné rody: *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactobacillus*
- Tyčinky nebo koky vytvářející kyselinu mléčnou jako hlavní nebo jediný fermentační produkt
- Neobsahují porfyriny a cytochromy
 - Získávají energii *pouze* fosforylací na úrovni substrátu
- Katalasa negativní
- Aerotolerantní anaerobní organismy
- Dvě skupiny
 - Homofermentativní
 - Kyselina mléčná
 - Heterofermentativní
 - Kyselina mléčná + ostatní produkty (EtOH + CO₂)
 - Neobsahují aldolasu (glykolysa)

***Streptococcus* a ostatní koky**

- Některé patogenní
- Využití při přípravě podmáslí, siláže a dalších fermentovaných produktů
- *Lactococcus*
 - Streptokoky významné v mlékárenství
 - Homofermentativní
- *Enterococcus*
 - Streptokoky primárně fekálního původu
 - Homofermentativní
- *Streptococcus*
 - Hemolýza
 - α (kompletní), β (ztráta draslíku z červených krvinek)
 - Homofermentativní
- Dělení streptokoků a příbuzných koků podle imunologické reakce (A – O)
- *Leuconostoc*
 - Heterofermentativní
 - Tvorba diacetylů a acetoinu z citrátu

Lactobacillus

- Tyčinkový tvar
- Většinou homofermentativní
- Běžné v mléčných produktech
- Některé druhy se používají pro přípravu fermentovaných mléčných výrobků
- Jiné při přípravě kysaného zelí, nakládané zeleniny, siláže
- Acidotolerantní (pH 4)

Listeria

- Kokobacilus tvořící řetízky
- Fylogeneticky příbuzná *Lactobacillus*, ale
 - Potřebuje k růstu kyslík
 - Obsahuje katalasu
- *L. monocytogenes*
 - Listeriosa
 - Přenos potravou (sýr)
 - Lehké onemocnění až smrtelná forma meningitidy

Sporulující grampozitivní bakterie

- Nejdůležitější rody: *Bacillus*, *Clostridium*, *Sporosarcina*, *Heliobacterium*
- Značná genetická variabilita
 - GC obsah se liší až o 40%
 - Ekologicky příbuzné
 - Půda
- Tvoří spory
- Lze selektivně izolovat zahřátím vzorku (půdy, potravina atd.) na 80°C po dobu 10 min a následnou kultivací na vhodném médiu

Bacillus

- Aerobní nebo fakultativně aerobní
- Častá tvorba extracelulárních hydrolytických enzymů
- Tvorba antibiotik
 - Při sporulaci
 - Bacitracin, polymyxin, tyrocidin, gramicidin, cirkulin
- Tvorba insekticidů
 - *B. thuringiensis*
 - Tvorba krystalického proteinu během sporulace
 - Protoxin, který je přeměněn na toxin proteolyticky ve střevě larvy
 - Toxin se váže na epitel a indukuje tvorbu pórů, které způsobí lýzi buňky
 - Využití endospor jako biologického insekticidu
 - Biotechnologická aplikace (rezistentní rostliny)

Clostridium

- Anaerobní, neobsahují respirační řetězec
 - Získávají energii pouze fosforylací na úrovni substrátu
- Využívají různé substráty
 - Cukry
 - Kyselina máselná
 - Některé druhy aceton a butanol
 - Celulosa
 - Aminokyseliny
- Některé fixují dusík
 - *C. pasteurianum*
- Půda, střevní trakt živočichů
- Některé mohou být patogenní
 - *C. botulinum*, *C. tetani*

Grampozitivní bakterie bez buněčné stěny

- Nejdůležitější rody: *Mycoplasma*, *Spiroplasma*
- Mykoplasmata
- Jednoduchá buněčná struktura, malý genom
- Parazitické
- Cytoplasmatická membrána obsahuje steroly
- Některá mykoplasmata obsahují lipoglykany
 - Heteropolysacharidy vázané k membránovým lipidům
 - Stabilizace membrány
 - Napomáhají připojení mykoplasmat k receptorům živočišných buněk
 - Stimulují produkci protilátek
- Velmi malé, pleomorfní organismy, 0.2-0.3 µm
- Na pevných médiích vypadají jako „volí oko“
- Necitlivé k penicilinu, vankomycinu a ostatním látkám inhibujícím syntézu buněčné stěny

Spiroplasma

- Spirálovitý tvar a ohebnost podobné spirochétám
- Pohybují se rotačním pohybem nebo pomalým vlněním
- Způsobují řadu nemocí u rostlin a hmyzu

Kmen: Aktinobakterie

- Grampozitivní bakterie s vysokým obsahem GC
- Tyčinkovité až vláknité
- Aerobní
- Půda, rostliny
- Obvykle neškodné
- Ekonomický význam
 - Antibiotika
 - Fermentované mléčné výrobky

Koryneformní bakterie

- Nejdůležitější rody: *Corynebacterium*, *Arthrobacter*
- Nepohyblivé tyčinky nepravidelného tvaru
- Rozmanitá skupina
 - Rostlinné a živočišné patogeny i saprofytické organismy
 - *Arthrobacter*
 - Půda
 - Změna tvaru z tyčinky na kulovitý tvar
 - Rezistentní k vysušení a nedostatku živin (netvoří ale spory)
 - Degradace řady různých látek

Propionibacterium

- Tvoří kyselinu propionovou, octovou a CO₂ fermentací laktátu
 - Produkt fermentace jiných bakterií
 - Sekundární fermentace
- Anaerobní
- Ementál

Mykobakterie

- Nebarví se podle Grama
- Barvení fuchsinem (stále v prostředí kyselého alkoholu)
- Zvláštní lipid v buněčné stěně
 - Kyselina mykolová
 - Voskový povrch buňky
 - Více odolné vůči desinfekčním prostředkům
 - Odlišná citlivost vůči antibakteriálním lékům
- Pleomorfní
- Mnohé bakterie jsou pigmentované (karotenoidy)
- *Mycobacterium tuberculosis*, *M. leprae*

Vláknité aktinobakterie (aktinomycety)

- Nejdůležitější rody: *Streptomyces*, *Actinomyces*
- Tvoří rozvětvená vlákna a mycelium
- Většina tvoří spory

Streptomyces

- Více než 500 druhů
- Růst nastává na konci vlákna, často doprovázen větvením
- Při stárnutí kultury se tvoří vzdušná vlákna
 - Sporofory
 - Z nich se dále tvoří spory (konidie)
 - Často pigmentované
- Primárně půdní bakterie
 - Aroma zeminy
 - Geosminy
 - Alkalické a neutrální půdy

Streptomyces a antibiotika

- Více než 500 různých látek
- Tvorba spojena se sporulací
- Často vytvářeno více než jedno antibiotikum jedním organismem, i chemicky nepříbuzná
- Rezistence k vlastnímu antibiotiku, ale citlivost k antibiotikům z jiných streptomycet
- Aminoglykosidy, tetracykliny, makrolidy, polyeny, chloramfenikol
- Význam v přírodě?
 - Inhibice růstu kompetujících organismů při limitním výskytu živin?

Kmen: Cyanobakterie

Cyanobakterie (sinice)

- Nejdůležitější rody: *Synechococcus*, *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Anabaena*
- Fototrofní, oxygenní
- Velká morfologická diverzita
 - Jednobuněčné, dělicí se podvojným štěpením
 - Jednobuněčné, dělicí se vícenásobným štěpením (tvořící kolonie)
 - Vlákňité, neobsahující heterocyty
 - Vlákňité, obsahující heterocyty
 - Rozvětvené vlákňité druhy

Struktura cyanobakterií

- Buněčná stěna podobná gramnegativním organismům
- Mnohé tvoří slizovité obaly
- Komplexní fotosyntetické membrány
- Pouze chlorofyl *a*
- Přídavná barviva fykobiliny
 - Fykocyanin a fykoerytrin
- Plynové váčky
 - Zejména u druhů žijících ve vodě (plankton)

Struktura cyanobakterií

- Heterocyty
 - Zakulacené buňky vznikající z buňky vegetativní
 - Probíhá zde fixace dusíku (přítomen pouze fotosystém I, netvoří se kyslík)
 - Některé vlákňité cyanobakterie
- Mnohé cyanobakterie vykazují klouzavý pohyb
 - Foto- a chemotaxe
- U vlákňitých cyanobakterií může docházet k fragmentaci vlákna za tvorby hormogonií



Fyziologie a ekologie cyanobakterií

- Požadavky na výživu jsou nízké
- Běžná fixace dusíku
- Většinou obligátně fototrofní
- Řada cyanobakterií vytváří neurotoxiny
- Některé vytvářejí půdní aroma a chuť (geosmin)
- Žijí ve vodním prostředí
- Odolnější než řasy
 - Dominantní fototrofní organismy v extrémních prostředích
- Symbióza s houbami v lišejnících

Prochlorofyta

- Nejdůležitější rody: *Prochlorococcus*, *Prochloron*, *Acaryochloris*
- Fototrofní, oxygenní
- Obsahují chlorofyl *a* a *b*, fykobiliny ne
- *Acaryochloris* obsahuje chlorofyl *d*
- Fylogeneticky se řadí k sinicím

Kmen: Chlamydie

- Nejdůležitější rody: *Chlamydia*, *Chlamydophila*
- Obligátně parazitické
- Velmi malý genom
- Omezené metabolické schopnosti
- Přenos vzduchem
- Gramnegativní
- Způsobují řadu nemocí

Kmen: Cytofága

- Nejdůležitější rody: *Cytophaga*, *Flexibacter*
- Obligátně aerobní, chemoorganotrofní
- Rozklad celulosy, agaru, chitinu
- Voda, půda

Kmen: Zelené sírné bakterie

- Nejdůležitější rody: *Chlorobium*
- Obligátně anaerobní, fototrofní
- H₂S jako donor elektronů
 - Vznikající síra se usazuje vně buňky
- Autotrofní růst pomocí obráceného citrátového cyklu
- Bakteriochlorofyl *a* + *c*, *d* nebo *e*
 - *c*, *d* a *e* jsou anténní chlorofyly lokalizované v chlorosomech
 - Tělíska bohatá na bakteriochlorofyl připojená k cytoplasmatické membráně
 - Velmi účinné při sběru světla
 - Růst při velmi nízkých intenzitách světla
 - Chl *a* v cytoplasmatické membráně
- Vodní anoxní prostředí s nadbytkem H₂S

Kmen: Spirochety

- Nejdůležitější rody: *Spirochaeta*, *Treponema*, *Leptospira*, *Borrelia*
- Gramnegativní
- Ohebná buněčná stěna
- Spirálovitý tvar
- Pohyb pomocí endoflagel(y) v periplasmě
- Ve vodě
- Některé jsou parazitické
 - *Treponema pallidum* - syfilis
 - *Borrelia burgdorferi* – Lymeská borelióza
 - *Leptospira interrogans* – leptospiróza

Kmen: Deinokoky

- Nejdůležitější rody: *Deinococcus*, *Thermus*
- Grampozitivní, obsahují v peptidoglykanu ornitin místo kyseliny diaminopimelové
- Aerobní
- *Thermus aquaticus*
 - Termofilní
 - *Taq* DNA polymerasa (aplikace v technice PCR)

Deinococcus

- Grampozitivní koky
- *Deinococcus radiodurans*
 - Obsahuje i vnější membránu, která ale neobsahuje lipid A
 - Půda, prachové částice
 - Vysoce rezistentní vůči radiaci
 - UV, ionizační záření
 - Vysoce rezistentní k mutagenním činidlům
 - Vysoce efektivní oprava DNA
 - Oprava chromozomu z fragmentovaného stavu
 - Výskyt v párech nebo tetrádách
 - Fúze nukleoidů z okolních buněk
 - Homologní rekombinace

Kmen: Zelené nesírné bakterie

- Nejdůležitější rody: *Chloroflexus*, *Heliothrix*, *Roseiflexus*
- Termofilní
- Vlákňité

Chloroflexus

- Bakteriochlorofyl c v chlorosomech
- Bakteriochlorofyl a v cytoplasmatické membráně
 - Fotosyntetické reakční centrum strukturně podobné s purpurovými bakteriemi
- Fotoheterotrofní, fotoautotrofní i chemoorganotrofní růst
 - CO₂ fixace v hydroxypropionátovém cyklu

Doména: Archaea

- Dělení podle fyziologie
 - Metanogenní
 - Extrémně halofilní
 - Extrémně (hyper) termofilní
- Fylogenetické rozdělení
 - *Crenarchaeota*
 - Většinou hypertermofilní
 - *Euryarchaeota*
 - Fyziologicky rozmanité

Vlastnosti archeí

- Neobsahují peptidoglykan
- Membránové lipidy s etherickou vazbou a isoprenoidní jednotkou
- Energetický metabolismus podobný bakteriím
- Metanogeneze odlišná

Methanogeny

- Nejdůležitější rody: *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanosarcina*
- Vytvářejí methan
- Obligátně anaerobní
- Sedimenty, bažiny, hluboké půdy, zažívací trakt zvířat, čističky odpadních vod
- Oxidují H₂ (energie) a redukují CO₂ (uhlík) na CH₄
- Některé rostou i na mravenčanu, případně i methanolu nebo acetátu

Extrémně halofilní *Archaea*

- Nejdůležitější rody: *Halobacterium*, *Haloferax*, *Natronobacterium*
- Žijí pouze v silných roztocích solí
 - 1.5 – 5.5 M (9 - 32%)
 - Mrtvé moře, Velké solné jezero, mořské solivary, potraviny
- Vysoké koncentrace Na^+ jsou kompenzovány vysokou koncentrací K^+ v cytoplasmě (pumpovány z prostředí)
- Buněčná stěna je složena z glykoproteinů a stabilizována vazbou sodných iontů na vnější povrch stěny
 - Při nedostatku soli buněčná stěna praskne
 - Vysoký obsah kyselých (negativně nabitých) aminokyselin
- Cytoplasma obsahuje vysoký podíl kyselých a polárních proteinů
- Získávají energii z organických látek, ale i ze světla
 - Světelnou energii absorbují pomocí bakteriorhodopsinu
 - Neobsahují chlorofyl

Extrémně termofilní *Archaea*

- Nejdůležitější rody: *Thermococcus*, *Pyrococcus*, *Thermoplasma*, *Sulfolobus*
- Fylogeneticky různé organismy
- Rostou za vysoké teploty (80-105°C), většinou v přítomnosti elementární síry
- Membrány a biomolekuly velmi stabilní
 - Proteiny obsahují hydrofobní povrch, více iontových interakcí na povrchu, více α struktur
 - Odlišný folding
 - Změny aminokyselinové sekvence minimální
 - Speciální chaperoniny
 - Pozitivní supercoiling pomocí reverzní DNA gyrasy
- Často ve velmi kyselém prostředí (pH 1-3)
- Horké prameny, gejzíry, termální ventily a trhliny v mořském dně