



EKOLOGIE MIKROORGANISMŮ 4

**Ekosféra mikroorganismů –
atmosféra, litosféra**



Atmosféra

Charakteristiky a stratifikace atmosféry:

- 78% N, 21% O₂, 0,034% CO₂ a stopy dalších plynů
- do různé míry saturovaná vodou, může obsahovat kapky vody, krystalky ledu, částice prachu

Rozdělena na oblasti definované teplotními maximy a minimy:

Troposféra

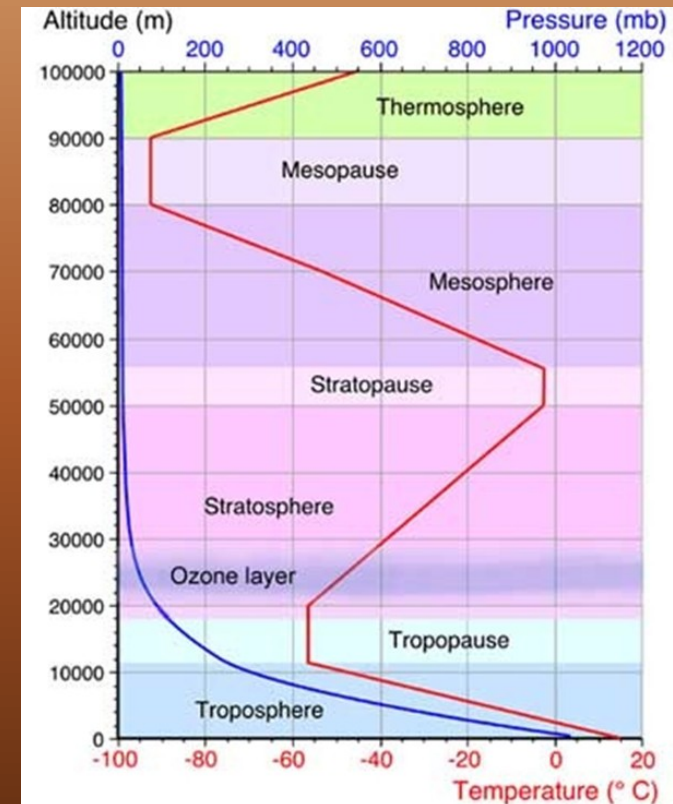
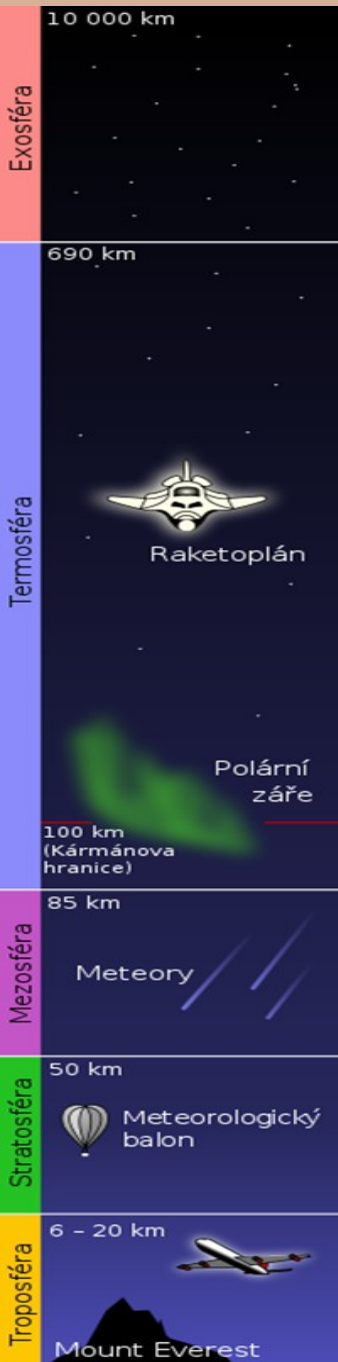
- rozhraní s hydrosférou i litosférou (9 km na pólech, 17 km na rovníku)
- teplota troposféry klesá s nadmořskou výškou

Stratosféra (10-50 km)

- teplota zde vzrůstá s nadmořskou výškou

Ionosféra

- v oblastech **mezoféry a termosféry**
- spodní okraj ionosféry je ve výšce asi 60 km (den), 95 km (noc)
- v horní části pak ionosféra ve výšce cca 700–1000 km
- obsahuje elektricky nabitě částice (ionty)
- umožňuje odraz rádiových vln



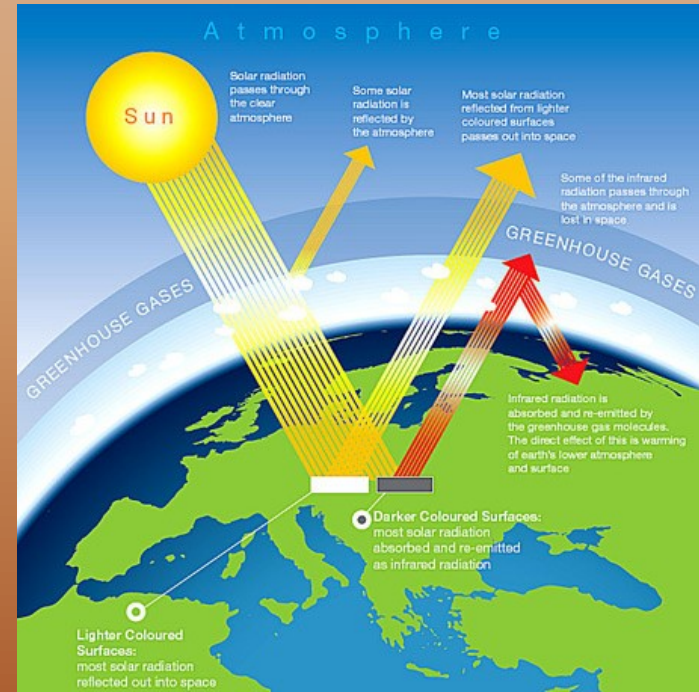
Celkově chemické a fyzikální parametry atmosféry nejsou příznivé pro růst a přežití mikrobů:

- teplota se snižuje se zvyšující se výškou v troposféře
- atmosférický tlak klesá s výškou
- koncentrace kyslíku se snižuje až na úroveň vylučující aerobní respiraci
- koncentrace organického uhlíku není dostačující pro heterotrofní růst
- dosažitelnost vody je nízká a limituje možnost autotrofního růstu
- mikrobi vystaveni intenzivnímu světelnému záření
- se zvyšující se výškou přibývá UV záření – letální mutace a smrt



Stratosféra

- vrstva ozonu (90% veškerého ozónu)
- absorpce UV záření (jen 1% dopadne na Zemi)
- fluorokarby, nadměrné hnojení (uvolnění N_2O)
- stratosféra – bariera transportu mikrobů z a do troposféry, pomalé míchání plynů
- organismy pomalu transportovány a déle vystaveny ozónu a UV
- jen organismy chráněné proti těmto vlivům by mohly přežít cestu ze zemské atmosféry
- aerosol kyseliny sírové - oxid siřičitý a sulfan (sopečná činnost) se zapojuje do chemických reakcí ve stratosféře
 - perzistence 2 až 3 let
 - až 10x větší schopnost blokovat dopadající sluneční záření (zvyšuje odrazivost Země) - albedo



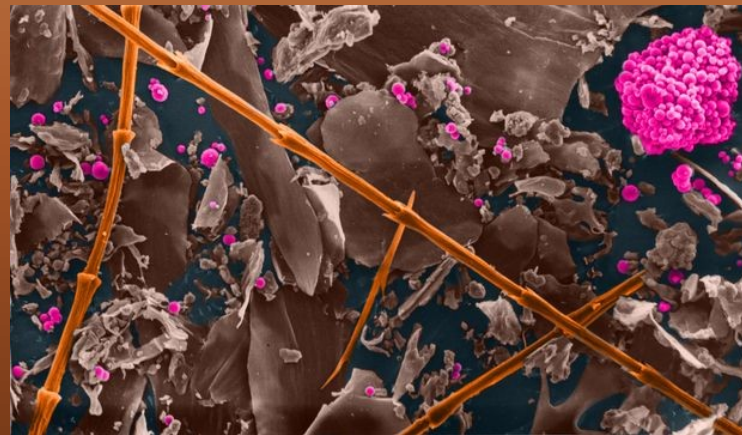
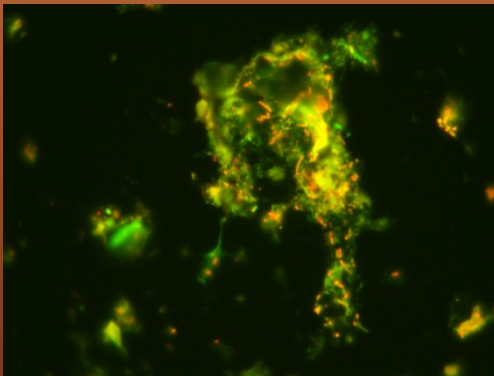
Atmosféra jako habitat a médium (prostředí) pro rozptyl mikrobů

- nepřátelské prostředí, v nižší troposféře je značné množství mikrobů
- termální gradienty - míchání vzduchu
- pohyb vzduchem - významná cesta rozptylu mikrobů
- i speciální adaptace pro přežití a rozptyl atmosférou
- mnoho virových, bakteriálních a houbových chorob se šíří vzduchem
- propuknutí nemoci často sleduje převládající větry



Dočasná lokalizace v troposféře může poskytnout habitat pro mikroby:

- nejčastější výskyt v aerosolu nebo na pevných částicích
- oblaka mají koncentraci vody, která umožňuje množení mikrobů
- nízké koncentrace CO₂ ve vrstvě mraků jsou dostatečné pro podporu růstu fotoautotrofů
- kondenzační jádra mohou poskytnout některé minerály
- v průmyslových oblastech může v atmosféře dokonce být dostatečná koncentrace organických chemikálií pro růst heterotrofů
- toto vše jen teoretická možnost, chybí důkazy, že takový život v oblacích opravdu existuje a jeho význam se zdá být zanedbatelný



Aerrosol s mikroby izolované z prasečáku a slepičárny

Atmosféra – šíření mikrobů

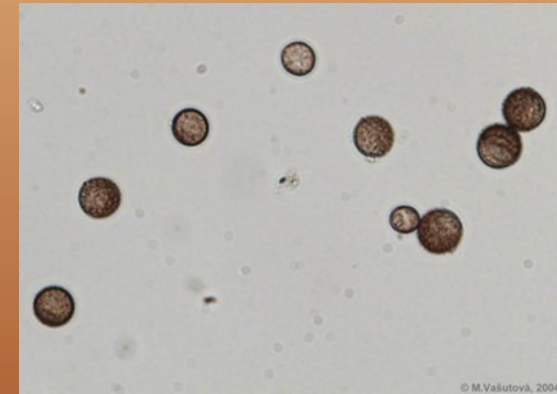
- mikrobi z hydrosféry i litosféry se mohou dostat do vzduchu
- neexistují opravdoví „vzdušní“ mikrobi – jde jen o cestu do nového vodního nebo terestriálního habitatu
- někteří mikrobi se do vzduchu dostanou jako vegetativní buňky, ale častěji jako spory
- soredia (lišejníky), cysty a jiné nevegetativní rezistentní struktury méně metabolicky aktivní a lépe přizpůsobené přežití v atmosféře
- spory s primární funkcí rozptýlu – xenospory (malé, šíření a okamžité klíčení)
- houby, řasy, lišejníky, některé protozoa a bakterie (zvl. aktinobakterie) produkují spory, které se objevují v atmosféře
- viry – neaktivní, vně hostitele
(pohyb a šíření atmosférou jako neaktivní částice podobně jako spory)



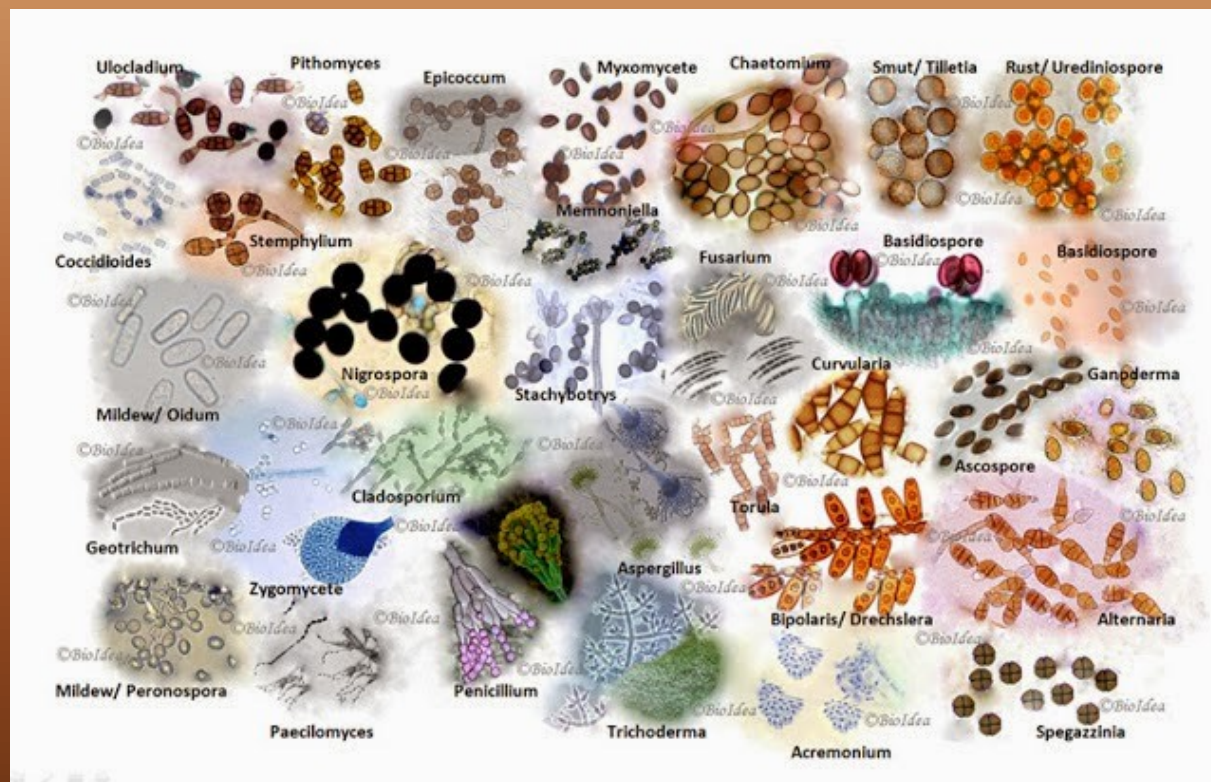
Spory

Vlastnosti spor, které přispívají k jejich schopnosti přestát transport atmosférou:

- nízká metabolická aktivita (nepotřebují externí živiny a vodu)
- produkovány ve velkých množstvích (u některých hub více jak 10^{12} spor na jednu plodnici) –přežije jen pár
- některé spory extrémně tlusté stěny – ochrana proti desikaci
- některé pigmentované – UV
- malá velikost a nízká hustota – ve vzduchu dlouho než sedimentují
- obvykle spory lehké, někdy obsahují plynové vakuoly
- různé tvary – některé aerodynamicky přizpůsobené dlouhému laterálnímu transportu v atmosféře



- mikroorganismy produkující suché spory na vzdušném mycéliu
- pasivní uvolnění spor do vzduchu proudem vzduchu (aktinobakt., houby)
- čím vyšší rychlost větru (proudění vzduchu) a nižší vlhkost vzduchu, tím větší pohyblivost spor
- šíření větrem je důležité u mikrobuů vyskytujících se na povrchu rostlin (patogeny)
- některé spory uvolněny, když se srazí vodní kapka se s plodnicí hub



Spory plísni ze vzduchu

Vstup mikrobů do atmosféry

Spory a někdy i vegetativní mikrobi vstupují do atmosféry jako aerosol z:

- rozstřík dopadající kapky deště
- sprej z tříštících se vln
- rychle se pohybující proud vody tříštící se o překážku
- pohyb plynu skrz vodní sloupec (bubliny stoupající ze sedimentů)
- proud vzduchu v čistírnách odpadních vod
- kašláním, kýcháním (patogenní bakterie, viry)
- řada adaptabilních aktivních mechanismů mikroorganismů, které uvolňují spory do atmosféry



čišenka rýhovaná

- dešťová kapka uvolní spory do atmosféry
vibrační struktury, ke které jsou spory
přípevněny
- „splash cups“ u hub – využívá sílu dopadající
kapky k uvolnění spor
- později se z peridiole uvolní spora, případně je
spasena býložravci a tak se šíří dál

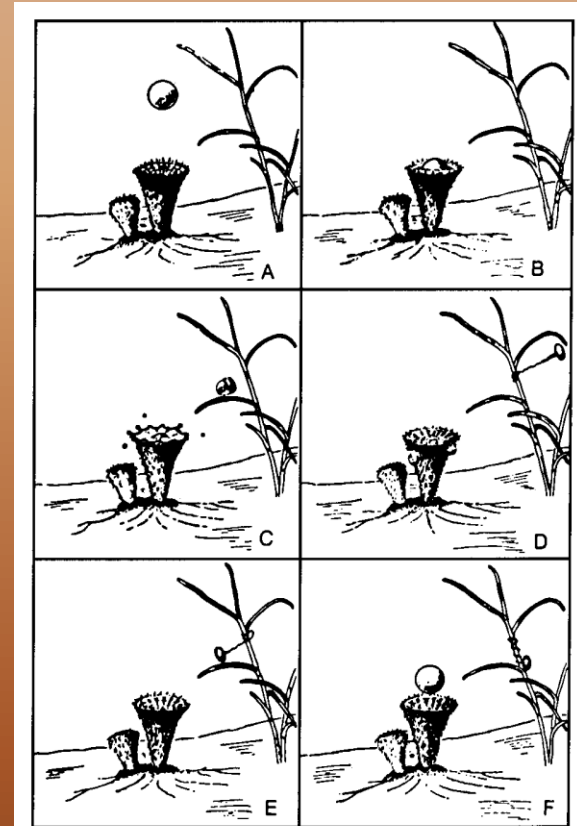
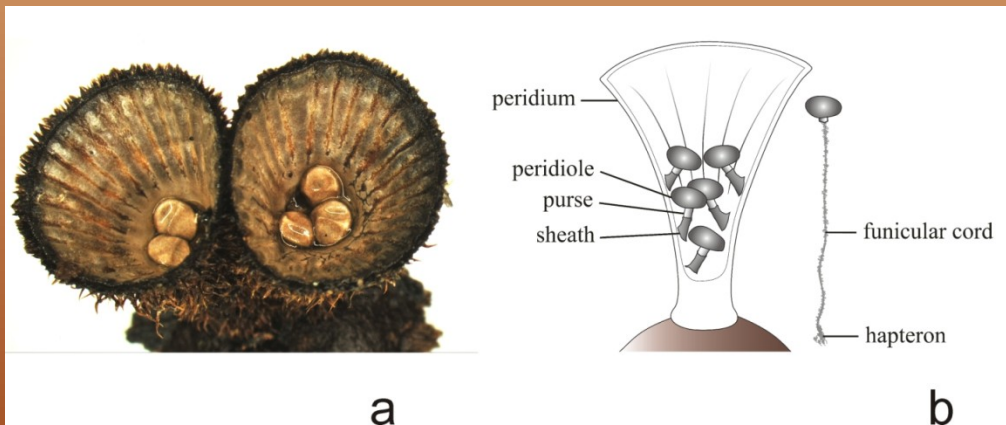
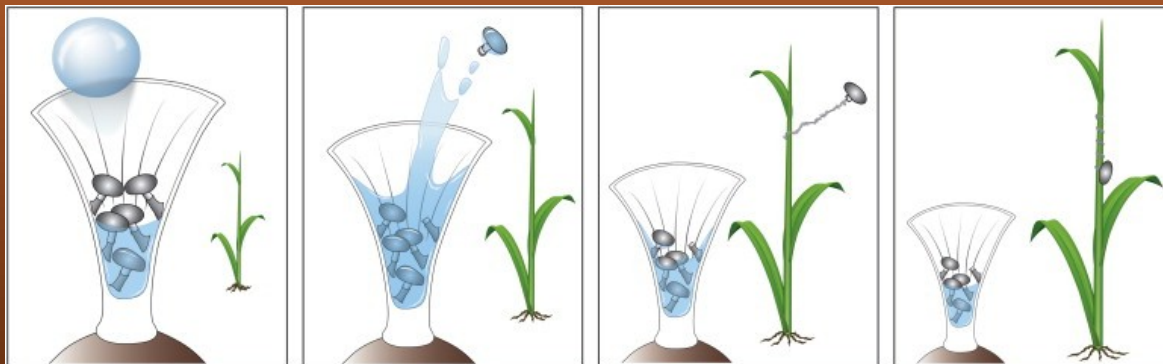
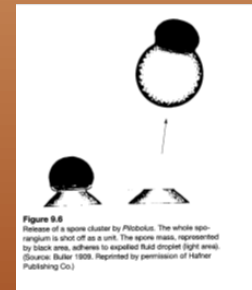


Figure 9.4
Splashing of peridiole from a basidiocarp of *Cyathus striatus*. (A and B) Raindrop landing in cup. (C) The peridiole splashing out with hapteron extended. (D) Hapteron sticking to a plant as the peridiole is carried forward by its momentum and the funiculus is extended by a pull. (E) Peridiole jerked backward when the funiculus is extended to its full length. (F) Peridiole swinging around the plant stem as another raindrop falls. (Source: Brodie 1951. Reprinted by permission of National Research Council Canada.)

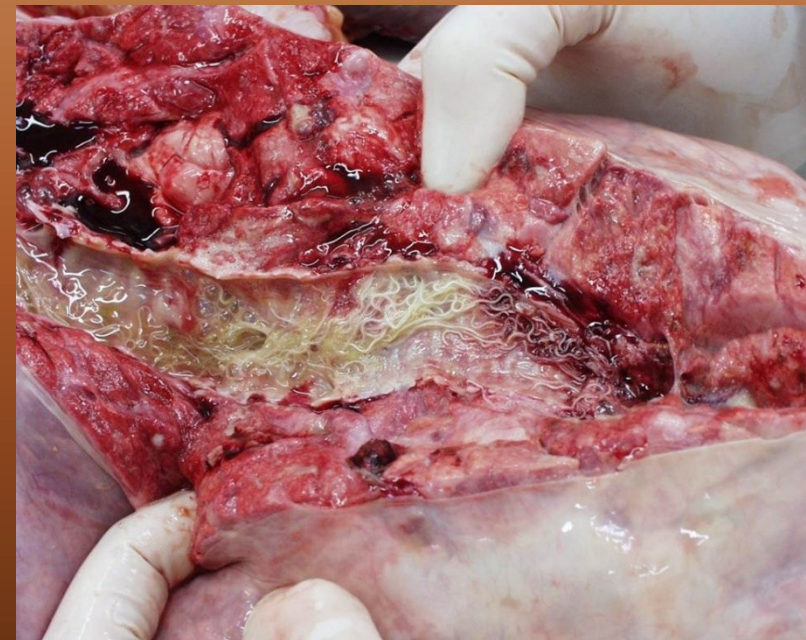
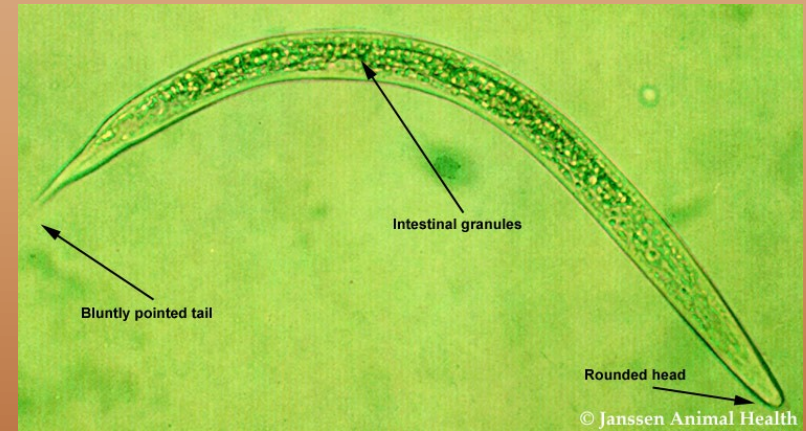
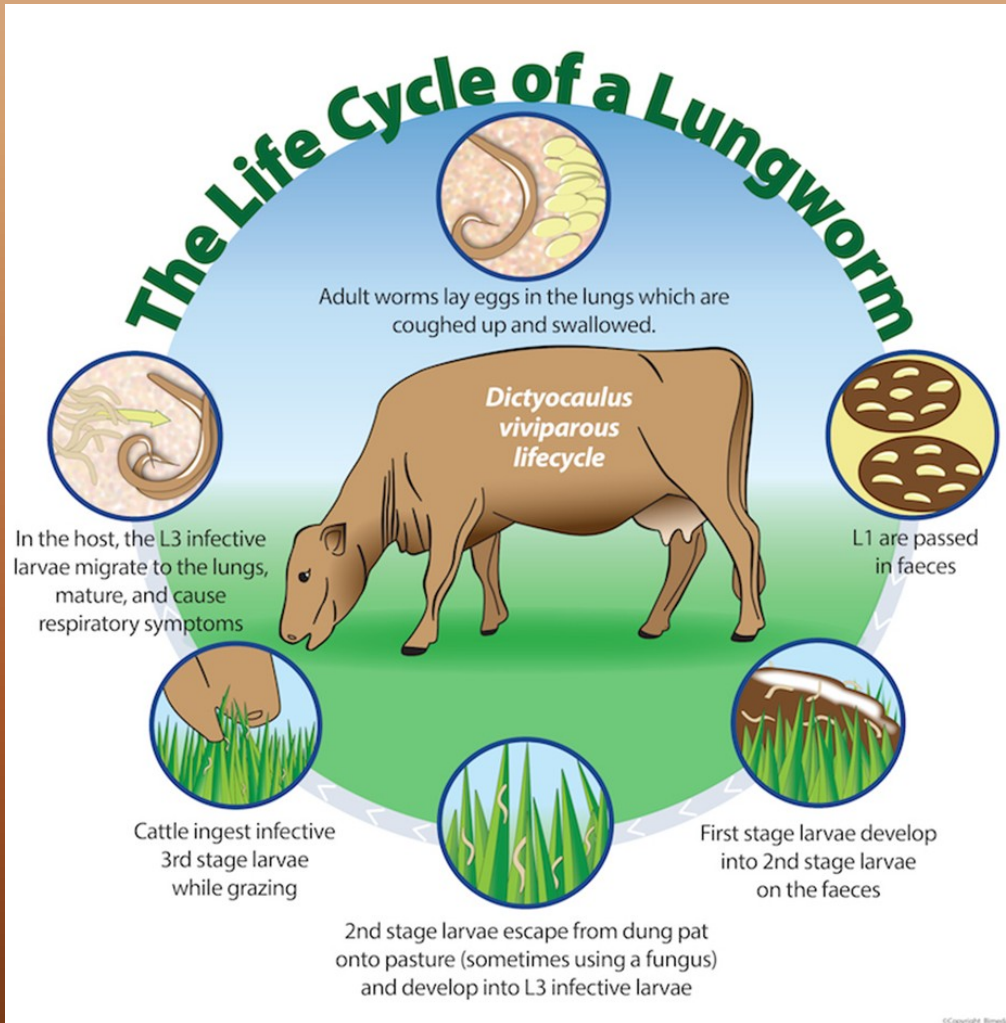


Pilobolus (Měchomršť krystalický)

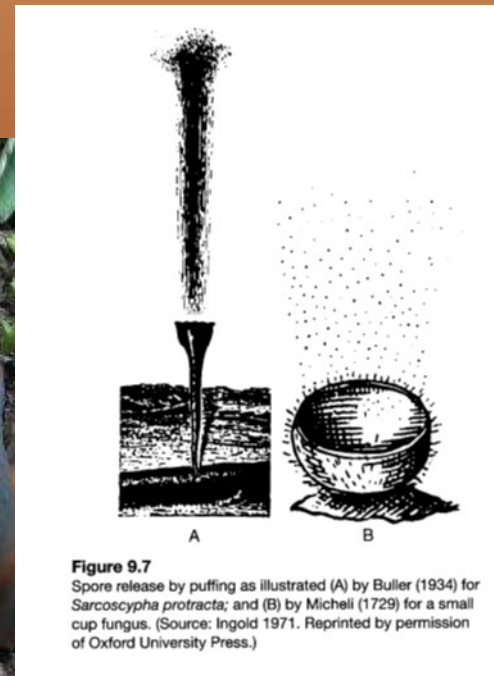
- roste na výkalech býložravců
- zachycuje vzdušnou vlhkost, natáčí se za světlem
- pod sporou se zvyšuje turgor – (často 7 atm a více)
- dojde k vystřelení sporangia – na pár centimetrů až 2 m (150-600 km/h)
- klastr spor je vystřelen, když vakuola ve sporangiu zduří při zvýšení osmotického tlaku, který způsobí prasknutí struktury
- spory jsou odnášeny pryč proudem vody a uvolněny směrem k nejvyšší intenzitě světla tedy do otevřeného vzduchu, kde je nejpravděpodobnější, že proud vzduchu způsobí další disperzi



Tento vystřelovací mechanismus je využíván parazitickými nematody (včetně plicnivek – **Dictyocaulus** – parazitují v průdušnicích a plicích různých býložravců) – larvy vyloučené jedním býložravcem vylezou na sporangia *Pilobolus* a jsou vystřelena spolu s ním...

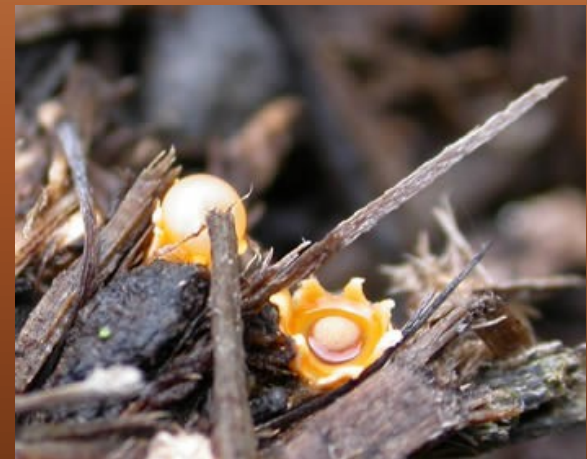
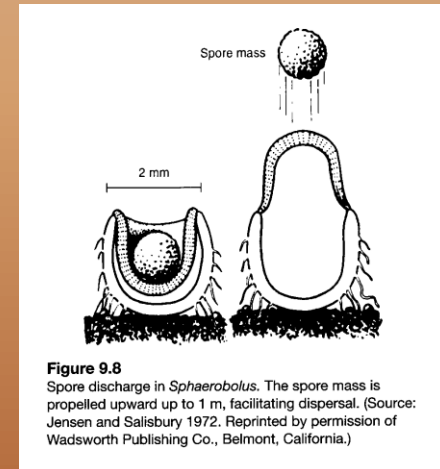


- u většiny **ascomycet** jsou askospory aktivně uvolňovány
- ascus při zrání zduří a praskne na vrcholu vystřelující spory do vzduchu
- na vzdálenost několika milimetrů až centimetrů
- prasknutí je způsobené změnou osmotického tlaku při přeměně glykogenu na cukry
- některé askomycety „bafají“ – současné rozbití velkého počtu asků s uvolněním viditelného oblaku spor
- bafnutí může být způsobeno změnami environmentálních podmínek (světlo, vlhkost, teplota)



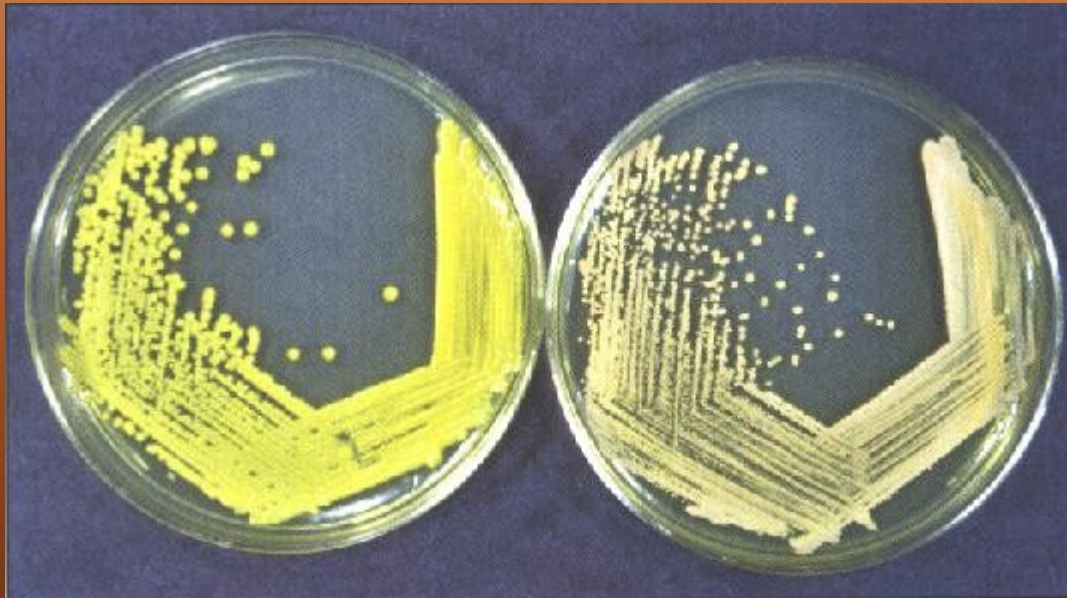
Basidiomyceta *Sphaerobolus* (hrachovec)

- roste následně na hnoji (trusu) po *Pilobolus* a askomycetách
- basidiospory uvolněny, když vnitřní zduřelá vrstva vegetativní hyfy švihne zevnitř
- ven vystřeluje masu spor několik metrů nahoru



Přežívání ve vzduchu

- po uvolnění do vzduchu spory i vegetativní buňky bojují o přežití
- většina mikrobů přežije krátký transport atmosférou – do několika mm
- jen málo přežije delší transport – desikace (extrémní vysušení)
- někteří mikrobi mají adaptace umožňující delší expozici desikačním podmínkám
- expozice UV záření
- organismy přenášené vzduchem na prachových nebo půdních částicích mohou být chráněné pigmenty, *M. luteus*– absorbuje UV)
- (buňka nebude usmrcena za nepřítomnosti kyslíku - smrt ozářením je fotooxidační proces vyžadující kyslík)

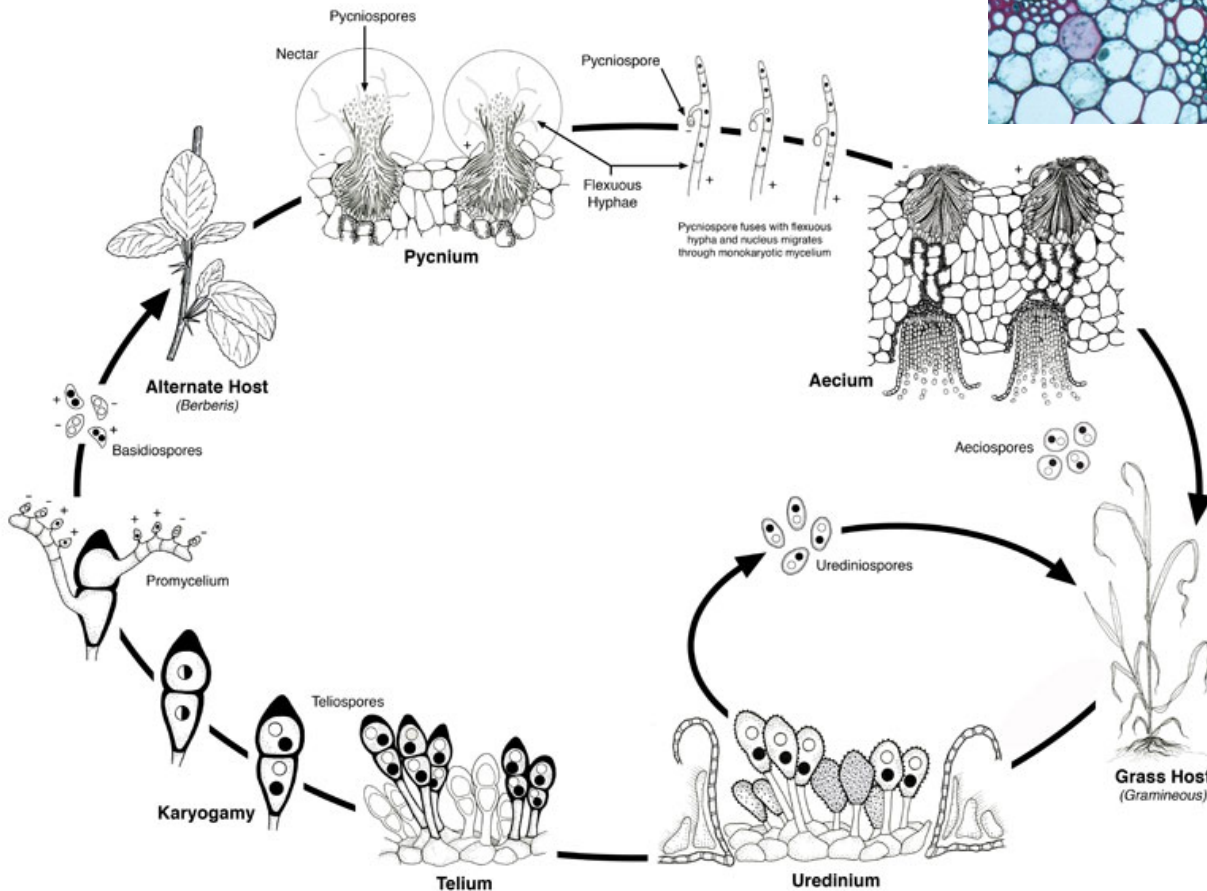
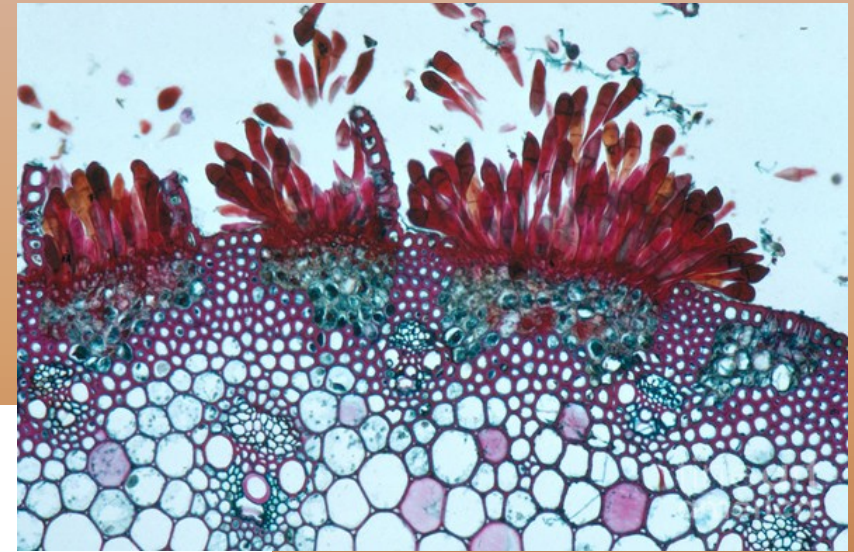


- mnohé mikroorganismy transportovány na velké vzdálenosti - *Puccinia graminis* (rez travní)
- některé viry, bakterie a houby – přežijí transport přes oceán
- to, že některé mikroorganismy jsou téměř všudypřítomné, je především z důvodu efektivního vzdušného transportu



Puccinia graminis

Houba u nás přezimuje zimními výtrusy ve slámě a na jaře vytváří basidiospory. Ty mohou napadnout pouze mezipostitele a na něm vznikají aecidiospory, které znovu přecházejí na obilniny a trávy. Uredospory, které vznikají na obilnině, jsou ihned klíčivé a přenášejí se vzdušnými proudy na velké vzdálenosti. Na zrajícím obilí se tvoří zimní výtrusy



342 Chapter 9 Microorganisms in Their Natural Habitat

Table 9.4
Dissemination of *Puccinia graminis*

Distance from source (km)	Concentration relative to source (%)
0	100
300	5
560	6
840	2
970	0.2

Source: Stakman and Hamilton 1939.

Table 9.2

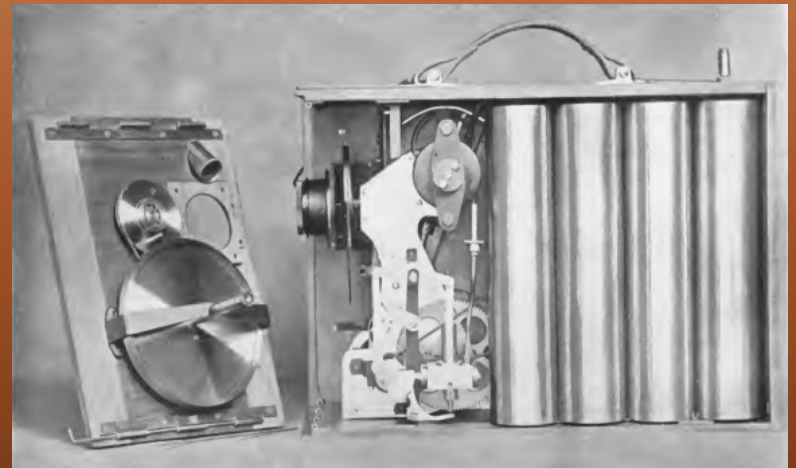
Survival times of some bacterial and archaeal species in the air-dried state

Survival time	Organism
10 ⁶ years	Coryneforms, gram-positive non-spore-forming bacilli, cocci
10 ⁴ –10 ⁵ years	Cocci, actinomycetes, gram-negative bacilli, spore-forming bacteria
10 ³ years	<i>Gloeocapsa</i> , <i>Hormathonema-Gloeocapsa</i> , <i>Chroococcidiopsis</i>
200 years	<i>Bacillus</i> sp., <i>Clostridium</i> sp.
140 years	<i>Nostoc commune</i>
10–70 years	<i>Bacillus anthracis</i>
15 years	<i>Thermoplasma acidophilum</i>
3 years	<i>Listeria monocytogenes</i>
0.6–1.5 years	<i>Nocardia asteroides</i>
1.1 years	<i>Haloarcula</i> sp., <i>Halobacterium</i> sp., <i>Sulfolobus</i> sp., <i>Halococcus</i> sp., <i>Haloferax</i> sp.
120–200 days	<i>Streptococcus pyogenes</i> , <i>Mycoplasma mycoides</i> , <i>Corynebacterium diphtheriae</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Brucella suis</i> , <i>Franciscella tularensis</i>
60 days	<i>Mycobacterium avium</i>
40–50 days	<i>Coxiella burnetti</i>
12–40 days	<i>Campylobacter fetus</i> , <i>Yersinia pseudotuberculosis</i> , <i>Pasteurella multocida</i> , <i>Proteus morgani</i>
3.8–10 days	<i>Serratia marcescens</i> , <i>Mycobacterium tuberculosis</i> , <i>Mycoplasma agalactiae</i> , <i>Moraxella bovis</i>
12–48 hours	<i>Streptococcus salivarius</i> , <i>Cowdria ruminatum</i> , <i>Eperythrozoon coccoides</i> , <i>Neisseria gonorrhoeae</i> , <i>Pasteurella multocida</i> , <i>Escherichia coli</i>
2–4 hours	<i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Neisseria meningitidis</i>
18–40 minutes	<i>Treponema pallidum</i> , <i>Leptospira interrogans</i>
6–10 minutes	<i>Salmonella typhi</i>
2–6 minutes	<i>Vibrio cholerae</i>

Source: Potts 1994.

Kvantifikace mikroorganismů ve vzduchu

- buď kultivace na miskách – zvyhodňuje bakterie, kvasinky a některé houby
- nebo přímé počítání (mikroskopické sklo s lepkavým povrchem na letadle při proletu atmosférou) – zvyhodňuje spory hub
- filtrování určitého objemu vzduchu přes filtry s póry 0,5 μm a méně - přímý počet mikrobů
- Impingerová metoda -prosátí vzduchu tryskou ponořenou do kapaliny, v níž dochází k zachycení mikroorganismů obsažených ve vzduchu



- Pro kultivační metody - filtr vložit na vhodné médium a kultivace
- časté je *Cladosporium*
- typicky – do výšky 3000m je $10^1 - 10^4$ mikrobů/m³

Sezónní změny:

- v severní hemisféře – houby čtenější červen – srpen
- bakterie dominují na jaře a na podzim

Mikrobi odstranění z atmosféry různými způsoby:

- usazení z důvodu gravitace
- odstranění deštěm nebo jinými srážkami (po bouřce redukce mikrobů ve vzduchu)



Litoekosféra

- skály/horniny, půdy, sedimenty
- půda – habitat pro organismy
- skály – vyvřelé (žula, čedič), sedimentární (vápenec, pískovec, břidlice), metamorfované (para/ortorula, mramor)
- povrch poskytuje vhodný habitat pro omezené množství mikrobů
- bakterie, řasy, houby a lišejníky kolonizují povrch skal
- mnohé rozpouští minerály působením organických kyselin a chelatačními činidly
- bakterie a houby často ve štěrbinách zadržujících vodu
- na pobřežních skalách sinice a řasy

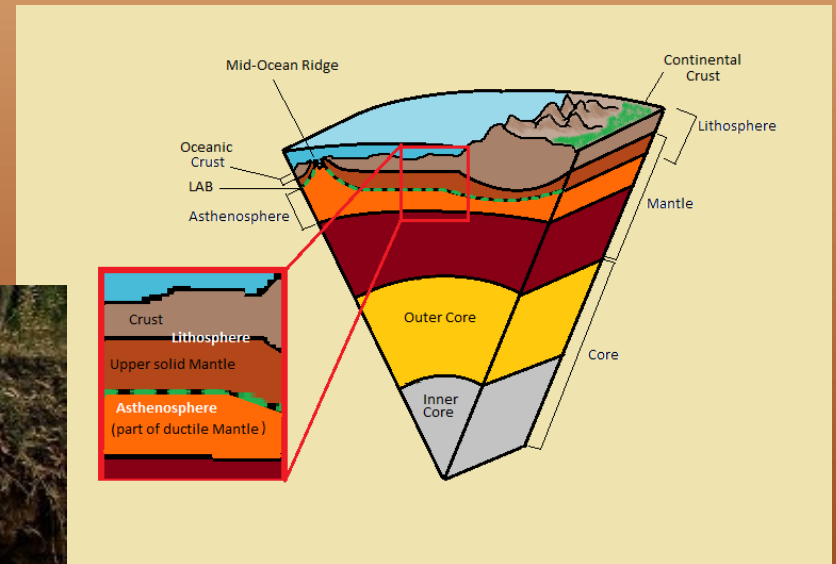


Půda

- vytváří se z matečné horniny (podkladový skalní masív) fyzikálními, chemickými a biologickými silami - zvětráváním
- nejprve se vytvoří regolit (nezpevněný horninový materiál) a pak půda

5 faktorů uplatňujících se na vytváření půdy:

- matečný materiál/hornina
- klima
- topografie
- biologické aktivity
- čas



Z čeho se skládá půda?

- **Pevná fáze**
- Minerální podíl – přes 90% pevné fáze půdy
 - písek
 - prach
 - jíl
- Organický podíl půdy – asi do 10% pevného podílu půdy (kromě organických půd)
 - organická hmota
 - živé půdní organismy
- **Kapalná fáze** – půdní voda, půdní roztok
- **Plynná fáze** – půdní vzduch

Půda - složení

- bez ohledu na horizonty půda obsahuje různé množství **jílových, prachových a písčitých částic**
- **textura půdy** – významná vlastnost pro ekologii mikroorganismů
- určuje povrchovou plochu - habitat pro růst mikrobů
- jílovité půdy mají mnohem větší povrchovou plochu než písčité půdy

Table 9.8

Comparison of size range, particle number, and surface area per gram of sand, silt, and clay. The calculations assume spherical particles with the maximum diameter within the size range.

Soil component	Diameter (mm)	No. of particles/g	Surface area (cm ² /g)
Sand	2.00–0.05	90	11
Silt	0.05–0.002	5.78×10^6	454
Clay	0.002	9.03×10^{10}	8,000,000

Jíl

- jílové minerály – produkt zvětrávání primárních minerálů
- koloidní vlastnosti
- velký povrch obsahující nabitě funkční skupiny umožňuje výměnu iontů
- umožňuje zadržování vody v půdě
- stmelování půdních částic, tvorba agregátů

Jílové částice

- důležitá je ale i povaha jílových částic – koloidy (1-1000 nm) se značně liší fyz-chem vlastnostmi
- toto rozhoduje kolik a jakých druhů mikrobů může okupovat daný půdní habitat

Table 9.9
Selected properties of major clay colloids

Property	Montmorillonite	Illite	Kaolinite
Size (μm)	0.01–1.0	0.1–2.0	0.1–5.0
Surface (m^2/g)	700–800	100–200	5–20
Cation exchange capacity (mEq/100g)	80–100	15–40	3–15



- vliv na půdní strukturu má také složení půdních koloidů
- půdní koloidy jsou tvořeny jílovými částicemi a humusovými látkami
- jílové minerály i humusové látky mají rozdílné schopnosti oddisociovat vodík



Složení půdy



Organický podíl půdy

Organická hmota

- především zbytky odumřelých rostlin a půdních organismů a produkty jejich aktivity v různé fázi rozkladu
- váže se na minerální částice v půdě
- zásobárna živin
- velký povrch a přítomnost funkčních skupin ($-\text{COO}^-$, O^-) umožňuje výměnu iontů
- permanentní rezervoár organického C a chemicky vázaných živin
- SOM – určována jako úbytek hmotnosti při žíhání

Organický podíl půdy

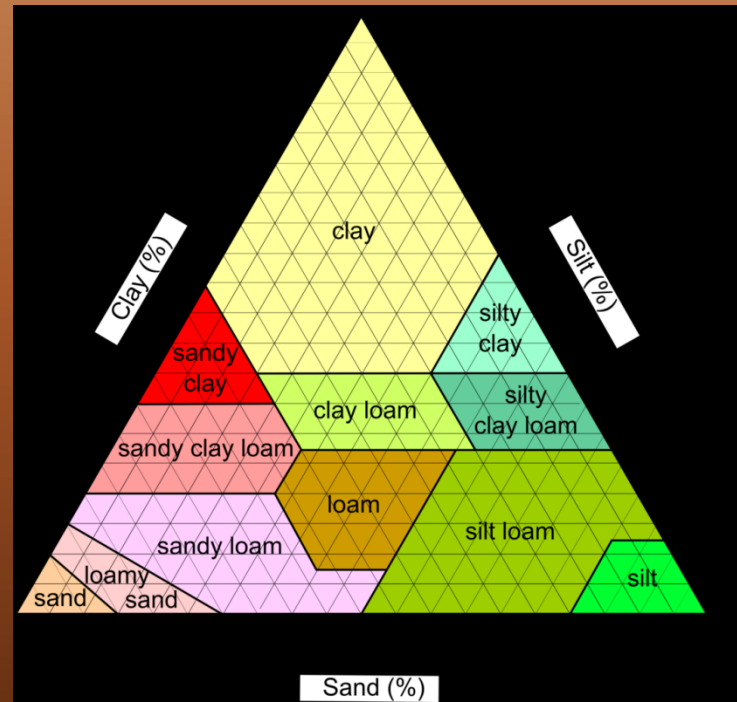
- spolu s jílem působí jako tmel, který pomáhá vytvářet půdní agregáty
- velikost a uspořádání agregátů vytváří strukturu půdy
- společně s jílem také organická hmota vytváří sorpční komplex
- sorpční komplex je systém, který vyměňuje ionty s půdním roztokem

Organická hmota jako zdroj živin

- V půdě probíhá mineralizace a stabilizace organické hmoty
- Mineralizace a imobilizace živin
- Minerální živiny jsou využívány autotrofy
- Stabilní formy organické hmoty jsou zásobárnou živin, které se postupně uvolňují

Textura půdy

- důležitá pro rostliny i mikroby
- půdy s dominancí jílových částic mají vysokou vodní kapacitu a kationtovou výměnnou kapacitu
- těžké půdy – tendence k zamoření a anoxickým podmínkám
- naopak u písčitých půd
- ovlivňováno obsahem SOM- soil organic matter (mikrobiální biomasa, opad, humus)



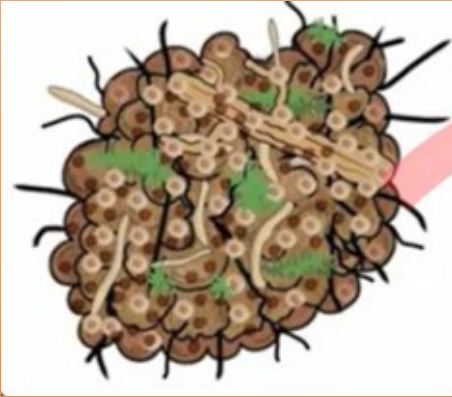
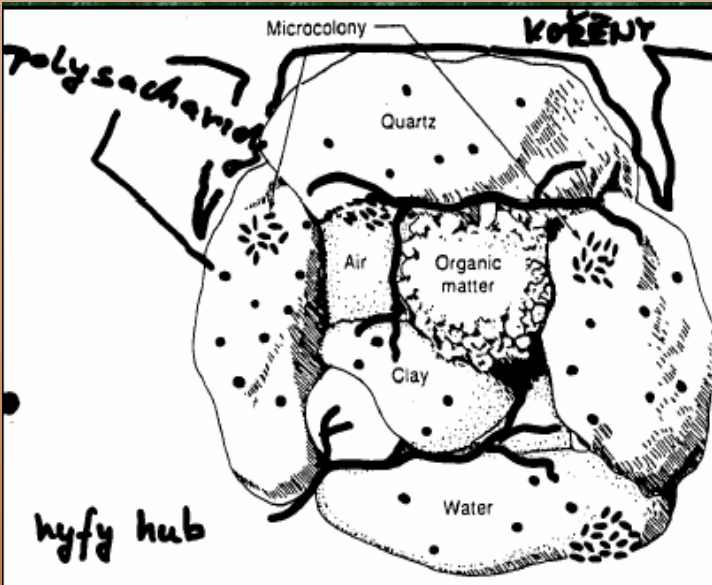
Struktura půdy

- Uspořádání částic v půdě do agregátů různé velikosti a různého tvaru
- Struktura půdy ovlivňuje vzdušný a vodní režim půdy
- Optimální struktura umožňuje vsakování vody do půdy a výměnu plynů
- Struktura rozhoduje o pórovitosti půdy

Pórovitost půdy

- Póry kapilární – zadržují vodu
- Póry nekapilární – umožňují zasakování vody do půdy a výměnu plynů

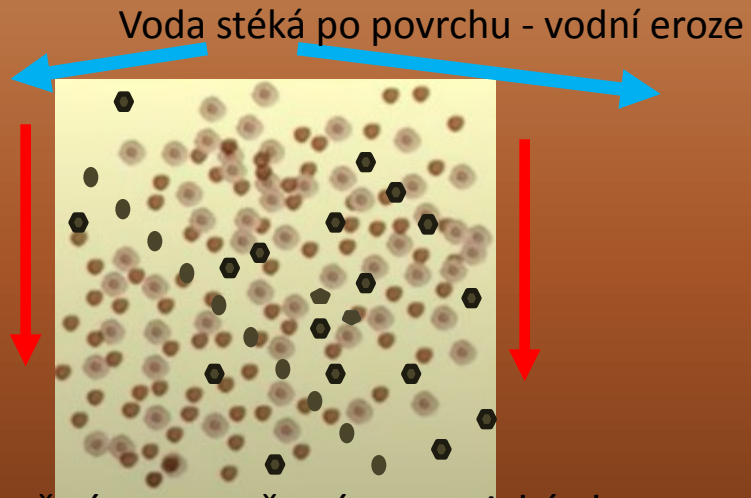
Zásadní význam mikroorganismů na vznik půdních agregátů a pórů



Stmelením adheziny bakterií a hyfami hub se minerální částičky zvětralé matečné horniny a půdní organická hmota pospojují v **půdní agregáty**



Dobře se vsakuje srážková voda. Dochází k naplňování jedné z důležitých funkcí půdy – retenční!



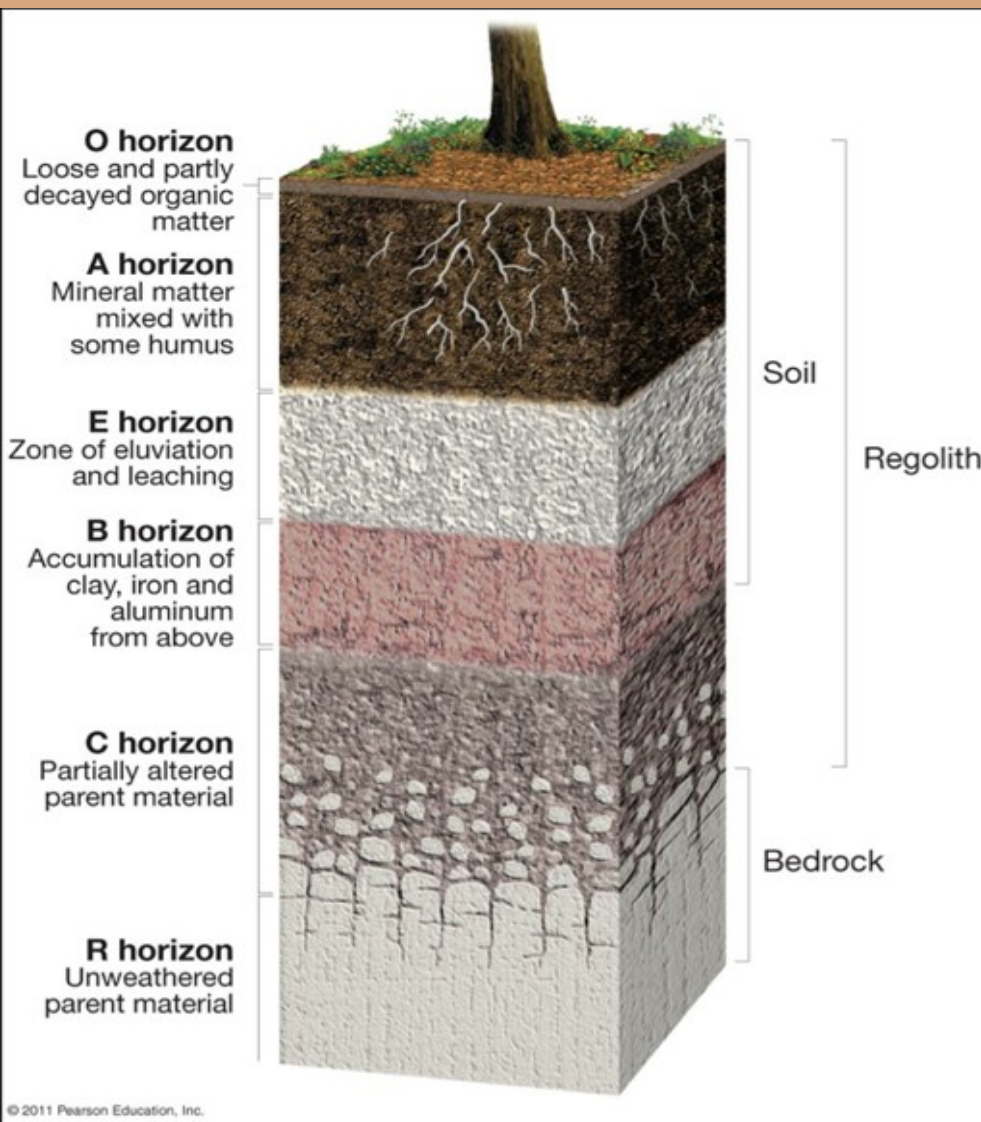
Při nedostatečném množství organické hmoty a mikroorganismů se **agregáty rozpadají**, póry mizí, **půda slehává**. Srážková voda se nezasakuje!



Jemná vlákna hyf půdních hub dokážou udržet pohromadě i tak sypký materiál jako je agroperlit

Fyzikální vlastnosti půdy

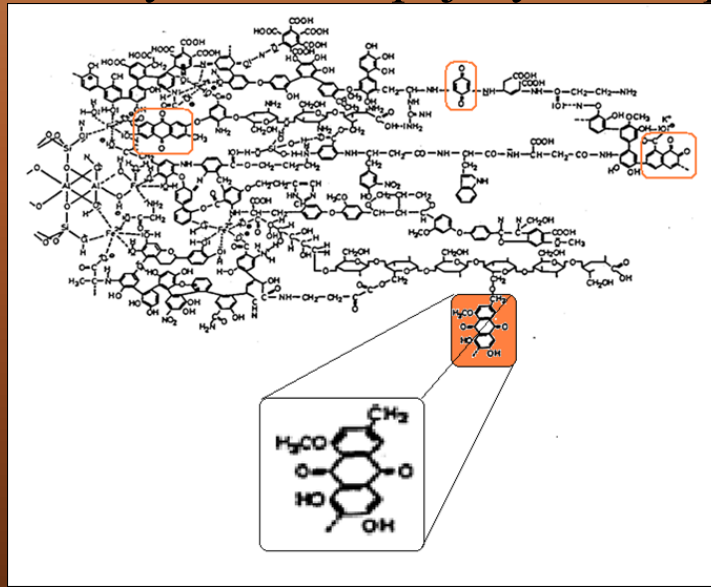
- při vývoji z regolitu se vytváří oddělené horizonty:



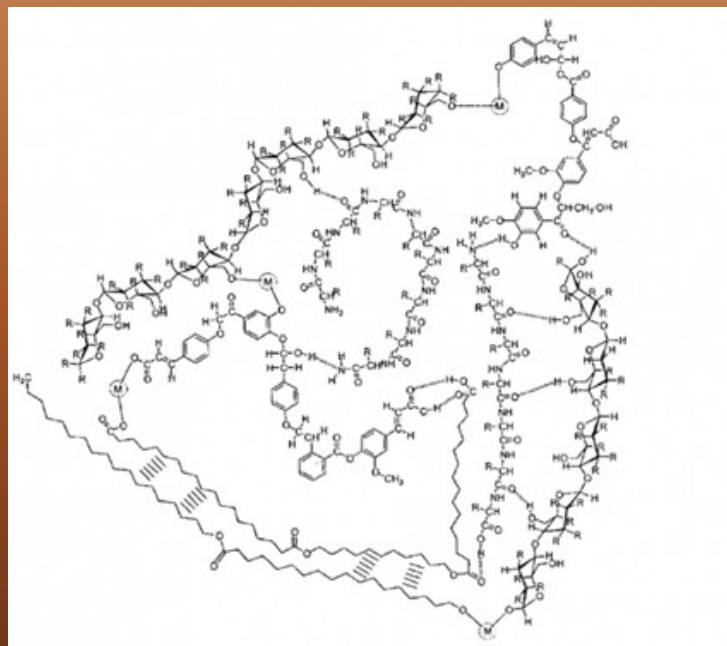
- O – organický horizont nad minerální půdou – humus
- O1 – zbytky rostlin a živočichů jsou rozeznatelné
- O2 – už nerozeznatelné
- A1 – minerální složka promíchána s humusem
- A2 – maximální vymývání křemičitých jíílů
- A3 – přechod do spodního B horizontu
- E – eluviální horizont – minerální horizont blízko povrchu půdy, maximální vymývání/vyluhování
- B - iluviální horizont – místo depozice, maximální akumulace oxidů železa, hliníku a křemičitých jíílů
- C horizont – není příliš ovlivněn biologickou aktivitou – možná akumulace Ca/MgCO_3
- Pod C je regolit a matečná hornina

Chemické vlastnosti půd - huminy

- důležité pro mikroby
- půdní organická hmota (SOM) – ze zbytků živočichů, rostlin a mikrobus
- huminové látky – org. hmota doznala takových změn, že původní materiál je nerozeznatelný – v minerálních půdách je to méně než 10 hm. % - jde o náhodné polymery
- aromatické jádro sestávající z jednoduchých a kondenzovaných aromatických, heterocyklických a chinonových kruhů spojených C-C pomocí étero-, amino- a azo- vazeb

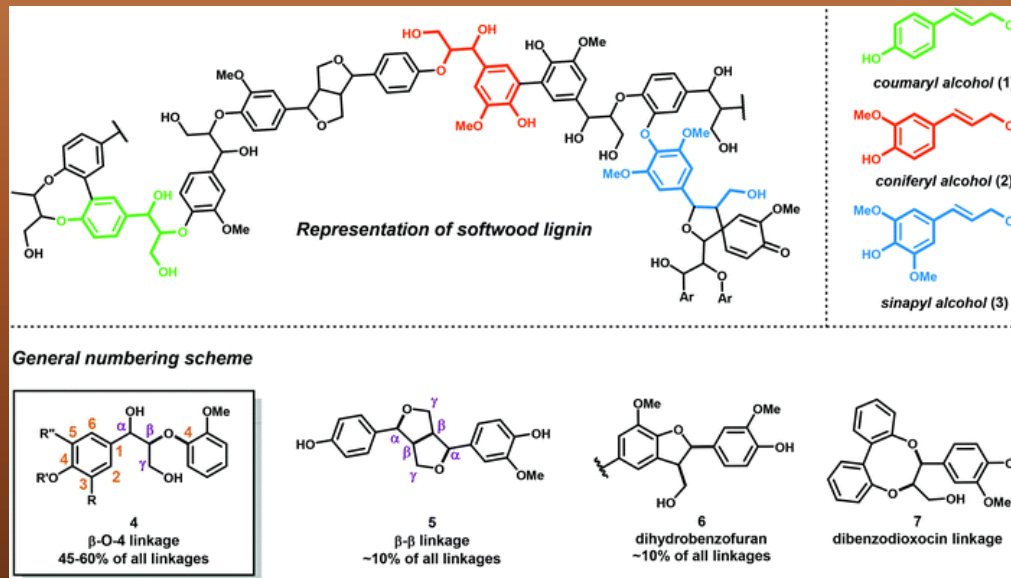


- na kruzích jsou rozmanité **funkční skupiny**, zejména karboxylové, fenolické hydroxily a karbonylové skupiny
- na ně jsou připojené AK, peptidy, cukry, fenoly – vše je zesíťované
- **3D houbová struktura**, která lehce váže vodu, ionty, a organické molekuly
- může **chemicky vázat** vhodné komponenty ke svým reakčním funkčním skupinám
- organické sloučeniny včetně většiny chemických látek vytvořených člověkem se můžou navázat nebo být absorbovaná na huminové substance
- dokonce byly získány z huminových látek aktivní enzymy



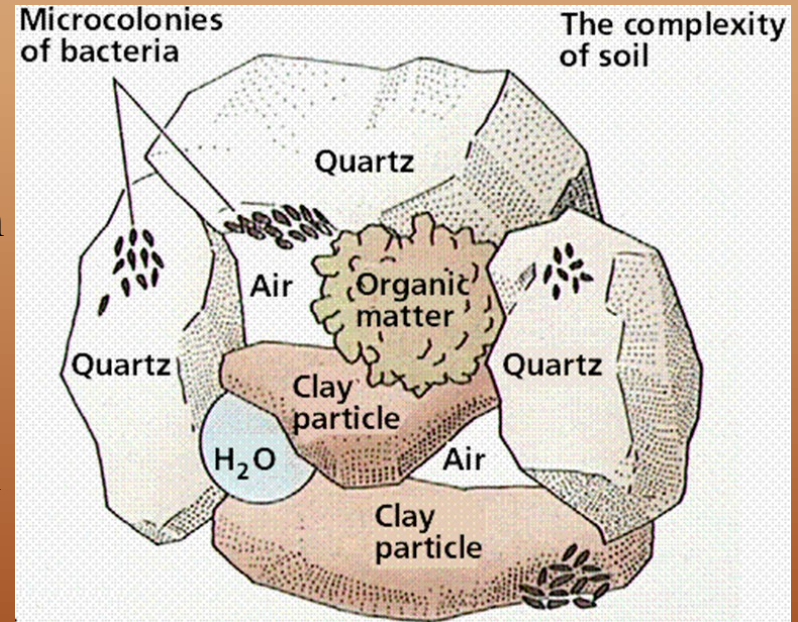
Geneze huminových látek

- dvoustupňový proces
- **mikrobiální degradace organických polymerů na monomery**
- a následnou polymerizaci spontánními chemickými reakcemi
- autooxidací a **oxidací katalyzovanou mikrobiálními enzymy** (lakázy polyfenoloxidázy, peroxidázy)
- huminové materiály jsou ve stavu **dynamické rovnováhy**, kde je jejich postupná degradace kompenzována jejich syntézou
- půdy obsahují velmi rozdílná množství chemických forem organického C, organického a anorganického N a přístupného anorganického P

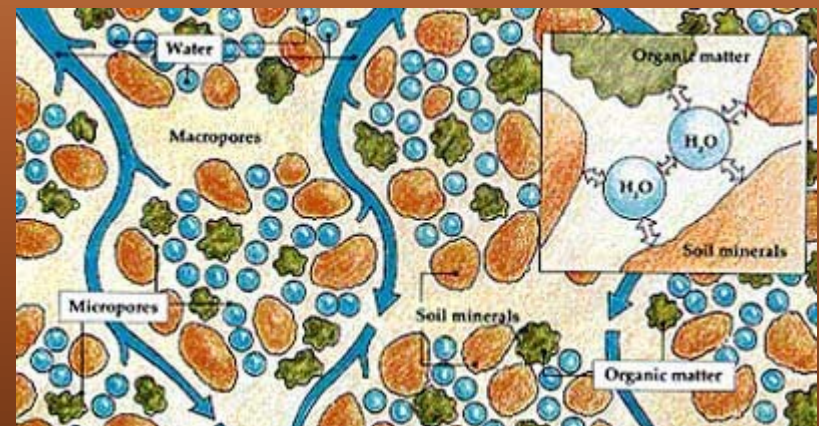
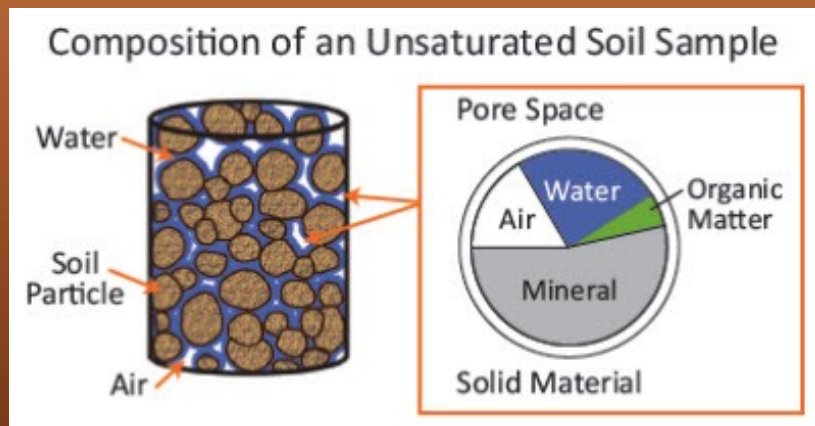


Složení půdní atmosféry

- se velmi liší půda od půdy
- půdní atmosféra se nachází v pórech mezi půdními částicemi
- objemová hmotnost je měřítkem stěsnání půdních částic a určuje rozsah prostoru, který může být zaplněn půdním vzduchem
- někdy mohou být póry zaplněné vodou, která pak nahrazuje vzduch
- některé vrstvy půdy jsou aerobní, jiné anaerobní
- i v aerobních vrstvách jsou oblasti bez volného kyslíku



- obsah kyslíku v půdním vzduchu určuje do značné míry typ metabolismu, který zde může probíhat
- i chemických transformací, které může půdní mikroflóra provádět
- koncentrace CO_2 v půdním vzduchu jsou obecně o 1-2 řády vyšší než v přiléhajícím vzduchu
- koncentrace CO_2 a O_2 v půdním vzduchu jsou závislé na difúzi plynů a mikrobiální respiraci
- koncentrace CO_2 se zvyšuje a koncentrace O_2 snižuje s hloubkou půdního sloupce
- v půdách deficitních na kyslík se ve větší koncentraci vyskytují další plyny jako CH_4 (metanogeneze), H_2S (anaerobní redukce sulfátů)



Půdní mikrobiální komunity



Určení jednotlivých druhů mikroorganismů je mnohem složitější než u rostlinných či živočišných druhů. Pojetí druhu nelze použít např. u bakterií, kde dochází k **rychlé výměně genů při tzv. horizontálním genetickém přenosu**, a při stanovování nepřímými metodami kultivace zjišťujeme, že většinu mikroorganismů v půdě tvoří tzv. **nekultivovatelné druhy (až 99 %)**, což ztěžuje identifikaci.

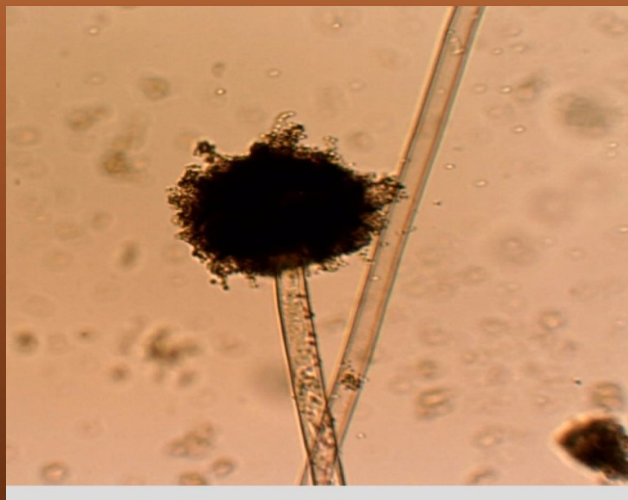
Při stanovení biologické diverzity se používají moderní metody (PCR atd.), které umožňují přibližné určení počtu vyskytujících se druhů. Při jednom stanovení při využití kinetiky asociace DNA **bylo nalezeno zhruba 4 000 mikrobiálních genomů v 1 g půdy, což by mohlo odpovídat přibližně 13 000 různých druhů.**

Distribuce edafonu v půdě

- Sledujeme-li **vertikální distribuci** v prostoru dle údajů různých autorů, najdeme bez ohledu na různé půdní druhy a typy nejvíce organismů ve vrstvě půdy zhruba **do 10 cm**, maximálně do 30 cm. Organismy, vyskytující se v této vrstvě představují zhruba 75 % až 90 % veškeré biomasy organismů v půdě, do hloubky 50 cm je to až 95 %. Avšak některé bakterie lze nalézt i ve velkých hloubkách (stovky metrů), jde především o sulfát-redukující a metanogenní archae či bakterie.
- Podobně nerovnoměrná je i **horizontální distribuce** mikroorganismů. Jiné množství mikroorganismů najdeme na půdních agregátech, jiné v půdním roztoku, **několikanásobně více půdních organismů najdeme v bezprostředním okolí kořenů v tzv. rhizosféře** než v ostatních partiích půdy. (Německý přírodovědec Lorenz Hiltner, ředitel Bavorského zemědělsko-botanického ústavu. 1904 - část půdy ovlivněná přítomností kořenového systému – rhizosféra.)

Půdní mikrobiální komunity

- vhodný habitat pro mikroby – kolonie na půdních částicích
- zde **více než ve vodních ekosystémech** – běžně 10^6 - 10^9
- viry, bakterie, houby, řasy, protozoa
- všeobecně dostatek organické hmoty – **heterotrofové**
- v horním horizontu bohatém na organické zbytky – autochtonní mikroflóra toleruje a roste za vysokých koncentrací organických látek
- vysoká růstová rychlost a aktivita na jednoduchých lehce využitelných substrátech – rostlinné a živočišné zbytky a exkrementy – tyto charakterizovány přerušovanou aktivitou s neaktivními odpočinkovými stádii – *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Aspergillus*, *Mucor*



- autochtonní mikroflóra - která je schopná využívat i odolné huminové látky
- pomalá, ale konstantní aktivita – většinou G- tyčinky a aktinobakterie
- ryze allochtonní – např. humánní a zvířecí patogeni – nenachází v půdě dobré růstové podmínky
- je těžké popsat rysy adaptace na půdní podmínky v půdě mnoho mikrohabitátů a na jednom místě může být více environmentálních situací, které zvýhodňují různé populace



Actinobacteria

<https://www.scottchimileskiphotography.com>

- půda - mnoho mikrohabitátů
- bakterie mohou být obligátní aerobové, fakultativní anaerobové, mikroaerofilové, obligátní anaerobové
- jednotlivé půdy mohou zvýhodňovat bakteriální populace s určitými metabolickými schopnostmi
(zaplavené půdy – fakultativní a obligátní anaerobové)
- podmínky v některých půdách značně omezují výběr mikrobiálních populací, které zde mohou růst
- extrémní v pH, polární půdy, pouštní půdy
- v půdě se nachází více G+ bakterií než v akvatických habitatech

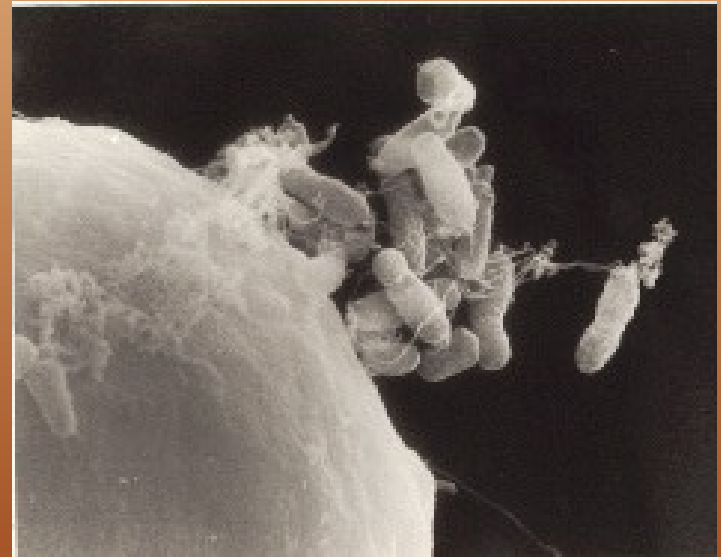
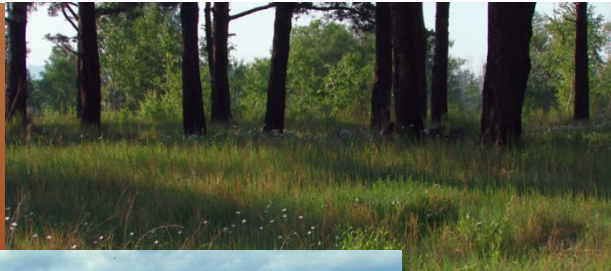


Table 9.11

The average number in viable counts of major groups of microorganisms in different soil types of the USSR

Zone	Soils	Total number of microorganisms ($\times 10^6/\text{g}$)	Non-spore-forming bacteria (%)	Bacilli (%)	Actinomycetes (%)	Fungi (%)
Tundra and taiga	Tundra-gley and gley-podzolic	2.1	94.9	0.7	1.5	2.9
Forest meadow	Podzols and soddy-podzolic	1.1	77.2	12.0	8.1	2.7
Meadow steppe	Chenozems	3.6	42.4	21.4	35.4	0.8
Dry steppe	Chestnut	3.5	45.4	19.4	34.6	0.6
Desert steppe and desert	Brown and sierozems	4.5	45.7	17.7	36.1	0.5

Source: Mishustin 1975.



běžné bakteriální rody v půdě:

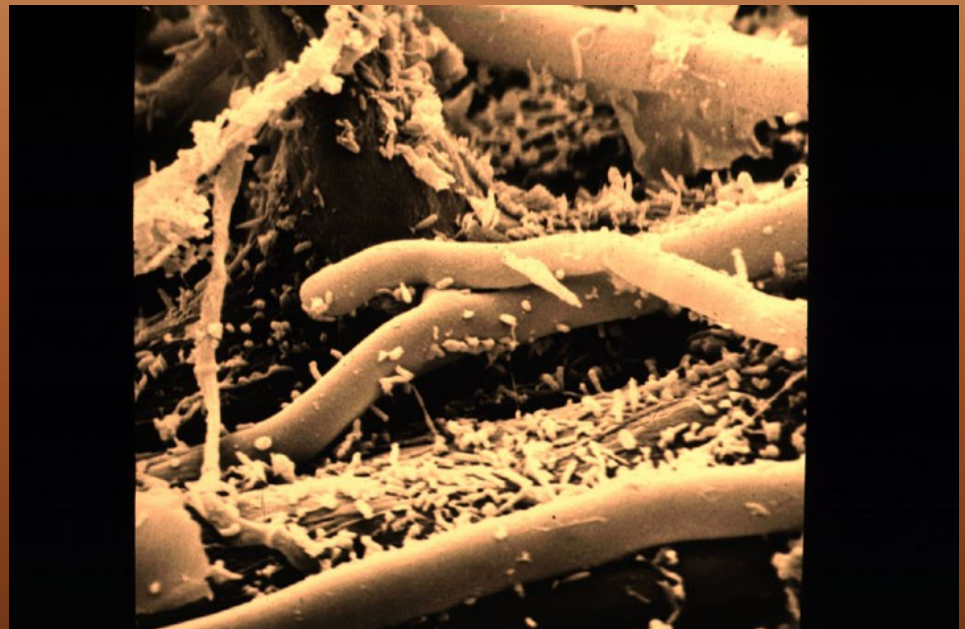
- *Acinetobacter, Agrobacterium, Alcaligenes, Arthrobacter, Bacillus, Brevibacterium,*
- *Caulobacter, Cellulomonas, Clostridium, Corynebacterium, Flavobacterium,*
- *Micrococcus, Mycobacterium, Pseudomonas, Staphylococcus, Streptococcus, Xanthomonas*
- velké rozdíly v zastoupení jednotlivých rodů v jednotlivých půdách

Table 9.12

Relative proportions of aerobic, facultatively anaerobic bacterial genera commonly found in soils

Genus	Percentage
<i>Arthrobacter</i>	5–60
<i>Bacillus</i>	7–67
<i>Pseudomonas</i>	3–15
<i>Agrobacterium</i>	1–20
<i>Alcaligenes</i>	1–20
<i>Flavobacterium</i>	1–20
<i>Corynebacterium</i>	2–12
<i>Micrococcus</i>	2–10
<i>Staphylococcus</i>	<5
<i>Xanthomonas</i>	<5
<i>Mycobacterium</i>	<5

Source: Alexander 1977.

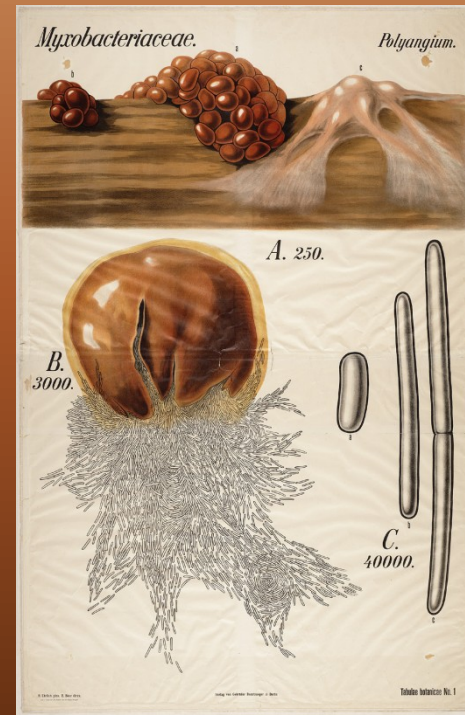
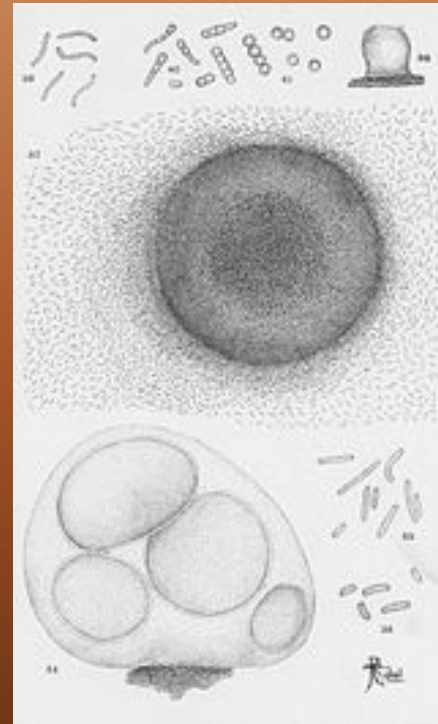
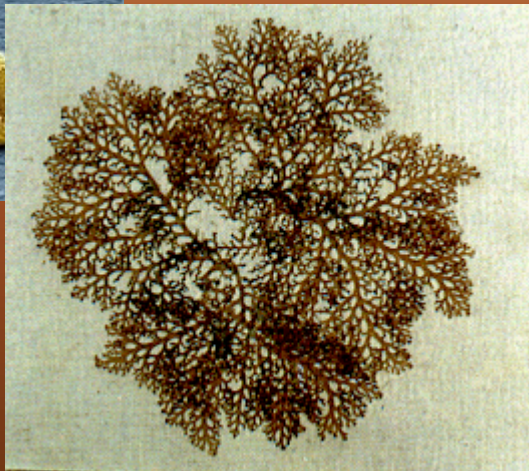
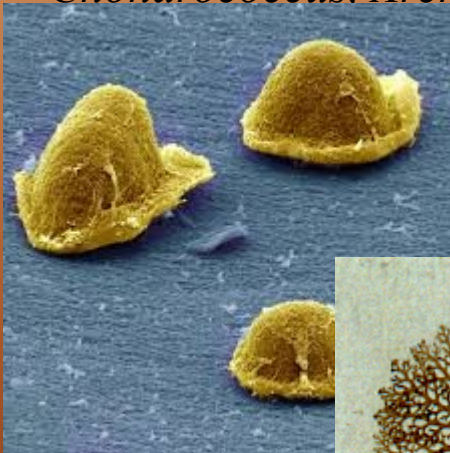


Aktinobakterie

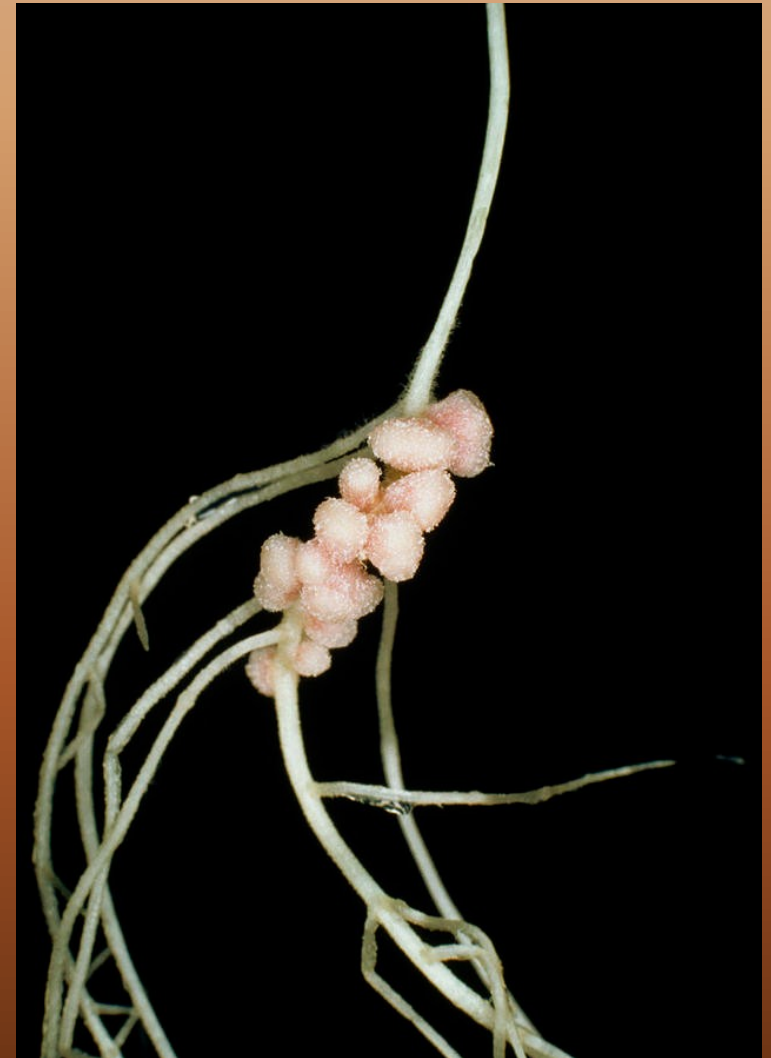
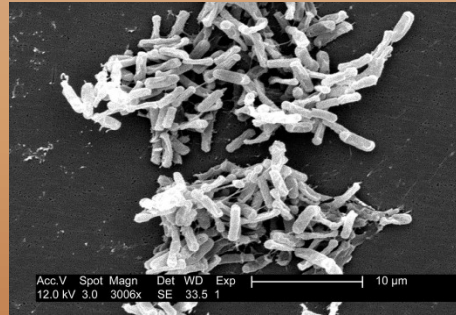
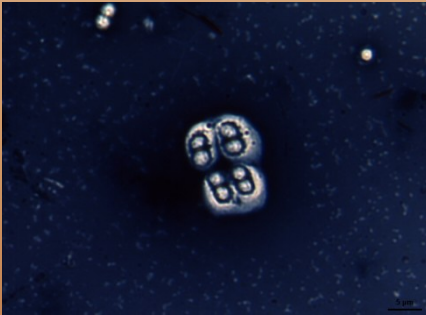
- mohou tvořit 10-33% všech bakterií v půdě - nejčastější rody jsou ***Streptomyces*** a ***Nocardia***; *Micromonospora* a *Actinomyces* jsou také původní půdní bakterie, ale mají nižší zastoupení
- jsou relativně odolné vysychání, přežijí i období sucha v pouštních půdách
- mají raději alkalickou nebo neutrální reakci, citlivé na kyselé pH

Myxobakterie

- hlavně v půdách - najdeme je na organické hmotě v lesních půdách: ***Myxococcus***, ***Chondrococcus***, ***Archangium***, ***Polyangium***



- *Azotobacter* – fixace N₂, ale i *Clostridium*
- význam **rhizobií** a bradyrhizobií



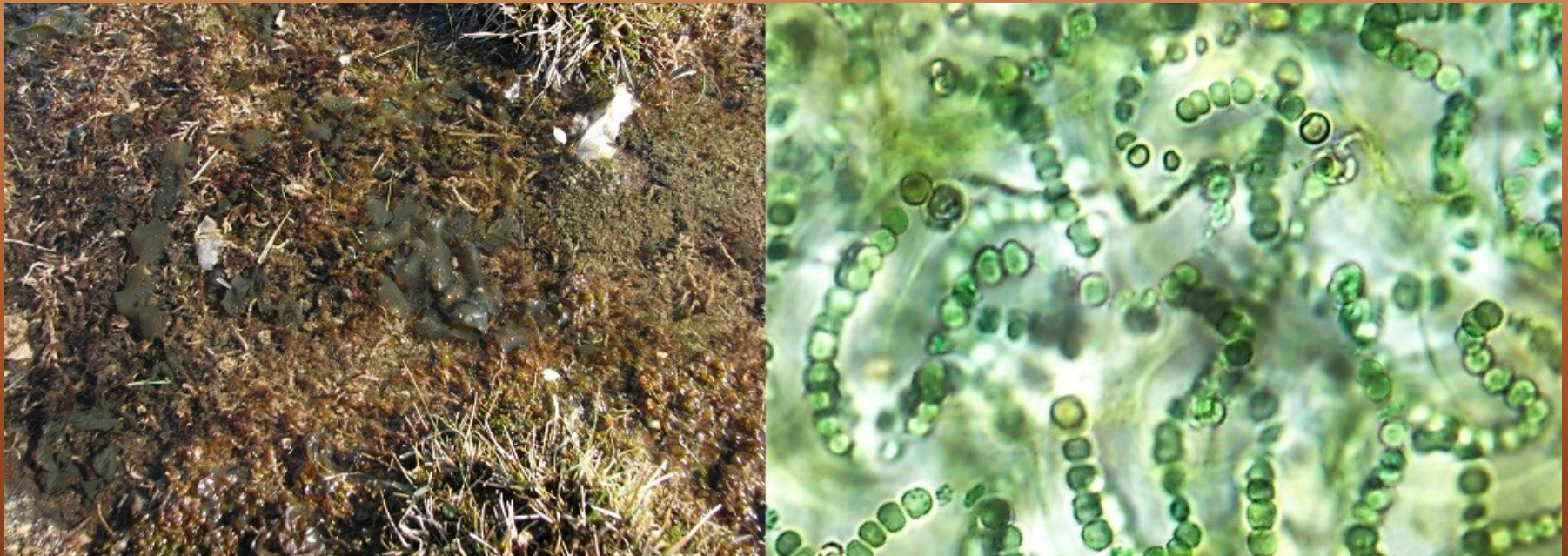


- v půdě i mnoho rodů řas – na povrchu i v půdě samé: *Chlorophycophyta*, *Rhodophycophyta*, *Euglenophycophyta*, *Chrysophycophyta*
- většina se nachází na povrchu nebo v několika povrchových milimetrech půdy
- zde až 10⁶/g; většinou jsou malé a jednobuněčné



Důležité fotoautotrofní bakterie – sinice

- *Anabaena, Calothrix, Chroococcus, Cyndrospermum, Lyngbya, Microcoleus, Nodularia, Nostoc, Oscillatoria, Phormidium, Plectonema, Schizothrix, Scytonema, Tolypothrix*
- některé (*Nostoc*) poskytují fixovaný N i organický C
- sinice tvoří krustu na půdách bez vegetace a tak ji stabilizují



Allochtonní organismy

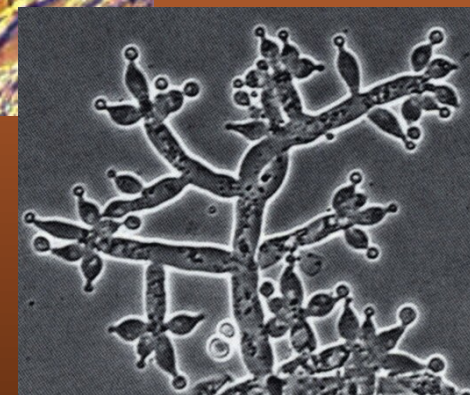
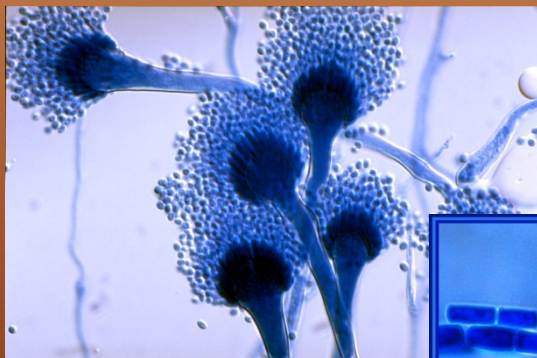
- do půdy z různých zdrojů ze vzduchu, hydrosféry
- nebo s rostlinnými a živočišnými zbytky
- *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas* – s infekčním rostlinným materiálem
- s trusem zvířat nebo s odpadní vodou
- za normálních podmínek allochtonní organismy rychle eliminovány, ale někdy mohou přežít delší dobu (endospóry)



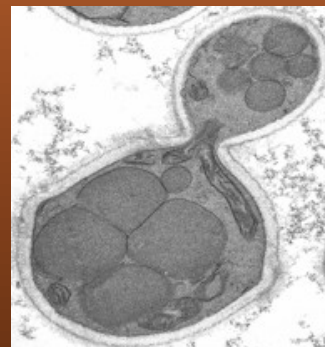
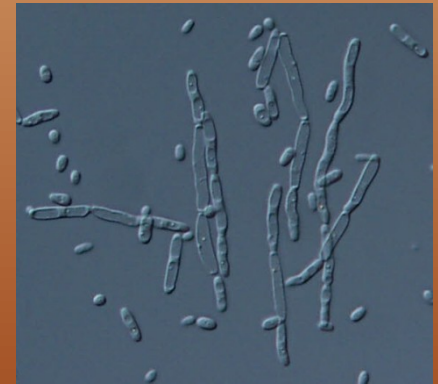
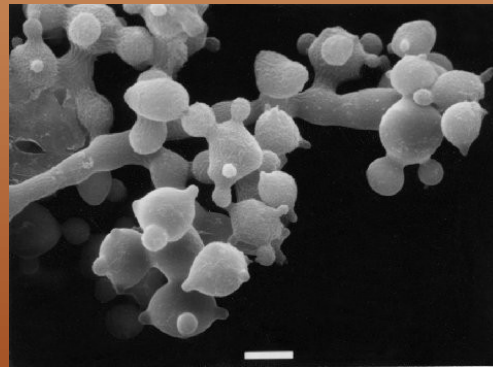
Houby

- tvoří významnou část půdní mikroflóry – většinu typů hub je možné najít v půdě
- buď zde jako volně žijící, nebo součást mykorhizy
- nejvíce v horních 10 cm půdy, méně pod 30 cm
- nejvíce v dobře provzdušněných kyselých půdách

- nejčastěji houby nedokonalé: *Aspergillus*, *Geotrichum*, *Penicillium*, *Trichoderma*,
- ale i četné askomycety a bazidiomycety
- často obtížná izolace a identifikace (zvl. u mykorhízy)
- **kvasinky** časté v půdě (většinou Deuteromycota): nejčastěji *Candida*, *Rhodotorula*, *Cryptococcus*

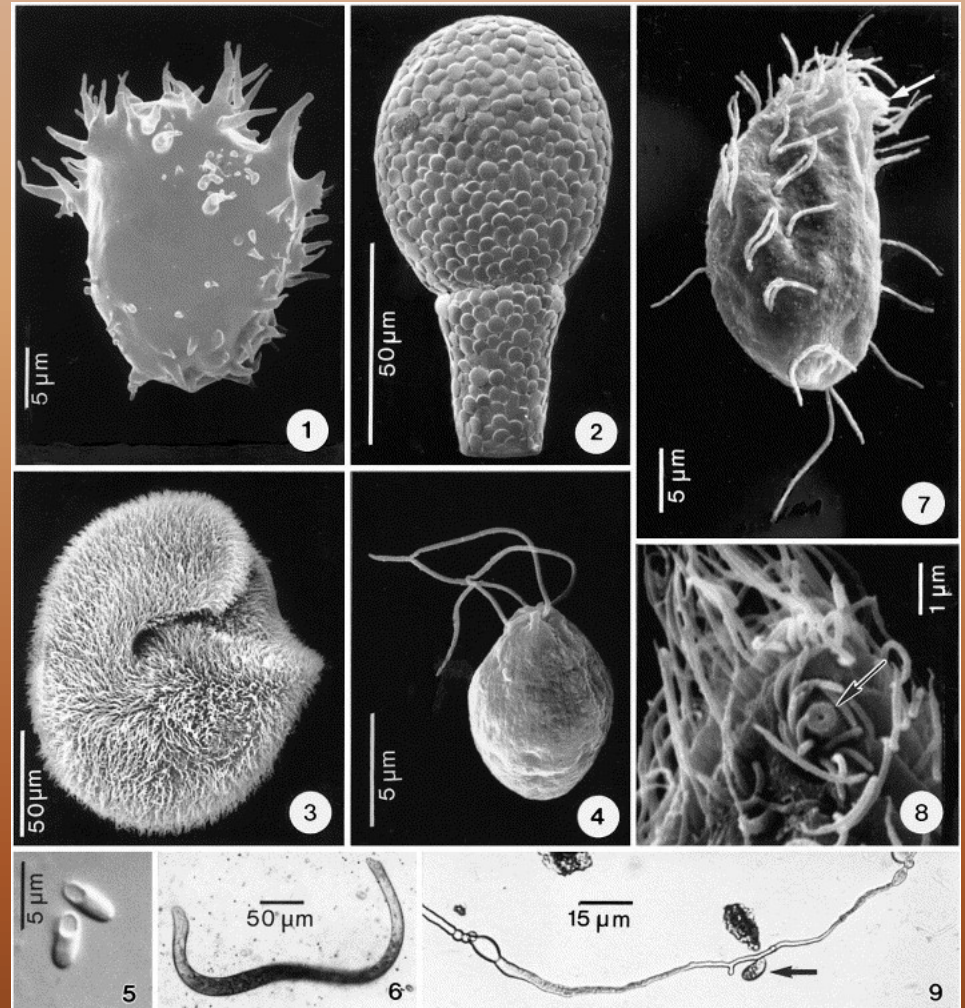


- některé druhy izolované jen z půdy: *Lipomyces*, *Schwanniomyces*, *Kluyveromyces*, *Schizoblastosporion*, *Hansenula*, *Cryptococcus*
- většina hub v půdě je oportunistických (zymogenních) – rostou za příznivých podmínek – adekvátní vlhkost, aerace a relativně vysoká koncentrace využitelného substrátu
- mnoho hub metabolizuje C-H (včetně polysacharidů), ale jen málo je schopno degradovat lignin
- typická je dormance; některé houby dormantní i desítky let – a stále „viable“ – často ve formě dormantních struktur; i mycélium může být v půdě metabolicky inaktivní



Protozoa

- významní predátoři sinic, řas a bakterií v půdě
- malé velikostí a i malá diverzita ve srovnání s podmínkami ve vodě
- aby bylo prohlášeno za půdní, musí se zde najít ve vegetativním stádiu (nestačí cysty)
- bičíkatá protozoa dominují půdní habitaty
- všeobecně je zde 10^4 - 10^6 /g půdy, nejvíce ve svrchních 15 cm; vyžadují dost O_2

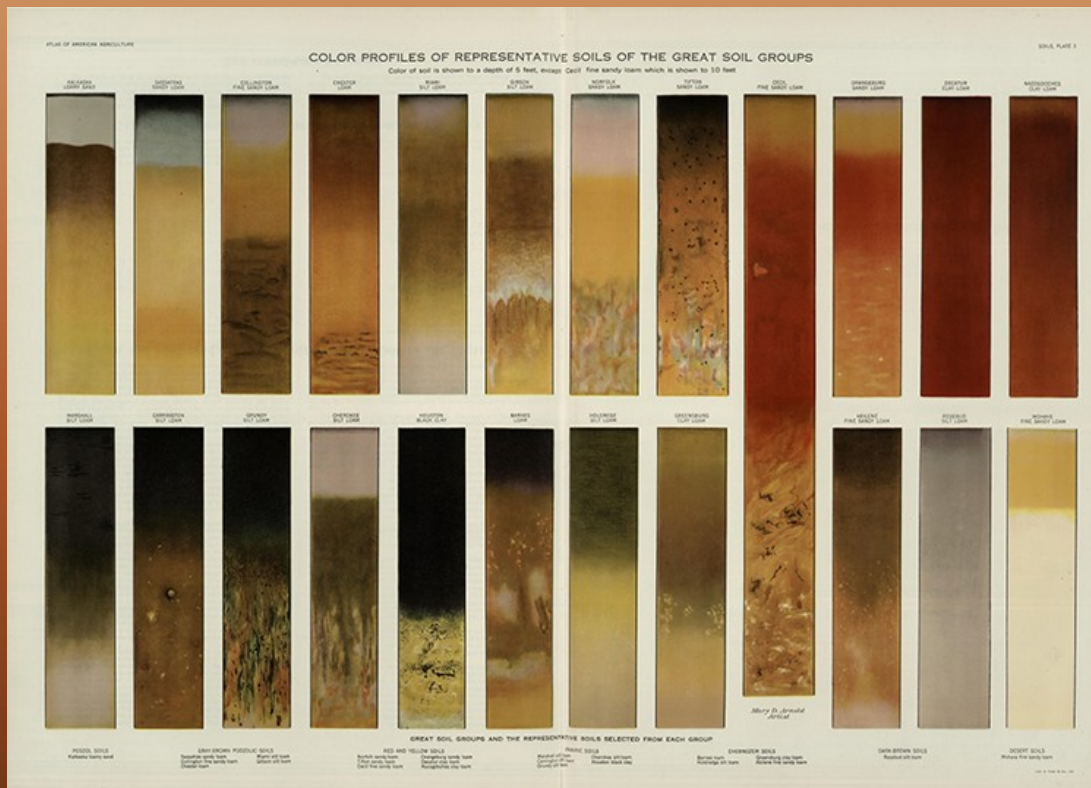


Význam živých organismů v půdě

- **Organická hmota** se významně podílí na tvorbě agregátů, udržování struktury půdy, zadržování vody a živin
- **Živé organismy organickou hmotu neustále transformují, rozkládají a doplňují**
- Proto mají biologické procesy transformace organické hmoty značný dopad na vlastnosti a funkce půdy

Půda

- obsahuje nesmírně různorodé mikrobiální komunity
- podporuje/umožňuje růst rostlin
- mikroorganismy významně přispívají k úrodnosti půdy (schopnosti podpořit růst rostlin)
- rostliny mají velký vliv na mikrobiální komunity v půdě
- rostlinný pokryv je významným faktorem v určení typu a množství mikrobů v půdě
- kořenové exudáty a staré části rostlin – živiny pro půdní mikroby



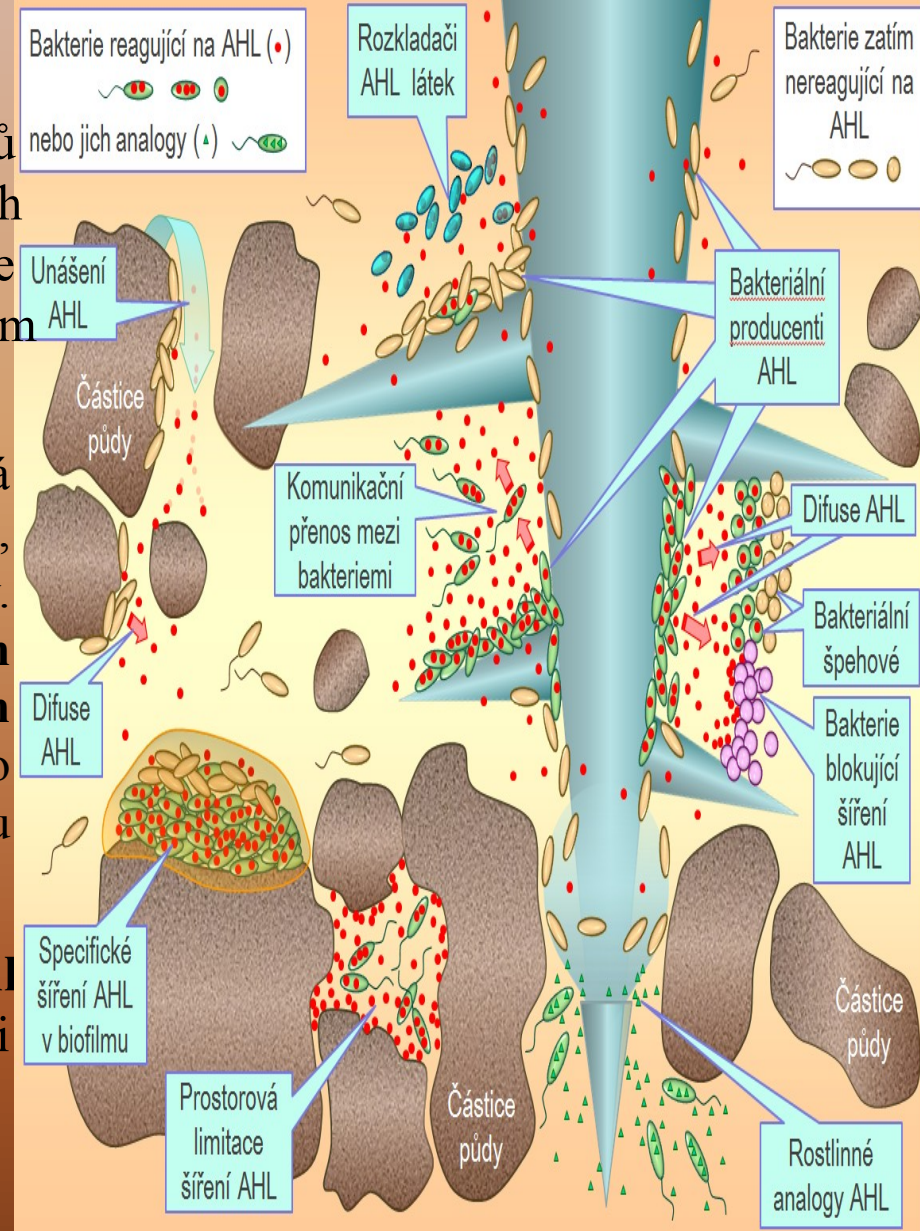
Co se děje ve rhizosféře

-Vzniká zde směs polysacharidů a glykoproteinů původem z **rhizodepozic** rostlin produkovaných i rhizosférními mikroorganismy, kterému říkáme souhrnně **mucigel**, který je materiálním základem tvorby mikrobiálního biofilmu na povrchu kořenů.

-Tato mikrobiální konsorcia, vytvářející organizovaná společenstva s kolektivní funkcí tzv. **biofilmu**, v němž se rozvíjí složité vzájemné vazby a vztahy.

-Tyto společenstva **zprostředkují kořenům rostlin příjem důležitých, často nedostatkových živin**. Mikroorganismy produkují i další pro rostliny aktivizující látky a stimulanty, jako jsou např. auxiny, gibereliny, etylen, antibiotika atd.

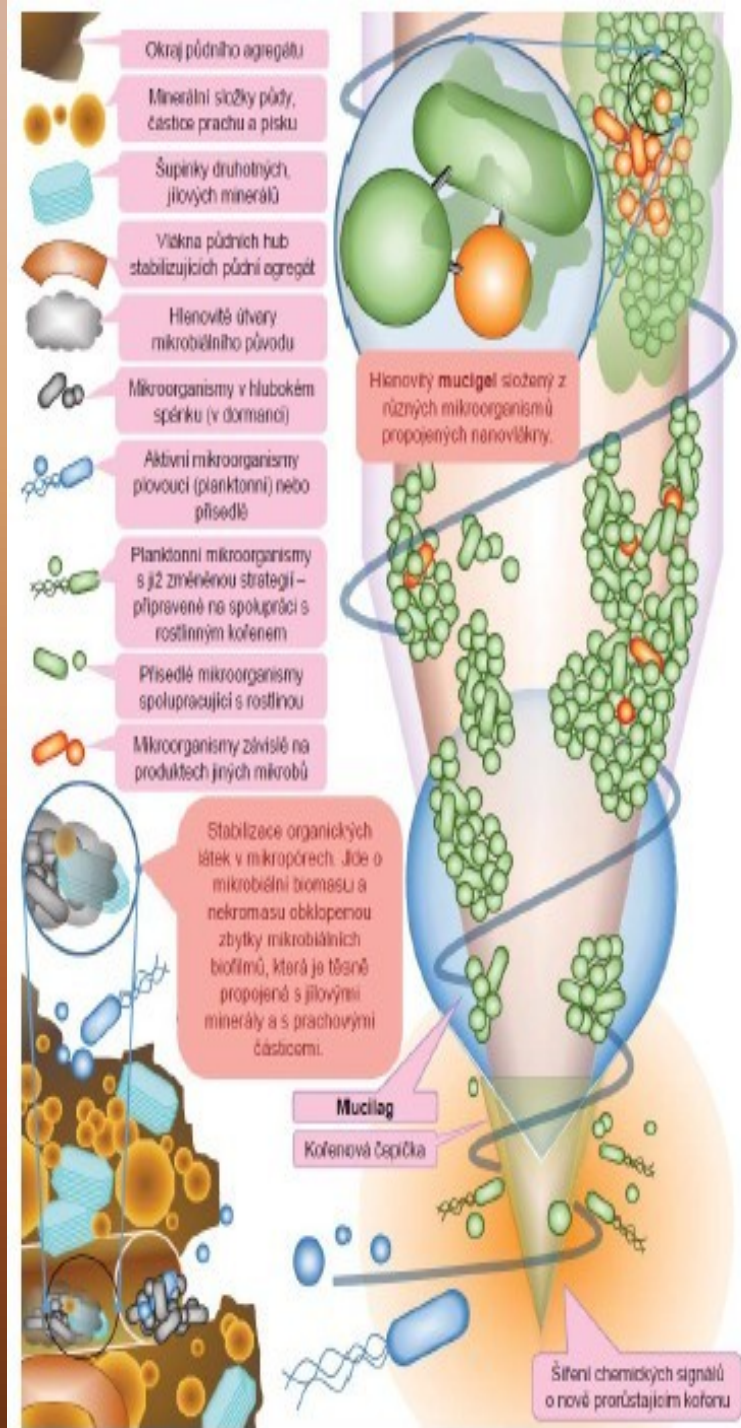
-Dochází k produkci tzv. **informačních molekul** pomocí kterých dochází k vzájemné komunikaci mezi rostlinou a mikroorganismy.



. **Povrch kořene** je nejzajímavějším a nejjintenzivnějším místem rozhodujícím o tom jak bujná a druhově bohatá bude vegetace, ale také v jaké míře budou distribuovány asimiláty získané při fotosyntéze do nadzemní nebo podzemní části.

. **Produkcí rhizodepozic stimulují rostliny množení rhizosferních mikroorganismů a i jejich aktivitu vedoucí k větší produkci enzymů důležitých pro dekompozici a uvolňování stěžejních živin z půdy.** To znamená, že pro rostlinu není tak důležité „vyživovat“ kořeny pro jejich aktivitu a vlastní růst, ale „**vykrmovat**“ si rhizosférní mikroorganismy. Obecně se uvádí, že se takto do půdy dostává asi **20 až 50 %**, někdy až **60-80 % uhlíku fixovaného fotosyntézou.**

. **Ukazuje se, že kořeny nejsou jen pasívním příjemcem živin nebo bezbrannou obětí patogenů, ale naopak hrají velice aktivní roli při vlastní ochraně a atrahování prospěšných příslušníků edafonu. Samy totiž mohou cíleně řídit aktivity půdních mikroorganismů stimulací kořenovými exsudáty.**



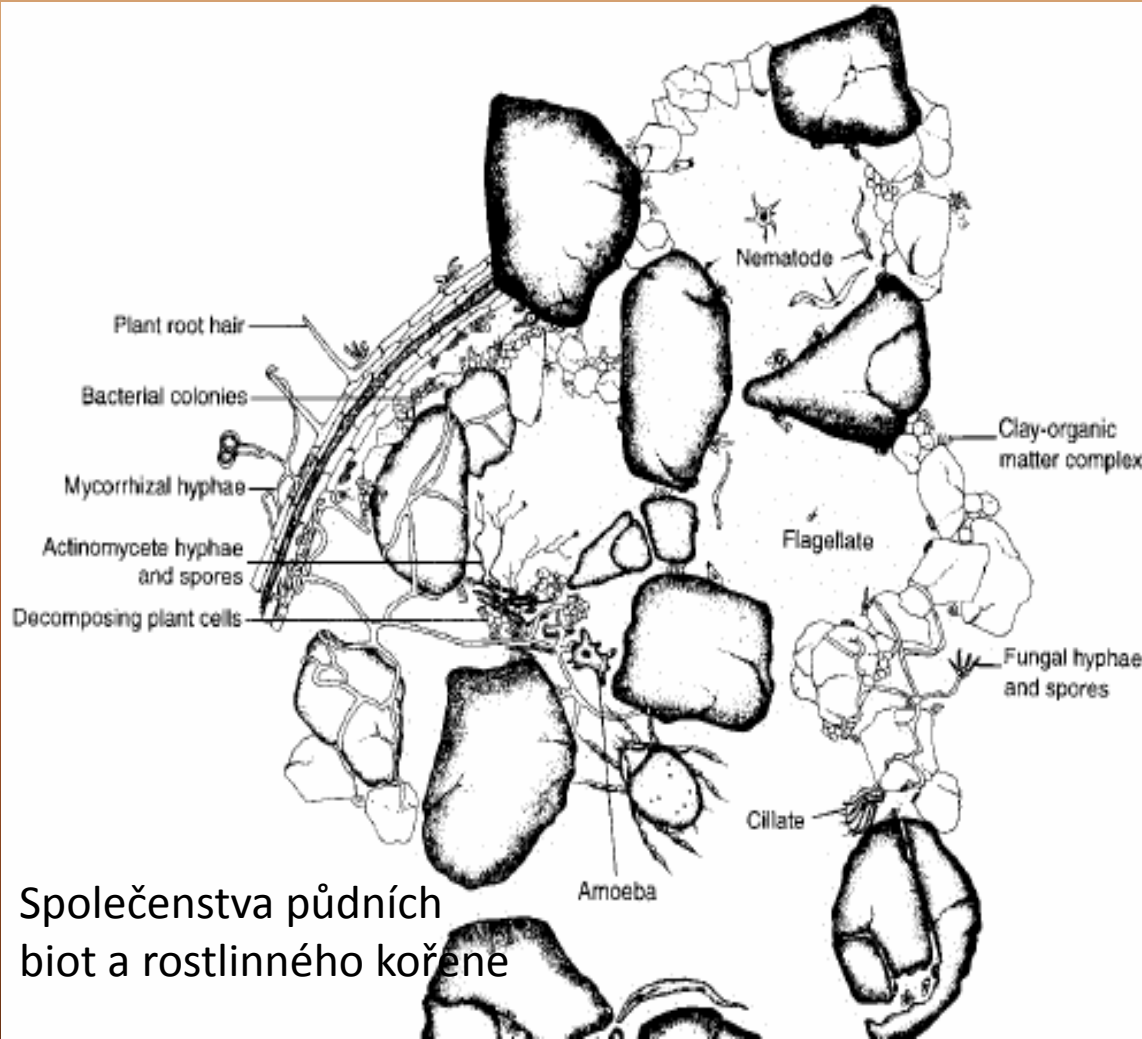
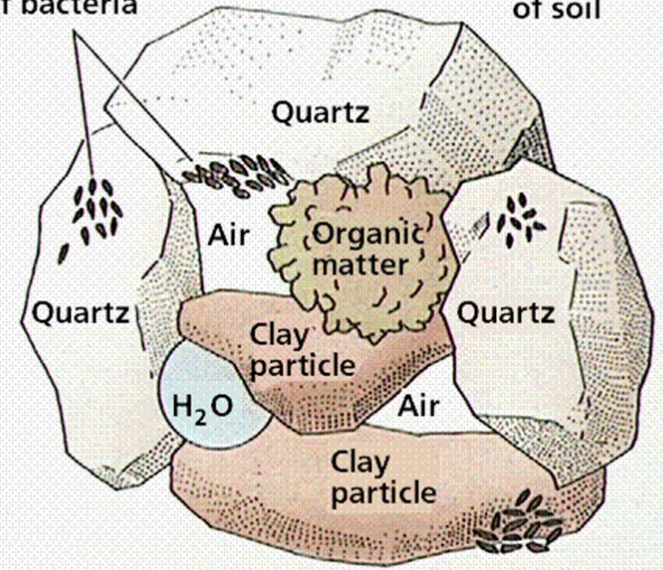
Význam mikroorganismů v půdě

- stěžejní v cyklech živin a energií
- stojí na počátku potravních řetězců
- rozklad organické hmoty (mineralizace)
- syntéza nových sloučenin (immobilizace)
- tvorba humusu
-
- prospěšný vliv na půdní úrodnost a pro růst rostlin
- vliv na vodní a vzdušný režim půdy
- degradace kontaminantů



Microcolonies
of bacteria

The complexity
of soil



Úbytek půdní organické hmoty
vede k **degradaci půdy**.

Za posledních padesát let se
v půdách mírného pásu
v důsledku kultivace snížil obsah
uhlíku v organických látkách
o 20 až 40 %. Správná
agrotechnika by měla tedy
směřovat k tomu, aby se
alespoň zachoval obsah
organické hmoty, lépe však
k tomu aby se zvyšoval její
obsah.

Společenstva půdních
biot a rostlinného kořene

„Zemědělci si zvykli hospodařit v krajině v podstatě společensky nebezpečným způsobem.“ (Petr Havel, agrární analytik a novinář, 10.07.2009)

V posledních desetiletích se na Zemi velmi zvýšila intenzita procesů degradace zemědělské půdy. To má zásadní vliv na další oblasti společného zájmu, jako je ochrana vody, lidského zdraví, změna klimatu, ochrana přírody a biologické rozmanitosti a také bezpečnost potravin.

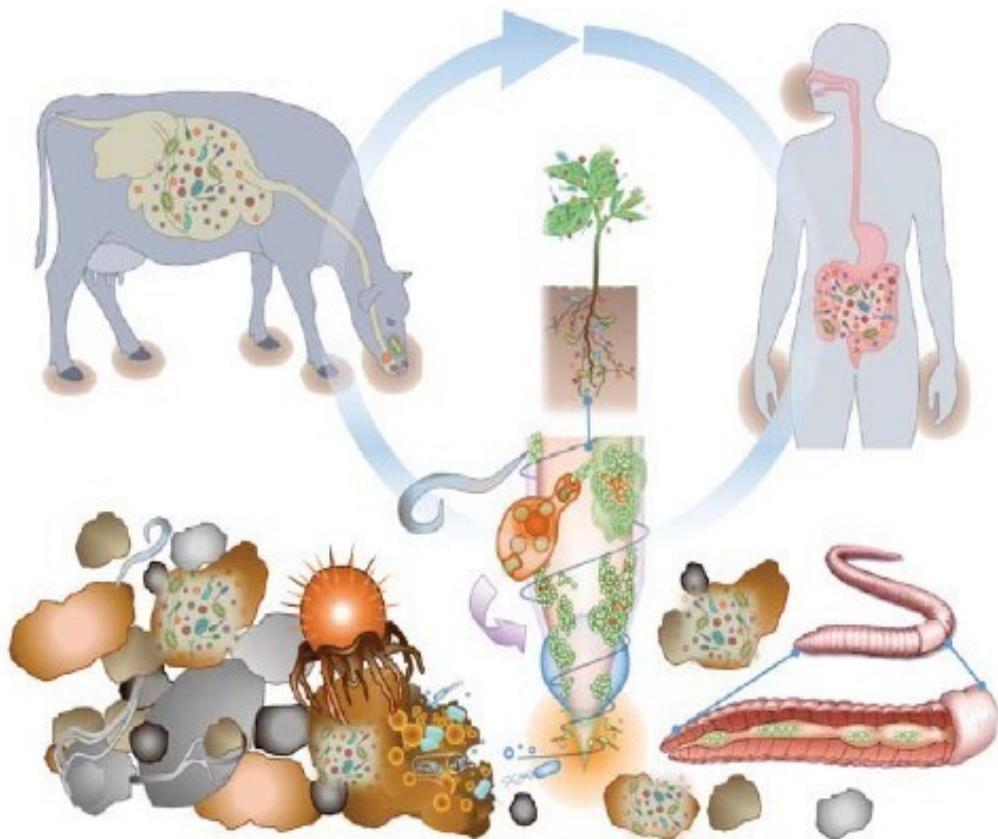
Proces degradace zemědělské půdy probíhá i v České republice. Na **jednoho obyvatele ČR připadá v průměru 0,41 ha zemědělské půdy** (z toho 0,29 ha orné půdy). Od roku 1927 jsme ztratili jednu pětinu veškeré zemědělské půdy a přitom **polovina ze zbývajících půdy je ohrožena erozí, kontaminací či jiným způsobem.**

Vodní eroze ohrožuje více než polovinu ploch zemědělské půdy. Podle Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy se odhaduje, že je poškozeno kolem 1,4 mil. ha, z toho je přibližně 450 tis. ha poškozeno výrazně. Různým stupněm větrné eroze je v Čechách ohroženo potenciálně 23 %, na Moravě a ve Slezsku 41 % orné půdy.

Zhutněním je ohroženo kolem 30–50 % všech zemědělských půd. Ve zranitelných oblastech se nachází 44 % z celkové výměry zemědělské půdy v ČR (49 % z orné půdy).

Velká část půd v ČR náleží do kategorie půd s velmi nízkou a nízkou retenční vodní kapacitou (dle: Situační a výhledová zpráva MZe, Národní strategický plán rozvoje venkova ČR za období 2007–2013).

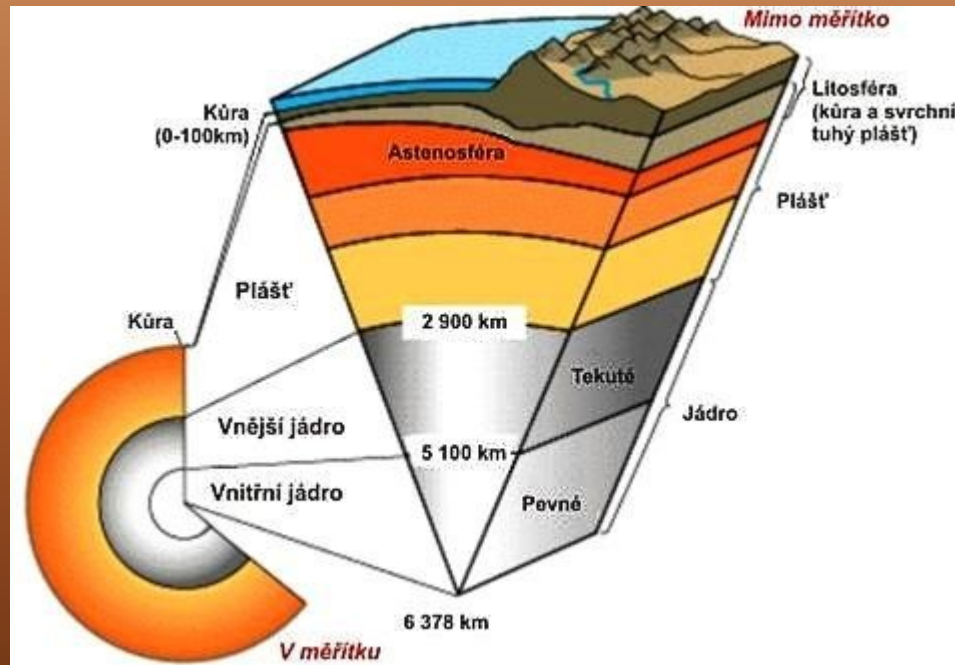
V práci „ Soil microbiomes and one health“ autorů Banerjee a van der Heijden z roku 2022 je uvedeno, že lidské zdraví není izolované, ale souvisí se zdravím zvířat, rostlin a prostředí. Autoři poukazují, že půdy jsou základním kamenem jednoho zdraví a slouží jako zdroj a rezervoár jak patogenů, tak i prospěšných mikroorganismů a celkové mikrobiální diverzity v široké škále organismů a ekosystémů. Je uvedeno více než 40 funkcí půdního mikrobiomu, které přímo nebo nepřímo přispívají ke zdraví půdy, rostlin, zvířat a lidí.



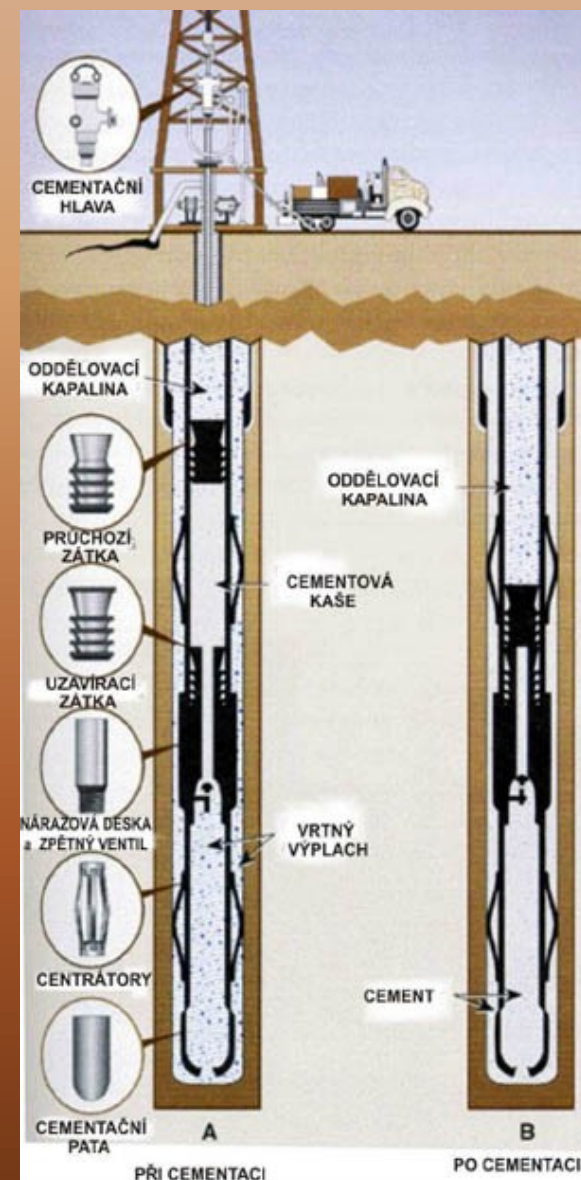
Jsou zde popsány mikroorganismy, které jsou sdíleny mezi různými složkami zdraví, a ukazujeme, že půdní, rostlinné a lidské mikrobiomy jsou možná propojenější, než se dříve myslelo. Jsou hodnoceny příspěvky půdních mikroorganismů ke zdraví ve světle dysbiózy a globálních změn a ukazuje, že mikrobiální rozmanitost je obecně pozitivně spojena s jedním zdravím.

Hlubší vrstvy litoekosféry

- mikrobiálně neaktivnějších je vrchních 15 cm půdy (ornice), pak klesá – nedostatek živin (není fotosyntéza a málo se sem vyluhuje)
- dříve se předpokládalo, že litoekosféra končí na matečné hornině
- v 80.letech minulého století se tento názor změnil
(v souvislosti v výzkumem těchto vrstev jako možného úložiště nebezpečných odpadů)



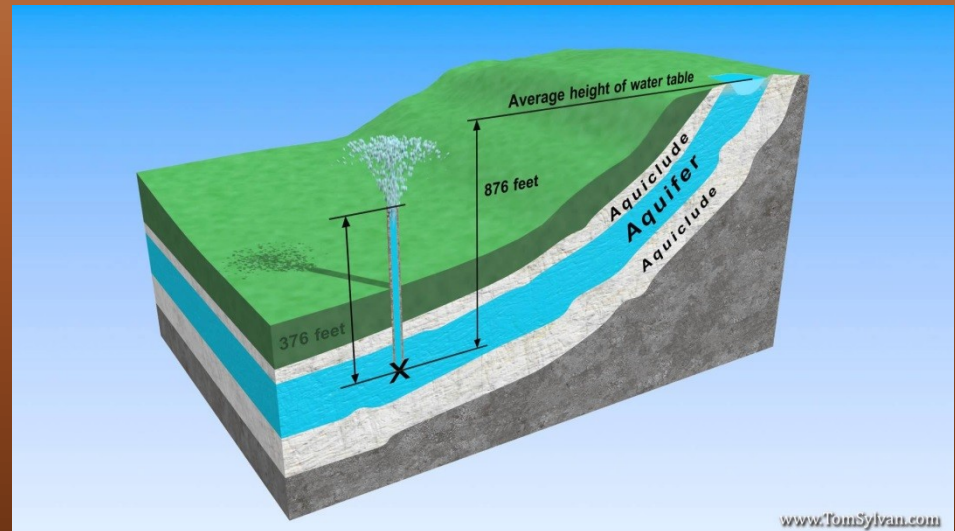
- výzkum náročný – vrtné soupravy je třeba modifikovat, aby se zabránilo
- mikrobiální kontaminaci kvůli anaerobům je třeba do vrtů aplikovat argon
- **vyvrtané vzorky** je třeba skladovat a zpracovávat za speciálních podmínek kvůli prevenci kontaminace a deteriorace
- mikrobi objeveni ve všech hloubkách, kde byla také voda a teplota ve vhodném rozsahu
- nejhlubší vzorky s mikroby byly získány z hloubek kolem 4km – termofilní
- fermentativní bakterie; nejčastěji šlo o anaerobní sulfát redukující a metanogenní archea



Mikrobi v aquiferní vodě

- artézské studně – voda vytéká pod tlakem, což umožní vypláchnutí vrtu před odběrem vzorku
- mnoho mikrobů získáno z vod více než 10.000 let starých
- není vyřešena otázka, na jakých zdrojích energie a živin zde přežívají – často zde až 10^6 - 10^8 /ml
- většinou heterotrofové – organický C se zde může vyskytovat - plynné a jiné rozpuštěné organické látky se sem mohou dostávat do aquiferů z fosilního plynu, ropy, nebo ložisek lignitu
- spodní voda reaguje s redukčními bazaltickými horninami za vzniku vodíku – ten podporoval metanogenní komunity

Btw... aquifer není tvořen volným prostorem naplněným vodou, ale horninou, která je propustná a pórovitá →



Extrémní půdní habitaty

- Polární kruh. půdní teploty v polárních oblastech nízké
 - tundra – po většinu roku pod bodem mrazu
 - permafrost
 - Arktické oblasti - dominantní lišejníky a jiné organizmy adaptované pomalému růstu
 - často hlavní pokryv půd a zdroj potravy pro zvířata
-
- Antarktické oblasti – ještě extrémnější – chlad a sucho
 - mnohé organismy jsou endolitické – rostou v horninách – zde částečně chráněny
 - často se zde nacházejí kvasinky (vysoká koncentrace lipidů) a bakterie tvořící endospory
 - bakterie s endosporami i v horkých pouštních oblastech



- *Picrophilus* rostou v suchých extrémně kyselých prostředích (pH pod 0,5), půdy v Japonsku zahříváné solfatarickými plyny (sopečný výron) nad 55°C
- acidofilní bakterie – *Thiobacillus thiooxidans* – chladnější ale kyselé habitaty
- pH pod 2,0

- alkalická jezera a půdy (NaCO_3) – pH nad 9,0 (někdy i vysoká koncentrace soli)
- archea: *Natronobacterium*, *Natronococcus* – pH 10 a výš
- salinní archea – *Halobacterium*, *Halococcus*, *Haloarcula*, *Haloferax* – slaná jezera a půdy s neutrální reakcí – vyžadují ale nejméně 1,5M NaCl
- **habitaty bez kyslíku, s nízkou koncentrací živin, vysokou koncentrací těžkých kovů nebo intenzivní radiací** – zde podmínky značně limitující – ale i zde přežívají některé mikrobiální populace



DĚKUJI ZA POZORNOST

