

MIKROBIÁLNÍ EKOLOGIE

INTERAKCE MIKROORGANISMŮ S ČLOVĚKEM

Vliv vnějšího prostředí na mikroorganismy

- Životní aktivita a vývoj mikroorganismů závisí na vnějším prostředí
 - Zdroje živin a využitelné energie
 - Fyzikální, chemické a biologické podmínky
- Schopnost rychlého přizpůsobení se aktuálním podmínkám = **adaptace**
 - Změna enzymů
 - Změna morfologie buňky
- Mikroorganismy svou činností vnější prostředí modifikují

Mikroorganismy a vnější prostředí

- Vzájemnými vztahy mezi mikroorganismy a jejich prostředím se zabývá mikrobiální ekologie
- V přírodě se mikroorganismy vyskytují v čistých kulturách výjimečně, vytvářejí **mikrobiální společenstva**
- Prostor osídlený určitým mikrobiálním společenstvem se nazývá **mikrobiální stanoviště (biotop)**
- **Ekosystém**
 - Soubor všech organismů a jejich přirozeného prostředí
 - Biotická složka (společenstva, např. mikrobiální)
 - Abiotická složka (fyzikální a chemické podmínky)
 - Obsahuje řadu rozličných stanovišť (lokalit)

Mikroorganismy a vnější prostředí

- Mikrobiální diverzita v ekosystému
 - Druhá bohatost
 - Relativní zastoupení druhů
- Za normálních podmínek (neutrální pH, nadbytek živin, dostatek vody) se v prostředí vyskytuje značný počet druhů v průměrném množství
- V extrémních podmínkách je přítomno méně druhů, avšak více jedinců jednoho daného druhu
- **Monospecifické společenstvo**
 - Tvořeno *pouze* jedním druhem
- **Dominantní druh**
 - populace vyskytující se ve větší hustotě než ostatní
- Společenstvo mikroorganismů je **otevřený, dynamický systém**

Mikroorganismy a vnější prostředí

- Velikost mikrobiálních ekosystémů je různá (řeka, jezero, kořenový systém rostliny, povrch rostliny či živočicha, dutina ústní atd.)
 - **Mikroprostředí**
 - I velmi malé prostředí (mm) může obsahovat několik mikroprostředí
- **Autochtonní druhy**
 - Druhy mikroorganismů osídlující dané stanoviště od počátku
 - Typické pro stanoviště, přirozené
- **Allochtonní druhy**
 - Druhy, jejichž přítomnost závisí na aktuálně zvýšené koncentraci živin nebo dodání zvláštních látek
- **Ekologická nika (mikro)organismu**
 - Je definována kvantitou zdrojů (živin) a fyzikálně chemickými podmínkami lokality
 - **Primární nika**
 - Prostředí, ve kterém je organismus nejspěšnější
 - Dominance v primární nise, ale osídluje i jiné niky

Interakce mikroorganismů

- **Kompetice**
 - Soutěž o zdroje živin
 - Mezdruhová a interdruhová kompetice
- **Symbióza**
 - Jakákoli úzká interakce mezi dvěma rozdílnými organismy, které sdílejí určitý ekosystém
 - Větší z partnerů se označuje jako **hostitel**
 - **Fakultativní symbióza**
 - Organismus schopen existence bez druhého partnera
 - **Obligátní symbióza**
 - Interakce s partnerem je životně důležitá
 - **Ekotosymbióza**
 - Jeden z partnerů se nachází vně buňky druhého
 - **Endosymbióza**
 - Jeden z partnerů se nachází uvnitř buňky druhého

Typy symbiotických vztahů

- **Kooperace (mutualismus)**
 - Jeden organismus podporuje druhý a každý z nich je kritickou složkou daného prostředí pro druhého
- **Komenzalizmus**
 - Jedna populace (komezál) má ze vztahu výhodu bez vlivu na druhou
- **Amenzalizmus**
 - Jedna populace (amenzá) je potlačována toxiny produkovanými druhou populací
- **Neutralismus**
 - Žádný z partnerů nemá na druhého vliv
- **Parazitismus**
 - Jedna populace (parazit) má výhodu na úkor druhé (hostitel)
 - Hyperparasitismus (parazit se sám stává hostitelem)
- **Predace**
 - Dochází k usmrcení a požití jednoho organismu druhým

Šíření mikroorganismů

- **Vzduchem**
 - Největší počet nad povrchem půdy
 - Nad mořem více mikroorganismů ve větší vzdálenosti od hladiny, kontinentálního původu
- **Vodou**
 - Signifikantní význam v ekosystému má nejméně 10^6 mikroorganismů/ml
 - Hlavně půdní mikroorganismy
- **Pomocí živočichů**
 - Mikroorganismy přítomny na kůži a v zažívacím traktu
 - Rychlé šíření nákaz
- **Neživými objekty**
 - Důsledek přímého kontaktu s těmito objekty a následného přenosu
 - Šatstvo, knihy, hračky, kliky, podlahy bazénů, potraviny

Mikroorganismy v půdě

- Podílejí se na tvorbě humusu
- Dotvářejí půdní strukturu a mění vodní a vzdušný režim půdy
- Půdní mikroflóra je výsledkem vzájemných vztahů mezi organismy a prostředím
- Faktory ovlivňující biologické vlastnosti půdy:
 - **Nutriční** – vliv na výživu a získávání energie
 - **Regulační** – vliv na složení mikroflóry a její aktivitu
 - Primární (teplota, vlhkost, půdní atmosféra, reakce prostředí)
 - Sekundární (struktura půdy, sorpční vlastnosti)

Podmínky ovlivňující mikrobiální flóru v půdě

- **Vlhkost**
 - Zamokřené půdy podporují růst anaerobů
 - V poušti žije omezené množství mikroorganismů
- **Kyselost**
 - V kyselých půdách převládají plísňe
- **Teplota**
 - Většina půdních mikroorganismů jsou mezofilní organismy
 - Psychofilní mikroorganismy vzácně
 - Termofilní hlavně v kompostu
- **Množství organické hmoty**
 - Vytvářena hlavně činností rostlin
 - Většina mikroorganismů je heterotrofní
 - Rizosféra (zóna obklopující kořeny rostlin obsahující kořenové exsudáty)

Voda v půdě

- Důležitý regulátor biologických procesů v půdě
- Především z atmosférických srážek
- Vlhkost v půdě redukuje obsah kyslíku
- **Půdní roztok**
 - Organické a anorganické látky rozpuštěné v půdní vodě
 - Koncentrace se neustále mění
 - Poměr mezi anorganickou a organickou složkou kolísá

Půdní vzduch

- Atmosférický vzduch, který pronikl do půdy
- Liší se obsahem kyslíku (0.1 – 20%), oxidu uhličitého (0.1 – 15%) a vyšším obsahem vodních par
- Dále obsahuje amoniak, methan, sirovodík, těkavé organické kyseliny a alkoholy
- Půda má různou schopnost vázat z půdního roztoku různé složky
 - Půdní koloidní komplex
 - Proteiny, enzymy, cukry atd.
- Půdní částice také sorbují mikroorganismy
 - Sorpcí se většinou snižuje aktivita buněk
 - Jílovité složky aktivitu zvyšují

Rozšíření mikroorganismů v půdě

- V půdě můžeme nalézt většinu druhů bakterií
- Výskyt je dán přítomností dostupných živin a ostatními faktory prostředí
- Počet mikroorganismů se snižuje s rostoucí hloubkou
- Mikroorganismy přítomné v půdě
 - Autochtonní
 - Zymogenní (allochtonní)
 - Patogenní

Autochtonní půdní mikroorganismy

- Přirozené, frekvence není závislá na přítomnosti substrátu
- Bakterie
 - *Pseudomonas, Agrobacterium, Arthrobacter, Streptomyces, Nocardia*, myxobakterie
- Vláknité houby
 - *Mucor, Penicilium, Trichoderma, Aspergillus*

Zymogenní půdní mikroorganismy

- Vyskytují se ve větším množství, je-li dostatečná zásoba živin
- Mohutná metabolická aktivita
- Významný podíl na procesech mineralizace
- Bakterie
 - *Bacillus, Mycobacterium*, některé druhy *Pseudomonas, Flavobacterium, Enterobacter, Aeromonas*
 - Cyanobakterie (*Nostoc, Anabaena*)
- Vláknité houby
 - *Rhizopus, Fusarium, Cephalosporium*

Patogenní půdní mikroorganismy

- Primární patogeny
 - Půda je přirozeným stanovištěm
 - Obvykle patogenní pro rostliny, ale i pro člověka (*Clostridium*, např. *C. tetani, C. botulinum*)
- Sekundární patogeny
 - Dostávají se do půdy sekundárně a přežívají v ní dlouhou dobu (*Bacillus anthracis*)

Podíl mikroorganismů na geochemických přeměnách biosféry

- Energie vstupuje do ekosystému ve formě
 - Slunečního záření
 - Organických sloučenin
 - Anorganických sloučenin
- Sluneční záření je využíváno fototrofními organismy za tvorby organických sloučenin
- Organické sloučeniny jsou oxidovány na CO₂ respirací nebo fermentovány na redukované sloučeniny
- Chemolitotrofní organismy oxidují anorganické sloučeniny a přispívají k syntéze organických látek autotrofními aktivitami

Podíl mikroorganismů na geochemických přeměnách biosféry

- Mineralizace
 - Přeměna organicky vázaného prvku na anorganickou formu
- Imobilizace
 - Přeměna anorganických prvků na organické komplexy
- Oxidace
- Redukce
- Fixace nebo volatizace
 - Přeměna plynné formy na neplynnou a naopak
- Biogenní prvky podléhají cyklickým přeměnám

Koloběh kyslíku

- Kyslík cykluje mezi respirujícími a fotosyntetizujícími organismy
- Cyanobakterie, řasy a vyšší rostliny vytvářejí kyslík z vody během fotosyntézy
- Respirující organismy kyslík spotřebovávají

Koloběh uhlíku

- Uhlík tvoří hlavní podíl organické hmoty půdy
- Cykluje mezi organickými sloučeninami a CO₂
- CO₂ je fixován rostlinami, řasami, cyanobakteriemi a chemolitotrofními organismy za tvorby organických sloučenin
- Rozklad organických sloučenin
 - Bakterie a plísně rozkládají cukry, aminokyseliny a proteiny
 - Celulosu degradují cytofága
 - Ligniny a pektiny jsou rozkládány plísněmi, meziproducty jsou dále rozkládány bakteriemi
 - Aerobní respirace, fermentace, anaerobní respirace (CO₂), methanogeneze (CH₄)

Koloběh dusíku

- Dusík je chemicky inertní a v plynné fázi není většinou mikroorganismů využíván
- Dusíkatá výživa je závislá na zdrojích vázaného dusíku (amoniak, dusičnany, organické dusíkaté látky)
- Procesy koloběhu dusíku
 - Amonifikace
 - Fixace dusíku
 - Nitrifikace
 - Denitrifikace

Amonifikace

- Degradace proteinů pomocí extracelulárních proteolytických enzymů na různě dlouhé řetězce aminokyselin
- Další enzymy je štěpí na kratší řetězce, amoniak a sírany

Fixace dusíku

- Redukce vzdušného dusíku na amonné ionty, které jsou potom využity pro stavbu aminokyselin transaminací
- Nitrogenasa
- Volně žijící
 - *Azotobacter*, *Clostridium*, *Agrobacterium*, cyanobakterie
- Symbióza s rostlinami
 - Fixaci provádí bakterie
 - *Rhizobium*

Nitrifikace

- Mikrobiální oxidace amonného iontu na dusitany a dusičnany za uvolnění energie
 - Chemolitotrofie
- Aerobní podmínky
- *Nitrosomonas*
- *Nitrobacter*
- Dusitany jsou toxické, důležitý simultánní výskyt obou typů organismů

Denitrifikace

- Některé bakterie využívají dusičnany jako koncový akceptor elektronů
- Vytváří se N_2 a dusík se tak ztrácí z daného ekosystému

Koloběh síry

- Síra se do půdy dostává především ve formě organicky vázaných sloučenin (cystein, cystin, glutathiol, alkaloidy)
- Mikroorganismy mohou asimilovat síru pouze ve formě síranu
- Procesy
 - Mineralizace organicky vázané síry (proteolýza proteinů, síra aminokyselin přeměněna na H_2S , spontánně oxiduje na S)
 - Oxidace anorganické síry
 - Anaerobní (purpurové a zelené fototrofní bakterie)
 - Aerobní (chemolitotrofní bakterie, např. *Thiobacillus*)
 - Redukce síranů a elementární síry za anaerobních podmínek za vzniku sirovodíku (*Desulfovibrio*, hypertermofilní archea)

Rozklad syntetických chemikálií mikroorganismy

- Většina přirozeně se vyskytujících látek je rozkládána některým mikroorganismem
- Některé chemicky syntetizované látky, které se přirozeně nevyskytují (xenobiotika), nejsou mikroorganismy rozkládány
- Některé velmi pomalu
 - Fenoxykyseliny (2,4,5-T)
 - Chlorované uhlovodíky (DDT)
 - Polychlorované bifenyly (PCB)
- Pseudomonády
- Biologicky odbouratelné plasty

Mikroorganismy ve vodě

- Různé chemické a fyzikální vlastnosti
 - Chemické složení
 - Teplota
 - Kyselost
- Rozmanité podmínky prostředí
 - Rybníky, řeky, hluboká jezera
 - Eutrofní vs. oligotrofní prostředí
 - Množství kyslíku
- Dominantními fotosyntetizujícími organismy jsou řasy a bakterie (cyanobakterie, anoxygenní fototrofní)

Mikroorganismy ve vodě

- Koloběh uhlíku
 - Uhlíčitan, oxid uhličitý, organický uhlík
 - Organicky vázaný uhlík je vytvářen zejména fotosyntetickými organismy
 - Propojen s koloběhem kyslíku
- Koloběh dusíku
 - Aminokupiny proteinů jsou přeměňovány deaminací na amoniak, který je v aerobní vrstvě oxidován na dusičnany
 - Fixace (cyanobakterie)

Mikroorganismy ve vodě

- Koloběh síry
 - Sirovodík – za aerobních podmínek je oxidován
 - V anaerobním prostředí dochází k akumulaci
- Koloběh kyslíku
 - Množství kyslíku je závislé na činnosti fotosyntetických mikroorganismů a sycením na rozhraní s atmosférou
 - Koncentrace se snižuje s rostoucí teplotou a hloubkou
 - Přílišná fotosyntetická aktivita může vést k anoxním podmínkám
 - Eutrofizace vody → množení cyanobakterií → odumření → rozklad bakteriemi → nedostatek O_2
 - Vysoký obsah organické hmoty vede k vyčerpání kyslíku

Mořská voda

- Množství mikroorganismů je limitováno nízkou koncentrací živin a relativně vysokým obsahem soli (3,5 %)
- Relativně stabilní, nižší teplota
- Druhové zastoupení je závislé na vzdálenosti od pobřeží
 - Ústí řeky
 - Pobřežní mělké vody
 - Otevřené moře
- Usazeniny obsahují velké množství mikroorganismů

Mořská voda

- Svrchní vrstva (několik desítek metrů) je osídlena fototrofními mikroorganismy
 - *Prochlorococcus* (prochlorofyta)
 - *Trichodesmium* (cyanobakterie)
 - *Ostreococcus* (eukaryotní zelená mikrořasa)
 - Aerobní anoxygenní fototrofní organismy
- Většina bakterií G⁻, pohyblivé aerobní nebo fakultativně anaerobní
- Anaerobní pouze v sedimentech nebo střevních mořských živočichů
- Často ve společnosti s vyššími organismy
- *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Spirillum*, cyanobakterie (*Nostoc*, *Oscillatoria*), řasy, prvoci
- Archea převažují ve velkých hloubkách
- Nejpočetnější jsou zastoupeny viry, zejména bakteriofágy

Sladká voda

- Sladkovodní prostředí je v podstatě větší míře ovlivňováno podmínkami vnějšího prostředí
- Značné teplotní rozdíly v jednotlivých ročních obdobích i během dne
- Mezi autochtonní organismy patří fytoplankton a bakterie
 - *Flavobacterium*, *Chromobacterium*, *Sphaerotilus*, *Micrococcus*, *Spirillum*, prostěkaté bakterie (*Caulobacter*), cyanobakterie
- Bakterie z jiných zdrojů, především z půdy
 - *Bacillus*, *Micrococcus*, *Streptomyces*, *Corynebacterium*
- Bakterie živočišného původu
 - Enterobakterie, *Clostridium*, streptokoky (enterokoky)
 - Indikátor fekálního znečištění vody
- Pitná voda
 - Voda bezpečná pro konzumaci, ale nikoli bez chemikálií a mikroorganismů

Odpadní vody

- Městské odpadní vody
 - Velké množství organických látek
 - *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, koliformní bakterie
- Průmyslové odpadní vody
 - Druhové zastoupení závislé na charakteru závodu
 - Chemický průmysl – *Pseudomonas*
 - Papírenský průmysl – koliformní bakterie
 - Mlékárenský průmysl – *Bacillus*, *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*
- Zemědělské odpadní vody
 - *Escherichia coli*, *Salmonella*, myxobakterie

Mikroorganismy a rostliny

- Fytosféra (nadzemní část)
 - Plísně a kvasinky
 - Bakterie (*Erwinia herbicola*, *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida*, bakterie mléčného kvašení)
- Rhizosféra (zóna v okolí kořenů)
 - Zdrojem živin jsou látky produkované kořeny
 - Mikroorganismy mohou vykonávat funkce důležité pro rozvoj rostliny (fixace dusíku, degradace toxických látek, syntéza hormonů)
 - Počet a druhové zastoupení je závislé na druhu rostliny a růstovém stadiu, půdním typu a způsobu hnojení
 - *Pseudomonas fluorescens*, *Flavobacterium*, *Azospirillum*, *Bacillus*, mykobakterie

Mikroorganismy a rostliny

- Některé mikroorganismy jsou rostlinnými patogeny (fytopatogeny)
 - *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Erwinia*
 - *Agrobacterium*
 - Tvorba nádorů
 - Přenos genů z Ti plasmidu do chromozomu rostliny
 - Vláknité houby *Fusarium*, *Phytophthora*
- Symbiotické vztahy
 - Mykorhýza
 - Mutualistický vztah kořenů rostlin a hub
 - Basidiomycety
 - Výhodné pro oba partnery
 - Zlepšuje absorpci živin kořeny
 - Fixace dusíku
 - Rhizobia

Symbióza bobovitých rostlin a Rhizobií

- Infekce kořenových buněk
 - Specifické rozpoznání hostitele a vazba na kořenové vlášení
 - Vyloučení nod faktoru bakterií
 - Invaze kořenového vlášení pomocí infekčního vlákna
 - Bakterie tvoří modifikované buňky bakteroidy
 - Dělení rostlinných buněk, tvorba hlízek
- Rostlina poskytuje energii pro růst bakterie a fixaci dusíku
- Bakterie fixují dusík pro výživu rostlin
 - Pomocí nitrogenasy
 - Lokalizace v bakteroidu
 - Odstranění kyslíku vazbou k leghemoglobinu (protein)
 - Vzniklý amoniak je asimilován rostlinou
 - Glutaminsynthetasa
- *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, *Photrhizobium* (gramnegativní, pohyblivé, tyčinkovité Proteobakterie)
- Význam v zemědělství

Učebnice Madigan a kol., obr. 24.45, str. 727

Mikroorganismy a živočichové

- **Bachor přežvýkavců**
 - Převažují striktně anaerobní bakterie
 - V bachoru je štěpena celulóza celulosou symbiotických bakterií (*Ruminococcus*, *Fibrobacter*) za tvorby sacharidů
 - Při výživě bohaté na škrob rozklad pomocí *Succinomonas*, *Ruminobacter*, *Selenomonas*, *Streptococcus*
 - Sacharidy jsou fermentovány za vzniku kyselin (výživa pro přežvýkavce), vodíku a CO₂
 - Tvorba methanu z CO₂ a vodíku (archea *Methanobrevibacter*, *Methanomicrobium*)
- Prvoci
 - Anaerobní
- Houby
 - Anaerobní

Mikroorganismy a živočichové

- Ostatní býložravci tráví celulosu ve slepém střevě
- U přežvýkavců procházejí mikroorganismy přes kyselý obsah žaludku
 - Usmrceny
 - Zdroj proteinů
- U býložravců jsou vyloučeny ve fekáliích

Mikroorganismy a člověk

- Lidské tělo je denně vystaveno nesčetnému množství mikroorganismů
- Na nebo v lidském těle rostou stovky mikrobiálních druhů a nespočetné množství individuálních buněk
 - Normální mikrobiální flóra
 - Závislá na podmínkách prostředí, kterému je jedinec vystaven
- Většina mikroorganismů je neškodná
- **Patogenní mikroorganismus**
 - Mikroorganismus, který způsobuje onemocnění
- **Oportunní patogen**
 - Způsobuje onemocnění pouze v nepřítomnosti normálního obranného mechanismu hostitele
 - Normální mikrobiální flóra může být za určitých okolností oportunně patogenní

Normální mikroflóra lidského těla

Kůže

- Není vhodným prostředím pro rozvoj mikroflóry, protože vysychá
- Kyselé prostředí
- Pouze v určitých místech (vlasy, obličej, ucho, podpaždí, oblast močových cest, konečník, mezi prsty)
- Stálá a přechodná mikroflóra
- Zejména G⁺ bakterie rodu *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Corynebacterium*, *Propionibacterium*
- Kvasinky

Normální mikroflóra lidského těla

Dutina ústní

- U dětí před dentici velmi chudá na mikroorganismy (v malém množství mikrokoky, streptokoky, laktobacily, sarciny)
- Po dentici aerobní i anaerobní mikroorganismy (*Streptococcus*, *Neisseria*, *Veillonella*, *Lactobacillus*, *Leptotrichia*, *Corynebacterium*, *Bacteroides*, *Fusobacterium*, *Spirillum*, *Actinomyces*, spirochety)
- Tvorba zubního plaku
 - Narušení zubu působením kyselin a tvorba kazu

Normální mikroflóra lidského těla

Dýchací trakt

- Nosní sliznice
 - *Staphylococcus*, *Streptococcus*, difteroidy (*Corynebacterium diphtheriae* a příbuzné bakterie)
- Hltan, mandle a horní hrtan
 - + *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*, *Neisseria meningitidis*, na mandlích *Streptococcus pyogenes*
- Dolní cesty dýchací
 - Neobsahují mikroorganismy

Normální mikroflóra lidského těla

Gastrointestinální trakt

- U novorozence sterilní, u kojeného dítěte laktobacily (*L. bifidus*), později enterokoky, enterobakterie a stafylokoky
- Závislá na stravě
- Žaludek a dvanácterník téměř neobsahuje bakterie
 - Velmi nízké pH (2)
 - *Helicobacter*, G⁺ bakterie, proteobakterie a další
- V tenkém střevě situace obdobná, směrem k tlustému střevu se pH a počet mikroorganismů zvyšuje
- Tlusté střevo obsahuje velké množství mikroorganismů
 - Striktně anaerobní nesporeující mikroorganismy (90%), *Bacteroides*, *Clostridium*, enterobakterie, bifidobakterie, *Staphylococcus*, *Methanobrevibacter*
- Syntéza vitamínů, aktivace steroidů (žlučové kyseliny), tvorba plynů, organických kyselin

Normální mikroflóra lidského těla

Urogenitální trakt

- Močové cesty obvykle sterilní, spodní část obsahuje fakultativně aerobní G⁻ tyčinky a koky, *Corynebacterium*
 - Patogenní organismy
 - *E. coli*, *Proteus*, *Candida albicans*
- Maz mužských a ženských genitálií obsahuje *Mycobacterium smegmatis*
- Vaginální sliznice novorozence je sterilní, ale rychle se osidluje stafylokoky, streptokoky, *E. coli* a difteroidy
- Po dosažení puberty dominuje *Lactobacillus acidophilus* (fermentace glykogenu, tvorba kyselého pH), přítomny také kvasinky (*Torulopsis*, *Candida*), streptokoky, *E. coli*