

Ekologie mikroorganismů

Mikrobní společenstva a vztahy
mezi mikroorganismy

Ekologie

Oikos - dům

Logos - zákon, pravidlo

Věda zkoumající vztah organismů a jejich prostředí a vztah organismů navzájem .

Ekologie označuje vědu, která se zabývá vztahem organismů k vnějšímu prostředí, což je jak neživé okolí, tak i ostatní organismy ať už stejného nebo jiného druhu.

Organismy ↔ živým a neživým prostředím.

The law of the household

Ekologie - Ernst Haeckel (1866)

Historie

Už první pozorování/popisy mikrobů byly ekologické – půdní a akvatická mikrobiologie. Význam těchto pozorování často ve stínu „důležitějších“ úspěchů lékařské mikrobiologie

Robert Hook (1635-1703)

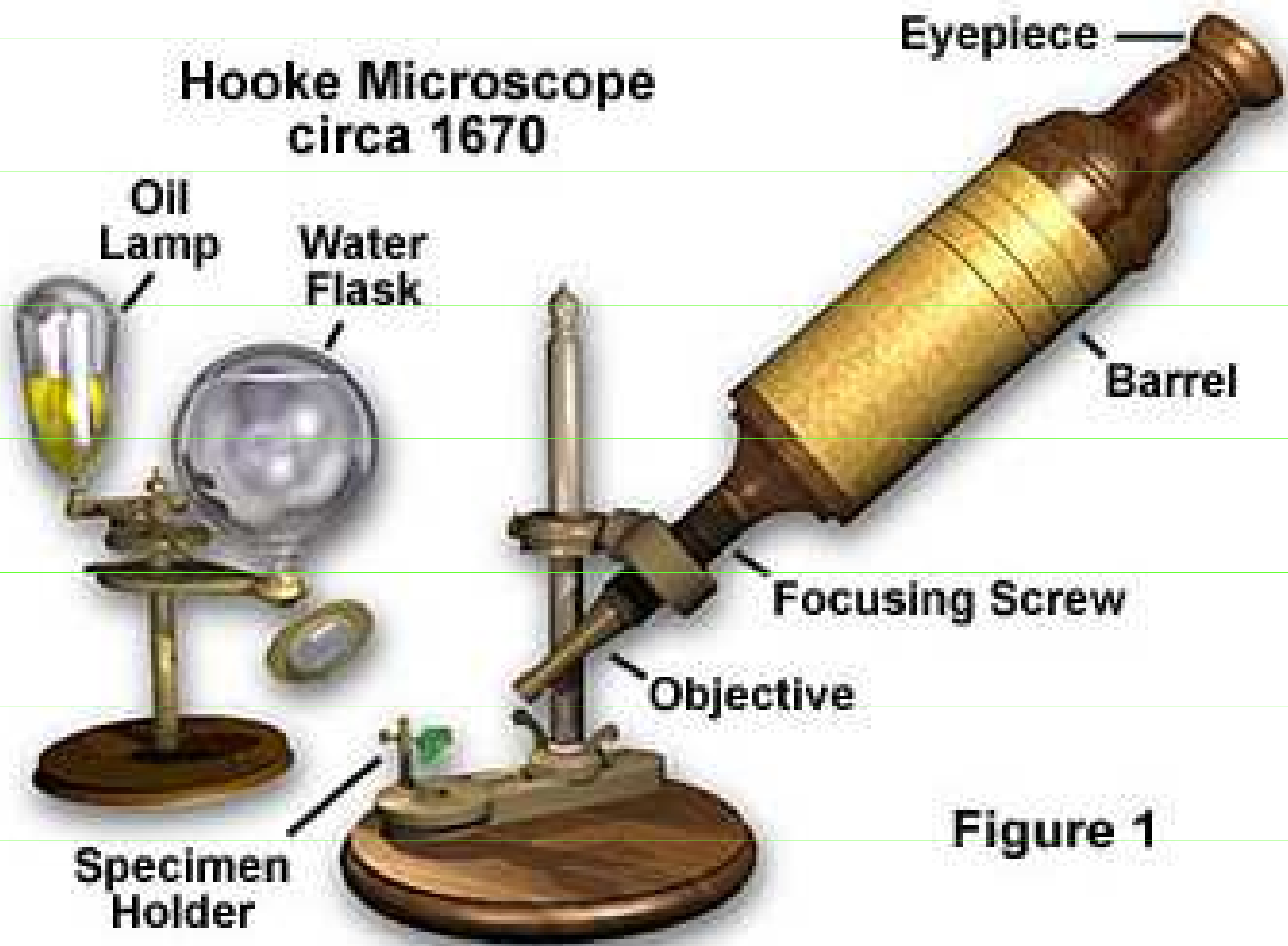
Anglický experimentální filosof

1665 – mikroskopie hub a protozoí

hrál významnou úlohu ve vědecké revoluci jak svou experimentální, tak i teoretickou prací

jeho otec byl John Hooke, kaplan Church of All Saints, Freshwater.

Hooke Microscope circa 1670



Eyepeice —

Oil
Lamp

Water
Flask

Barrel

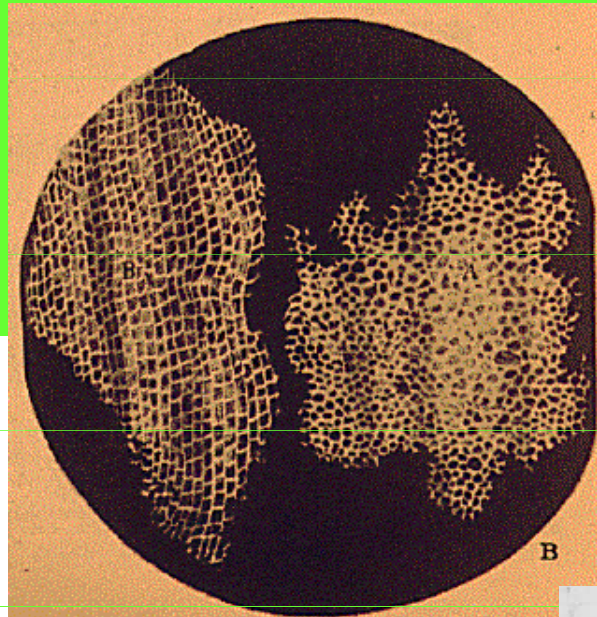
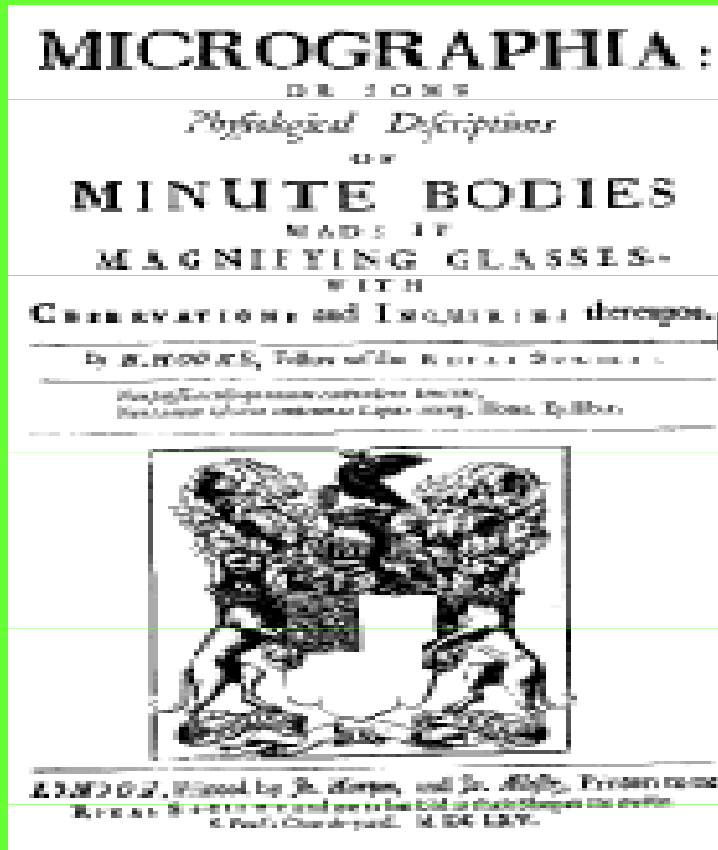
Focusing Screw

Objective

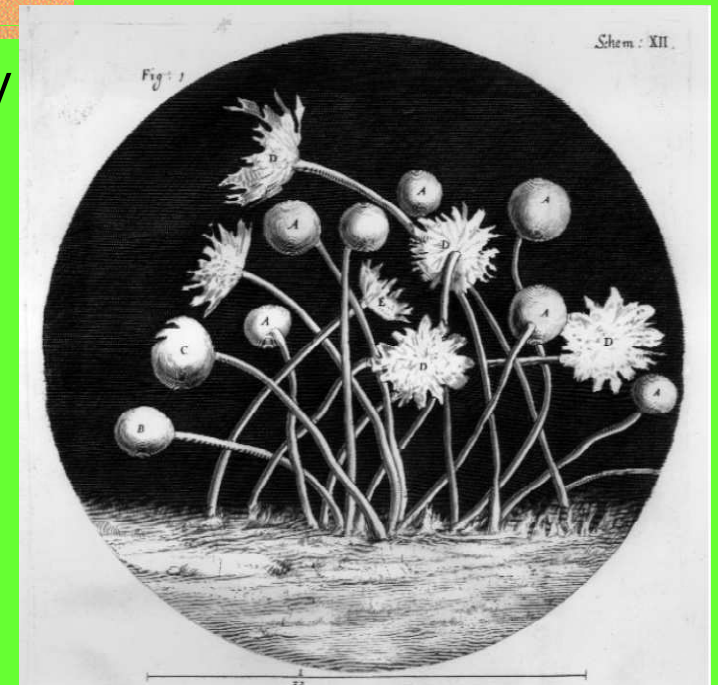
Specimen
Holder

Figure 1

Robert Hooke (1635-1703)

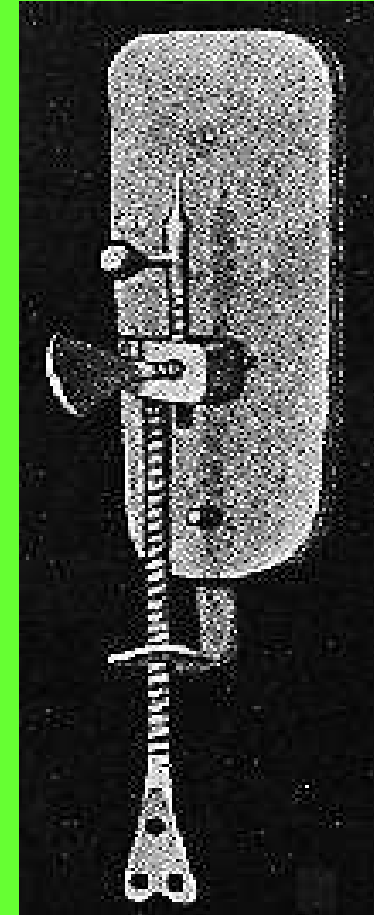


První pozorování buňky



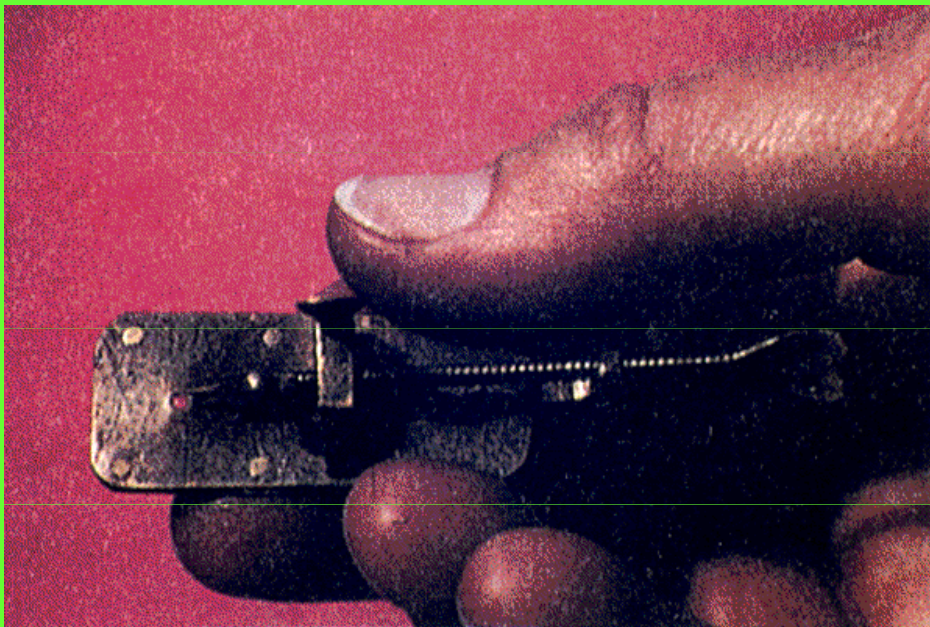
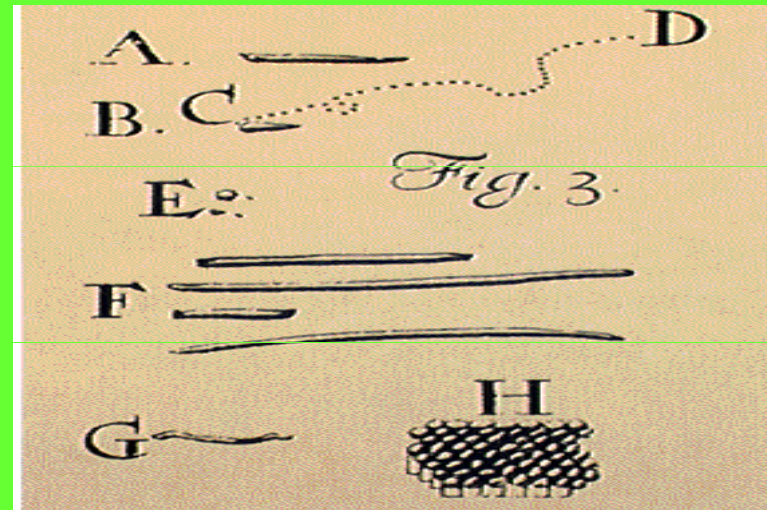
Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723)

První pozorování živých organizmů



Replika jednoduchého mikroskopu
k pozorování živých organizmů
(zvětšení až 300x)

Leeuwenhoekovy kresby



Kresby bakterií z roku 1683

Mikrobiální ekologie

60. léta 20. století

– důsledek 2. sv.v.

– obrovsky technologicky a ekonomicky rozvoj

Alarm - populační exploze

zhoršování životního prostředí

vyčerpání neobnovitelných zdrojů

**Téměř neomezená možnost podmanit si a využít Zemi
a zároveň neschopnost regulovat populaci
a obhospodařovat omezené zdroje Země**

**Jak dál?! – regulace populace, limity pro technologický
a ekonomický růst, omezení znečišťování (solution),
obnovitelné zdroje.....**

Rachel Carson: Silent spring – 1962 (DDT)

<http://www.nrdc.org/health/pesticides/hcarson.asp>



Nova legislativa, mezinárodní organizace.....

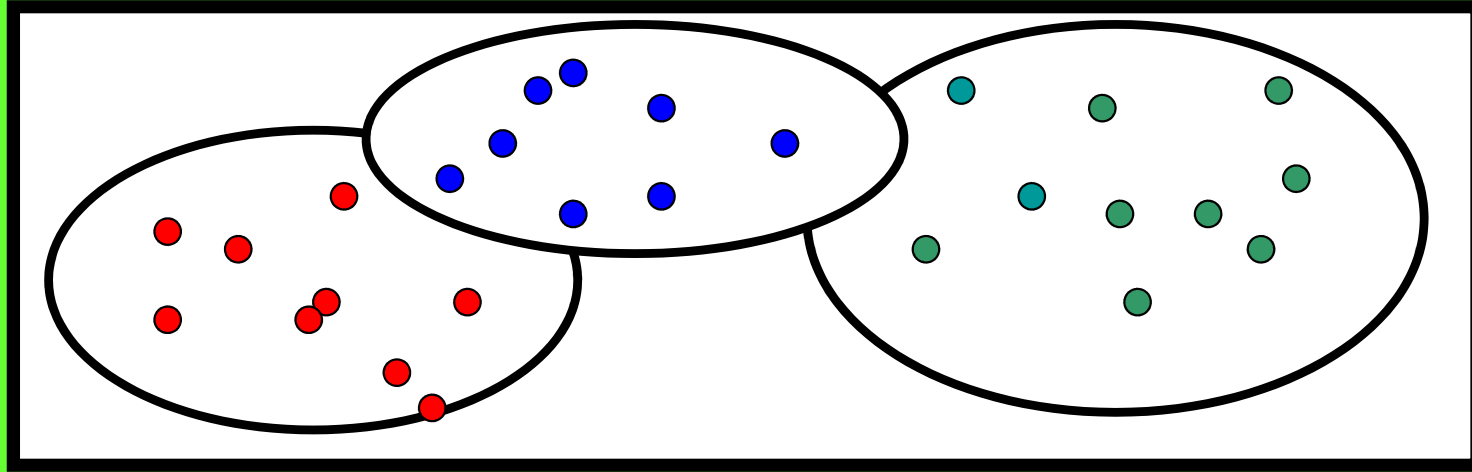
Uvědomění si **kritické role všech organismů - včetně mikrobů - pro udržení ekologické rovnováhy a přiznání **klíčové role** mikroorganismů v toku materiálů a energií přes globální ekosystémy.**

Role mikrobů:

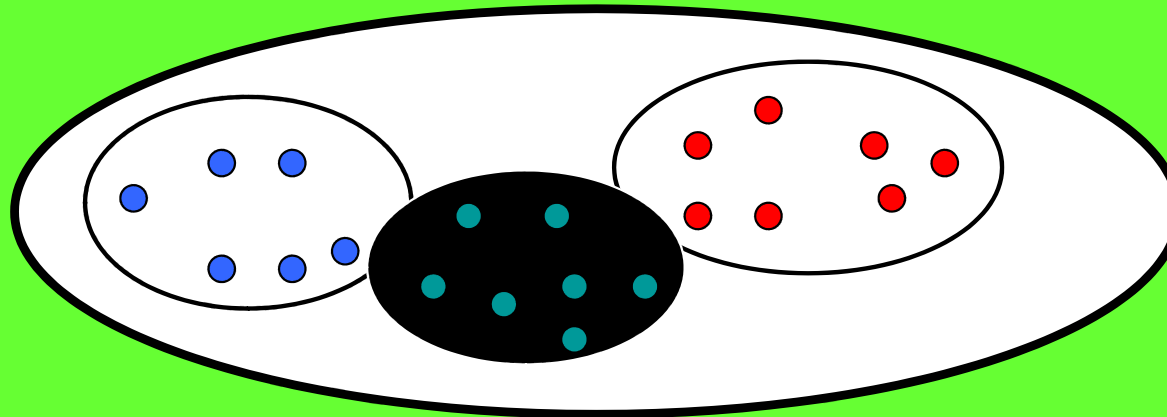
- bezpečná a ekonomická likvidace tekutých a tuhých odpadů**
- řešení nedostatku N hnojiv**
- biologická kontrola škůdců**
- produkce potravin, krmiv, paliv z vedlejších a odpadních produktů**
- extrakce kovů z nízkoobsahových rud**

Hlady ekologické organizace

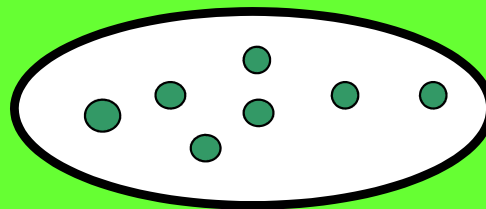
Ekosystém



Společenstvo



Populace



Organismus

**E
k
o**



Mikrobiální populace -

souhrn mikroorganismů pocházejících z jednoho klonu, zaujímající určitý prostor v průběhu dostatečně dlouhé doby a oddělených částečně nebo úplně od jiných obdobných souborů

Homogenní populace – klonová kultura vzniklá jako výsledek nepohlavního rozmnožování buňky obsahující jedno jádro nebo jádra odpovídající strukturu (geneticky i fyziologicky)

Heterogenní populace – vzniká z homogenní populace

- přítomnost mutantů
- tlak vnějšího prostředí

Čistá kultura je analogem heterogenní populace

Charakteristika populace jako samostatné funkční jednotky

- **Četnost** – počet individuí tvořících danou populaci
- **Celková hmotnost (biomasa)** těchto individuí
- **Hustota populace** - je dána počtem individuí v jednotce objemu

Mikrobiální společenstvo je tvořeno

- **Autochtonními druhy** – jsou stanovišti přirozené (v prostředí se vyskytují stále) a podílejí se rozhodující měrou na aktivitě společenstva
- **Allochtonními druhy** – jsou druhy, které se ve společenstvu vyskytují přechodně (cizorodé organizmy, vetřelci)

* počet vzrůstá při dodání živin

Druhová rozmanitost – diverzita společenstva

- **Společenstva monodruhová** - jsou tvořena pouze populací jednoho druhu
- **Společenstva vícedruhová**
- **Malá druhová rozmanitost** charakterizuje takové prostředí, kde vnější faktory vytvářejí extrémní podmínky
- Společenstva s velkou druhovou rozmanitostí jsou podstatně odolnější ke změnám prostředí

Kolonizace prostředí

- Sterilní prostředí



- Primární populace (pionýrská)



- Mikrobiální společenstvo

Kolonizace prostředí

- Každé prostředí se selektivně brání vstupu mikroorganismů
- Žádný druh není primární pro všechny lokality
- **Rezistence prostředí** – souhrn fyzikálních, chemických a biologických faktorů bránící kolonizaci – vytváření **bariéry**

Bariéry kolonizace

| Prostředí | Bariéra |
|------------------------|---------------------------------|
| pokožka | mastné kyseliny |
| plíce, žaludek | sliznice |
| dutina ústní | lysozym |
| krev | fagocyty, protilátky |
| zažívací trakt | sliznice |
| tkáně ryb | protaminy |
| mléko | peroxidáza, aglutininy |
| ovoce | kutikula, kyseliny |
| rostlinné tkáně | glykozidy, fenolické sloučeniny |
| virem infikované tkáně | interferon |

Sukcese a klimax

Sukcese – neperiodické změny v druhovém zastoupení a v počtu individuí v populacích tvořících společenstvo

- Vývoj společenstva je uskutečňován v několika fázích tvořících

sukcesní řadu

Klimax – konečné stadium, charakteristické největší druhovou rozmanitostí

Vzájemné vztahy mezi organismy

- Neutralismus
- Protokooperace
- Komenzalizismus
- Mutualismus
- Kompetice
- Amenzalizismus
- Parazitismus
- Predace

Typy vzájemných vztahů mezi dvěma druhy

| Interakce | druh A | druh B |
|----------------|--------|--------|
| Neutralizmus | 0 | 0 |
| Komenzalizmus | + | 0 |
| Protokooperace | + | + |
| Symbióza | + | + |
| Kompetice | - | - |
| Amenzalizmus | - | 0 |
| Parazitizmus | + | - |
| Predace | + | - |

Neutralizmus

- Vztah mezi populacemi bez vzájemných interakcí
- Vyskytuje se tehdy, kdy populace mají značně odlišné požadavky na živiny
- Protože nedochází k soutěžení o živiny, populace se vzájemně neovlivňují
- V přírodě se prakticky nevyskytuje

Protokooperace (synergizmus)

- Spojení výhodné pro oba partnery
- Spojení není obligatorní
- Jeden organizmus podporuje druhý a současně je kritickou komponentou daného prostředí pro druhý organizmus
- Produkce metabolitů, plynů, fixace molekulového dusíku, nepatogenní organizmy

Protokooperace (synergismus)

- *E. fecalis* a *E. coli* přeměňují arginin na putrescin
- metanogeneze – fermentativní bakterie produkují mastné kyseliny – anaerobní bakterie vodík – archea metan
- hranice mezi synergizmem a mutualismem je někdy tenká

Protokooperace (synergismus)

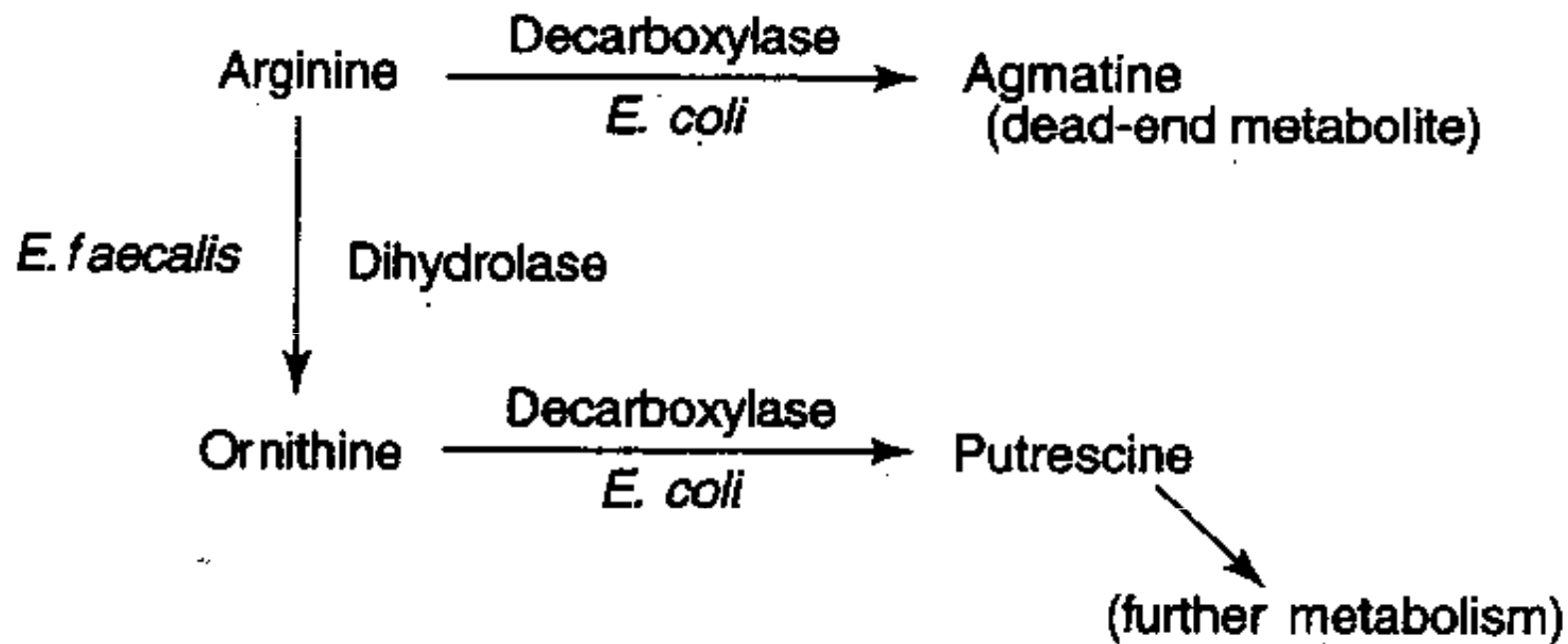


Figure 3.8

Classical example of synergistic relationship between *Enterococcus faecalis* and *Escherichia coli* that allows for production of putrescine from arginine. (Source: Gale 1940.)

Synergismus- pokr.

Metan produkující archee mají synergický vztah s jinými bakteriálními populacemi:

- bakterie (Syntrophomonas) oxiduje organické kyseliny na acetáty a H_2 (CO_2)
- acetát a H_2 (toxický pro bakterii) je využit archeemi k produkci metanu
- jeden organismus bez druhého to neumí

- 1941 izolován *Methanobacterium omelianski* a teprve po 26 letech (Bryant, 1967) se zjistilo, že jde o směsnou kulturu *M. bryantii* a „S“ organismu, později identifikovaného spolu s dalšími syntropickými fermentátory jako archea *Syntrophomonas* a *Syntrophobacterium*.

Symbióza - mutualizmus

- Vzájemně výhodný vztah, na němž je alespoň jeden z partnerů závislý
- Obligatorní
- Do vztahu vstupují mikroorganismy, rostliny, živočichové
- **Mikrosymbiont** – mikroskopický partner
- **Makrosymbiont** – obvykle vyšší eukaryot

Původ slova symbióza - mutualismus

Spolu s vývojem poznání o symbiotických organismech se objevily snahy vytvořit slovo, které by zastřešilo všechny termíny, jako je [mutualismus](#) a [parazitismus](#). Výraznou motivací byl objev symbiotické povahy lišejníků, vztah uvnitř lišejníku totiž nebylo možné klasifikovat jako parazitismus.

V roce 1877 [Albert Bernhard Frank](#) použil pro tuto potřebu termínu symbiotismus. Vysvětlil ho jako společnou koexistenci dvou druhů bez ohledu na povahu jejich vztahu.

Přesto bývá termín symbióza připisovaný botanikovi [Anton de Barymu](#), jenž slova poprvé použil v roce [1878](#) v díle Die Erscheinung der Symbiose (Fenomén symbióza). Anton de Bary se v tomto spise nezmínil o tom, že termín přejal od Franka, i když v jiných textech se o něm zmínil.

Slovu symbióza také podřadil termíny [mutualismus](#), [parazitismus](#) a [komezálismus](#).

Termín mutualismus však zavedl už pár let před Baryho spisem [Pierre-Joseph van Beneden](#).[\[5\]](#)

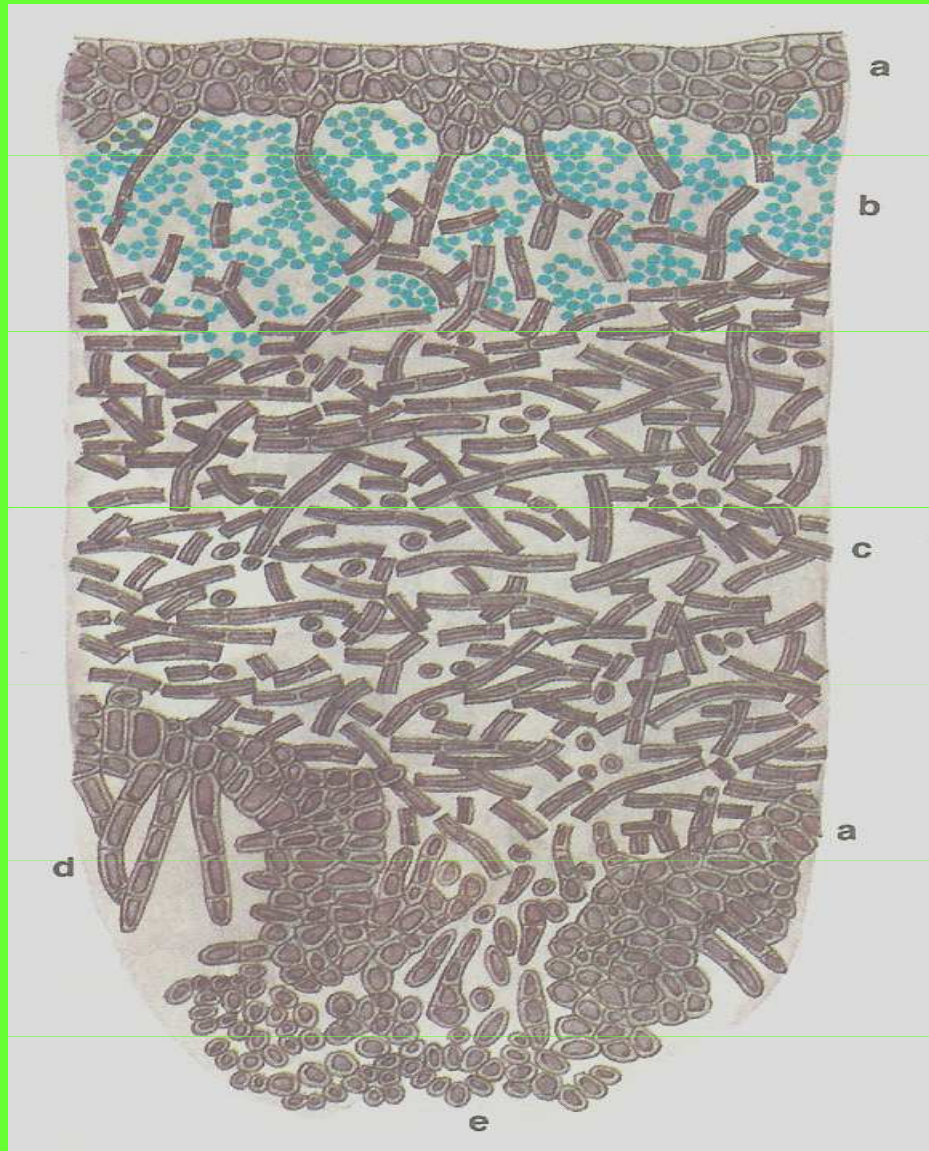
Symbióza

- Ektosymbióza, endosymbióza
- Mezi mikroorganizmy (lišejníky – řasa, houba)
- Mezi mikroorganizmy a zelenými rostlinami (rhizobia a leguminózy)
- Mezi mikroorganizmy a živočichy
 - bachor přežvýkavců
 - krev sající hmyz (moskyti)

Symbióza mezi různými druhy mikroorganismů

- Lišejníky – na této symbióze participují
 - * řasa – phycobiont (v současné době popsáno více než 20 druhů zelených řas - *Heterococcus*, *Trebouxia* nebo sinice (*Nostoc*)
 - * houba – mycobiont (*Ascomycetes*, případně *Basidiomycetes*)

Lišejníky – řez lupenitou stélkou



- a – kůra
- b – pod ní vrstva s fycobiontem
- c – dřeň
- d – spodní strana – kůra s rhizoidy
- e - spodní strana - kůra s pórem

Crustose lichens



Foliose lichens



Fruticose lichens

Symbióza mezi mikroorganizmy a zelenou rostlinou

- Hostitelský organizmus – rostliny patřící k různým taxonům
- Mikroorganizmus – bakterie, řasy, houby

Fixace vzdušného dusíku

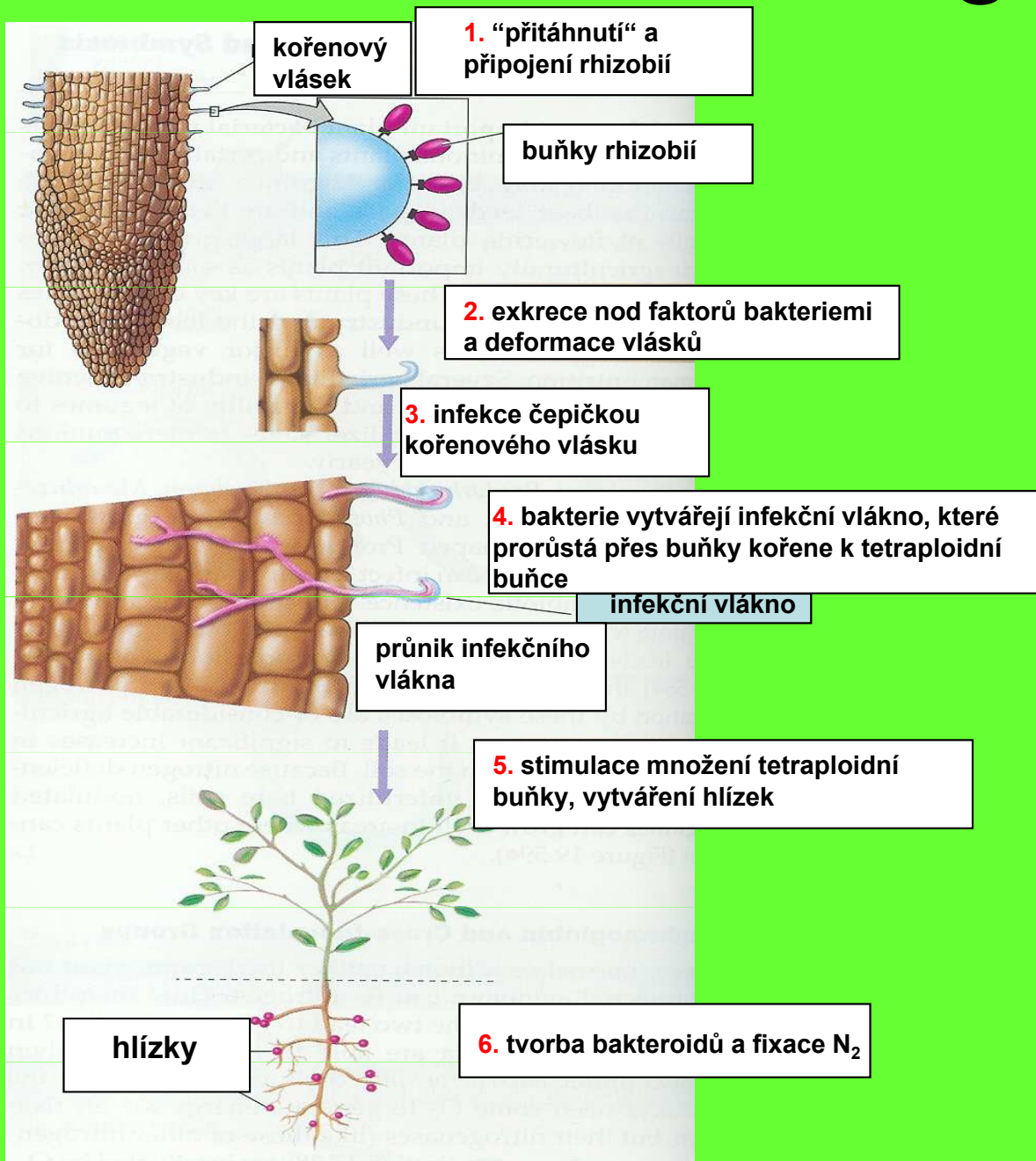
- bakterie zpřístupňuje dusík v amonné formě rostlinám
- pouze prokaryota – G- bakterie, aktinomycety a sinice
- diazotrofní mikroorganismy



Fixace vzdušného dusíku

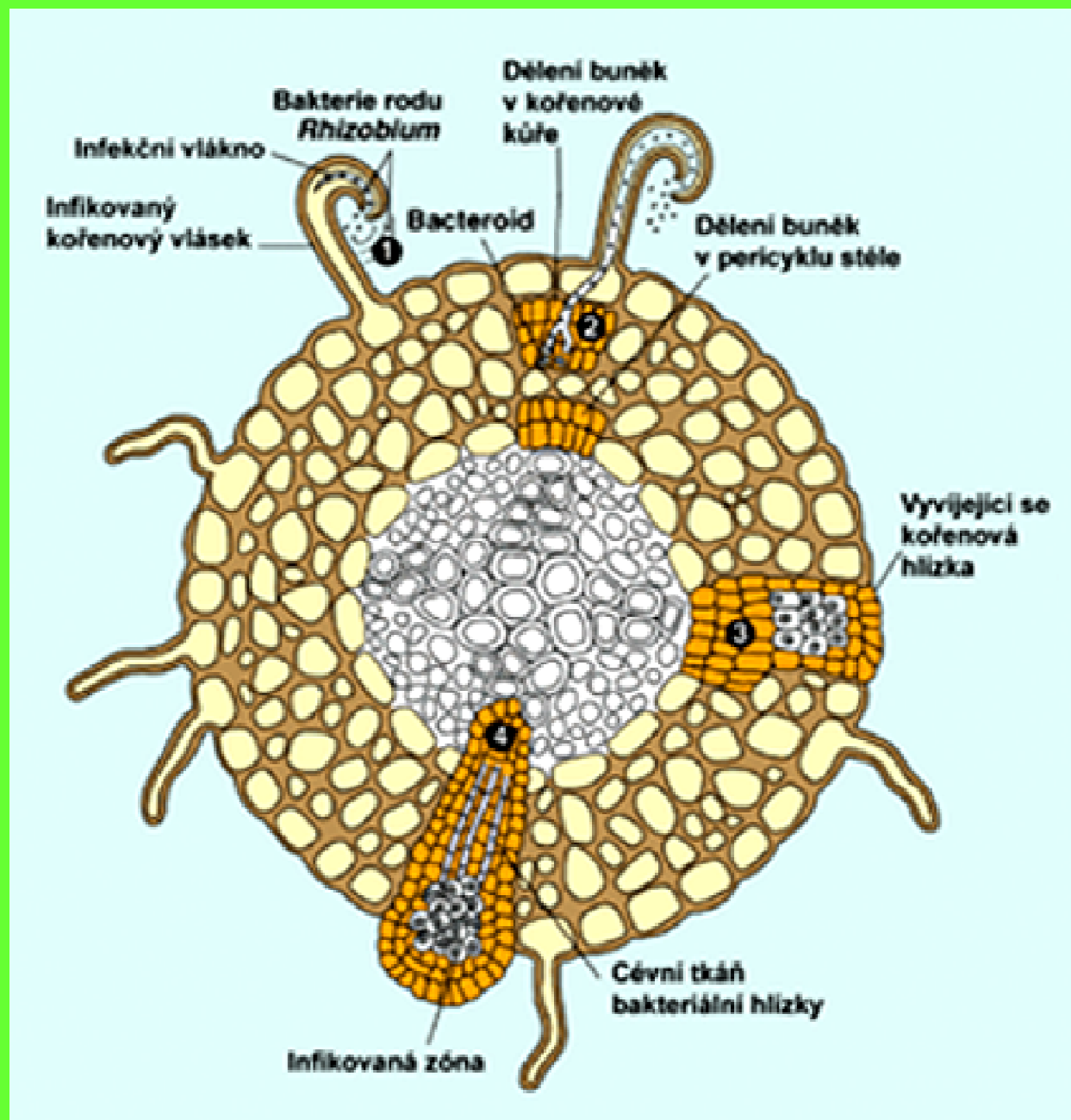
- symbiotická
- hlízkové bakterie
 - rhizobia – leguminózy
 - *Frankia* – neleguminózní rostliny, olše
 - *Anabaena* – *Azolla* – kapradina, byla využívána na rýžových polích již v 11. stol.

Tvorba hlízek u leguminóz

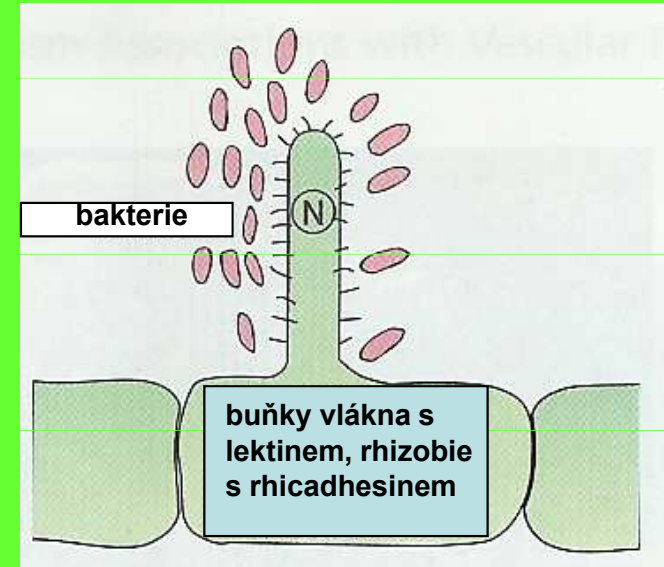
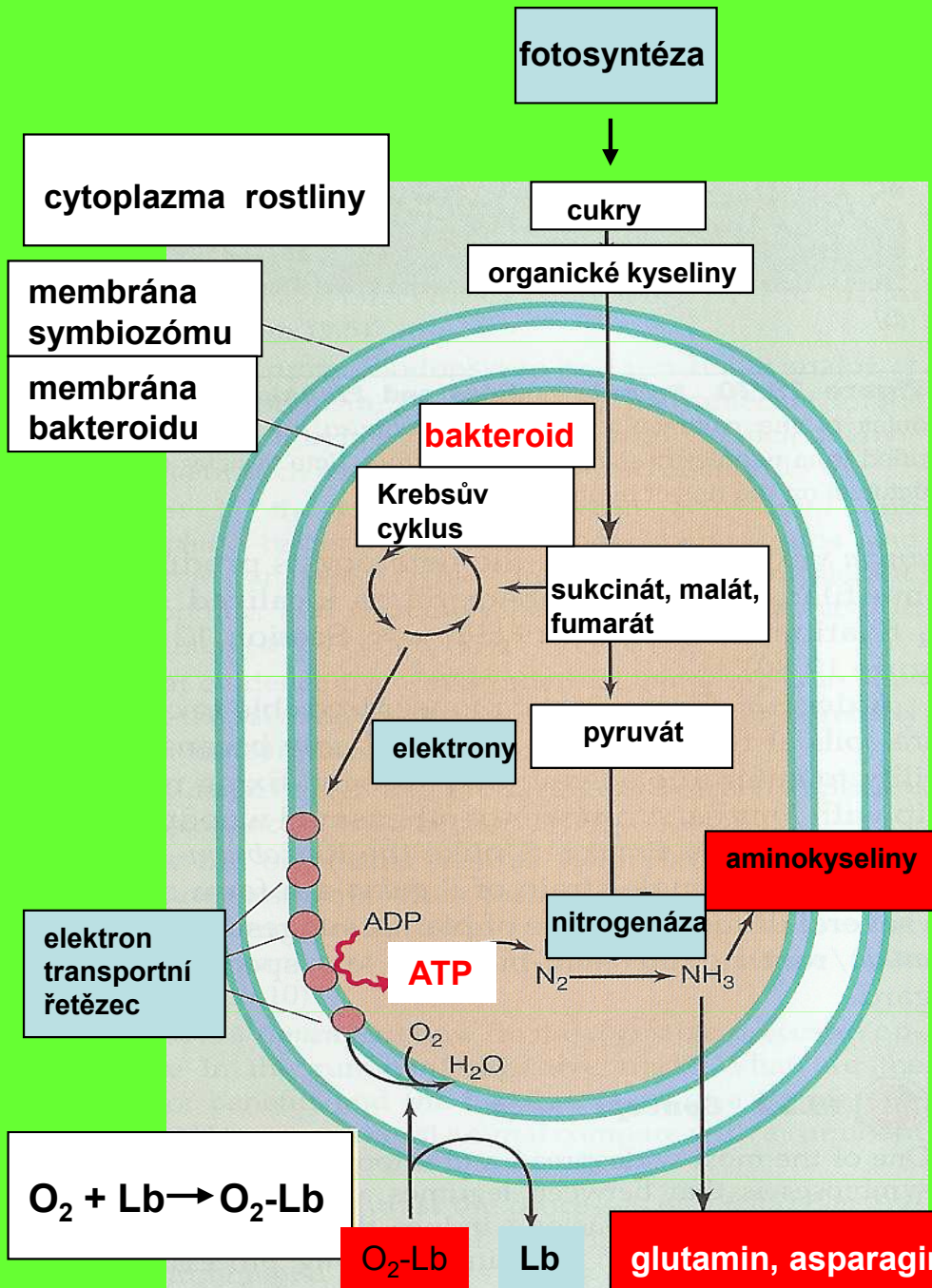


- * kořenové vlásky produkují induktory – flavonoidy (indukce bakterií)
- * připojení bakterií ke kořenovému vlásku (rostlina – lektiny, bakterie- rhicadhesiny)
- * bakteroidy jsou obdány peribacteroidní membránou (vytváří rostlina) a nastává diferenciacce bakteroidů do symbiozomů fixujících molekulový dusík
- * symbiozóm obsahuje N₂ fixující bakteroid, peribakteroidní prostor, peribakteroidní membránu

Tvorba hlízek u leguminóz



Fixace vzdušného dusíku- rhizoid



leghemoglobin (růžové zbarvení)

Lb - leghemoglobin

Tvorba hlízek u legumióz

- Buňky rhizóbií jsou lokalizovány pouze v tetraploidních buňkách
- Fixovat molekulový dusík mohou jen **rhizoidy**
- Rhizóbia “prodýchají“ asi 15% glycidů vytvořených rostlinou
- **Leghemoglobin** – informace o syntéze nesena rostlinou a indukována bakterií

Tvorba hlízek u nelegumióz

- Hostitel – *Betulaceae*, *Ericaceae*,
Myristicaceae, *Rhamnaceae*,
Rosaceae,
- Mikrosymbiont – bakterie, aktinomycety,
- Tropické rostliny čel. *Rubiaceae* a
Myrsinaceae vytvářejí hlízky na
povrchu listů (mikrosymbiont –
Klebsiella, *Chromobacterium*)

Tvorba hlízek u nelegumióz – pokr.

Frankia alni – také tvoří hlízky na kořenech stromů – v mírném a subpolárním pásmu

část hyfy se diferencuje do tzv. vesicles – fixace N_2

Frankia fixující vesicles – i bez rostliny

S rody: *Alnus*, *Myrica* (vavřín- nové koření),

Hippophae - [Rakytník rešetlákový](#) 10x víc C než v pomerančích



olše

Comptonia
Sweet fern



Symbióza se sinicemi *Nostoc* a *Anabaena*

Jaterníky



Mechy (*Bryophyta*)



Kapradiny (*pteridophytes*)



Mykorrhiza

- **Symbióza kořenů vyšších rostlin s půdními mikroskopickými houbami – mutualismus**
- Tvorba charakteristická u řady rostlin tropického, subtropického, mírného a arktického pásma
- Mikrosymbiont – houby většinou *Basidiomycetes* (popsáno asi 100 symbiotických druhů)
- Mykorhizy nejsou druhově specifické (jeden druh sosny může vytvářet mykorhýzu se 40 různými druhy hub)
- Některé dřeviny přestávají růst a usychají bez přítomnosti mykorhizy

Mykorhiza

Mykorhizní symbiózy vznikly v průběhu fylogeneze zúčastněných organismů; první mykorhizy byly nalezeny již u paleontologických nálezů z období devonu (Pirozynskia Malloch 1975).

Jsou známy u více než 90 % vyšších rostlin a pouze malé množství rostlinných druhů, patřících například do čeledí *Chenopodiaceae* (merlíkovité), *Brassicaceae* (brukvovité), *Juncaceae* (sítinovitě), *Cyperaceae* (šáchorovitě) a *Polygonaceae* (rdesnovité) tyto symbiózy většinou netvoří.

Ekologický význam mykorhizních symbióz

Je dán třemi vlastnostmi mycelia mykorhizních hub:

1. **Velký povrch** mycelia a současně schopnost zasahovat i do nepatrných půdních prostor, které jsou kořenovému systému rostlin přímo nedostupné.

2. Schopnost přímé **výměny látek** s hostitelskou rostlinou i s půdním prostředím.

3. Existence **vláknité stélky** (mycelia), umožňující přenos látek cytoplazmou na významné vzdálenosti.

• Z těchto tří vlastností vyplývá základní ekologická charakteristika mykorhizní symbiózy:

- mykorhizní houby účinně propojují kořenový systém hostitelské rostliny s prostředím.

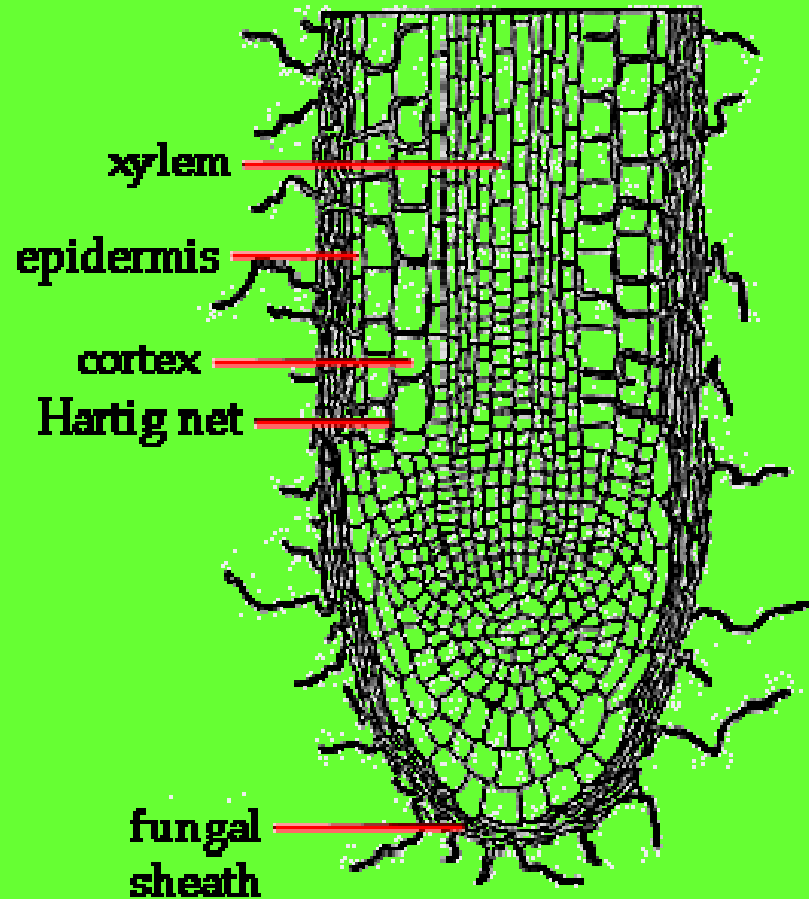
• Toto propojení lze chápat tak, že mykorhizní houba do značné míry zprostředkovává výměnu hmoty, energie a možná i informace mezi rostlinou a půdou.

Mykorrhiza

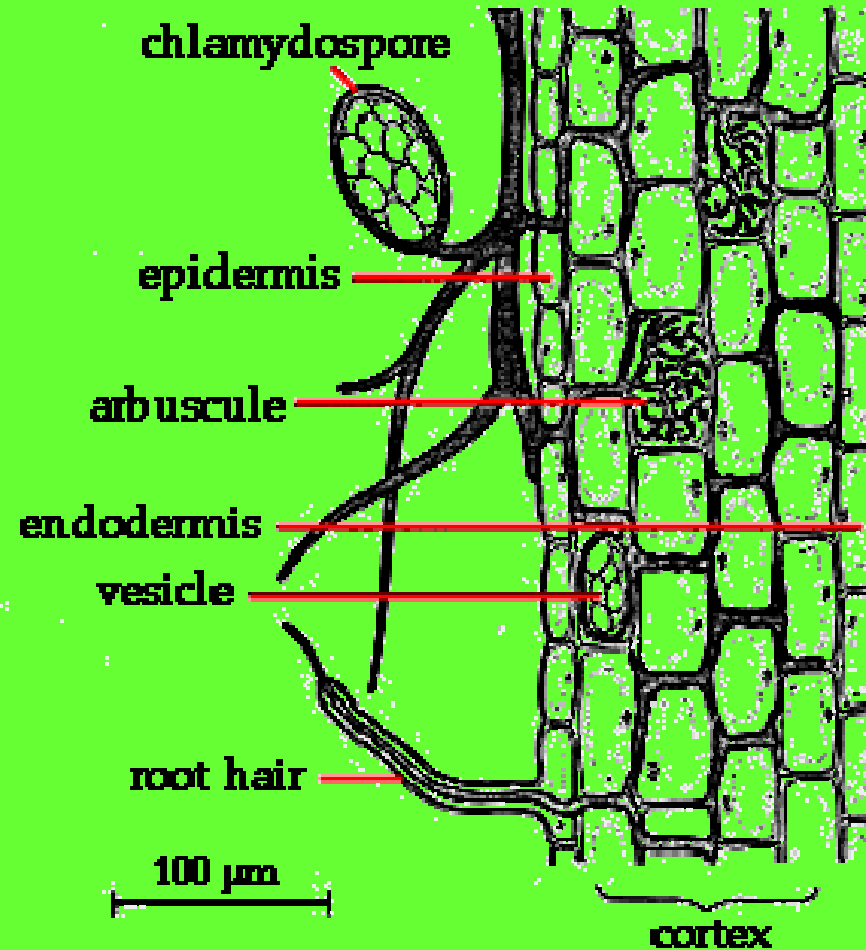
- existovala už **v devonu (AV)** – primitivní rostliny typu **magnólií** – obligátně dependentní na mykorrhize
- **participující houby nejsou schopny využívat komplexní polysacharidy** – symbióza jim umožňuje využívat jednoduché uhlovodíky (glukóza)
- **tvorba sítě mimokořenového mycelia** v půdě
rostlina profituje z přístupu k živinám díky větší zóně pro čerpání živin, včetně přístupu do oblasti s nízkou koncentrací živin, **houba hydrolyzuje velké molekuly obsahující dusík a fosfor, produkuje vitamíny**
- **rozvoj hub v kořenech hostitelských rostlin je omezen nejvýše na kořenovou primární kůru**, ve středním válci se mykorrhizní houby nikdy nerozrůstají

Srovnání endomycorrhizy a ectomycorrhizy

Ectomycorrhizae

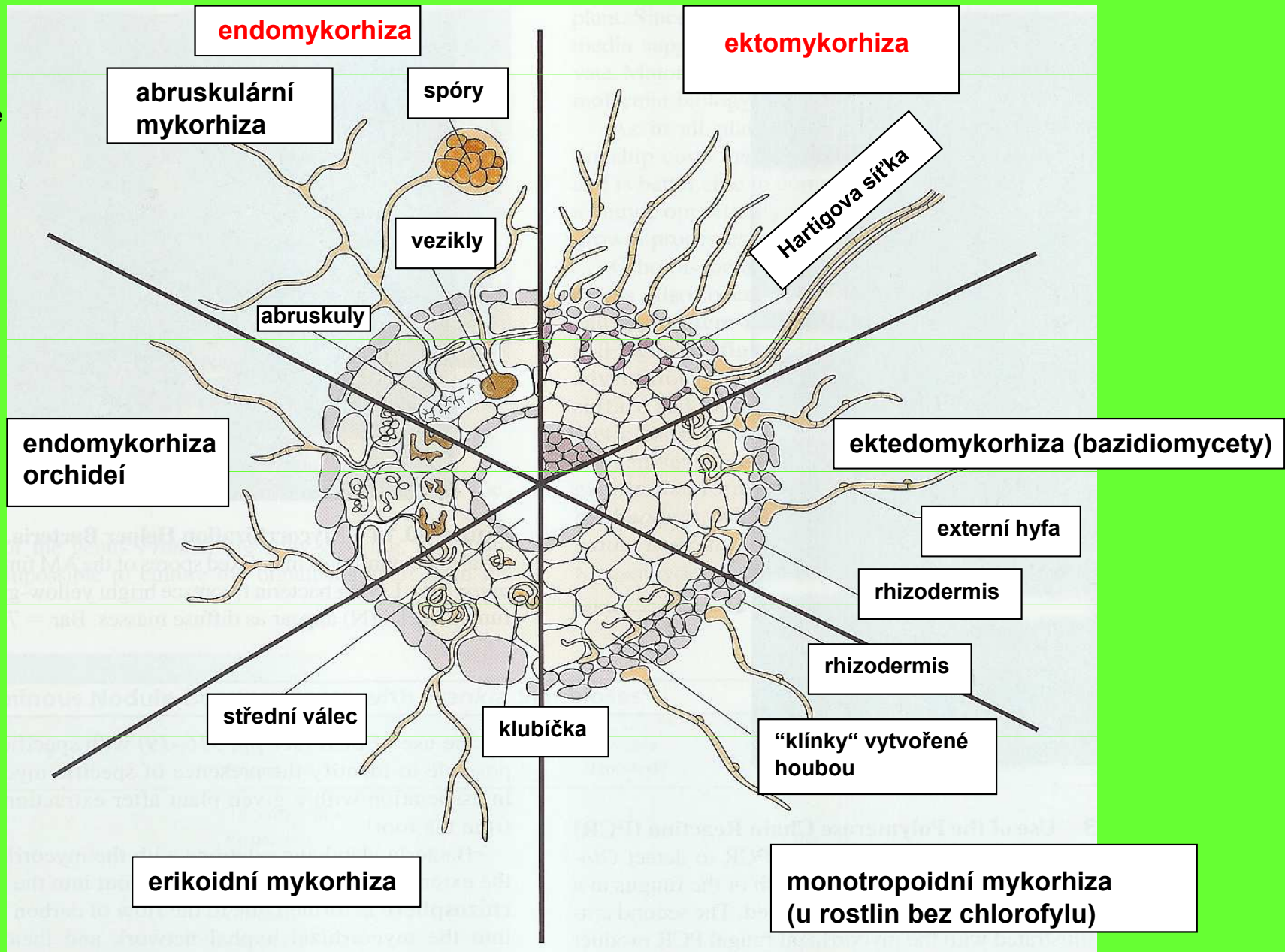


Endomycorrhizae



Mykorrhiza

abruskuly – funkce
vstřebávací,
vezikuly – funkce
zásobní



Ektomykorrhiza

- zevní pseudoparenchymatická pochva víc než $40\mu\text{m}$
- 40% suché hmoty kořenů
- hyfy v mezibuněčných prostorech epidermis a kortexu, ale nikdy v buňce!

plants

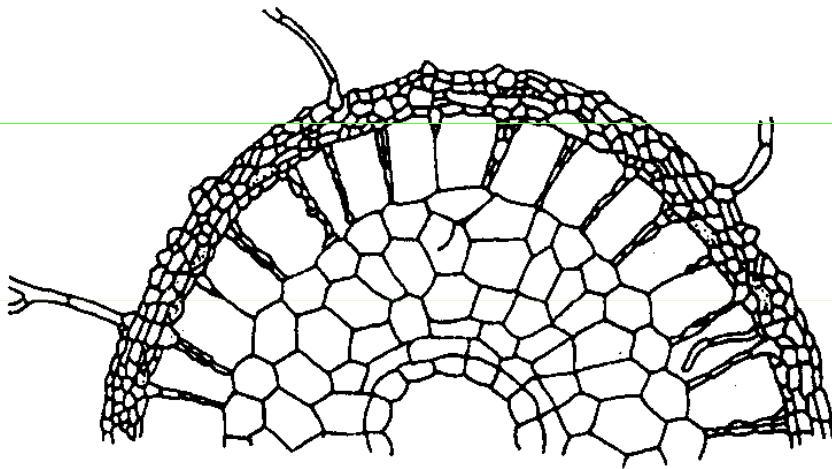
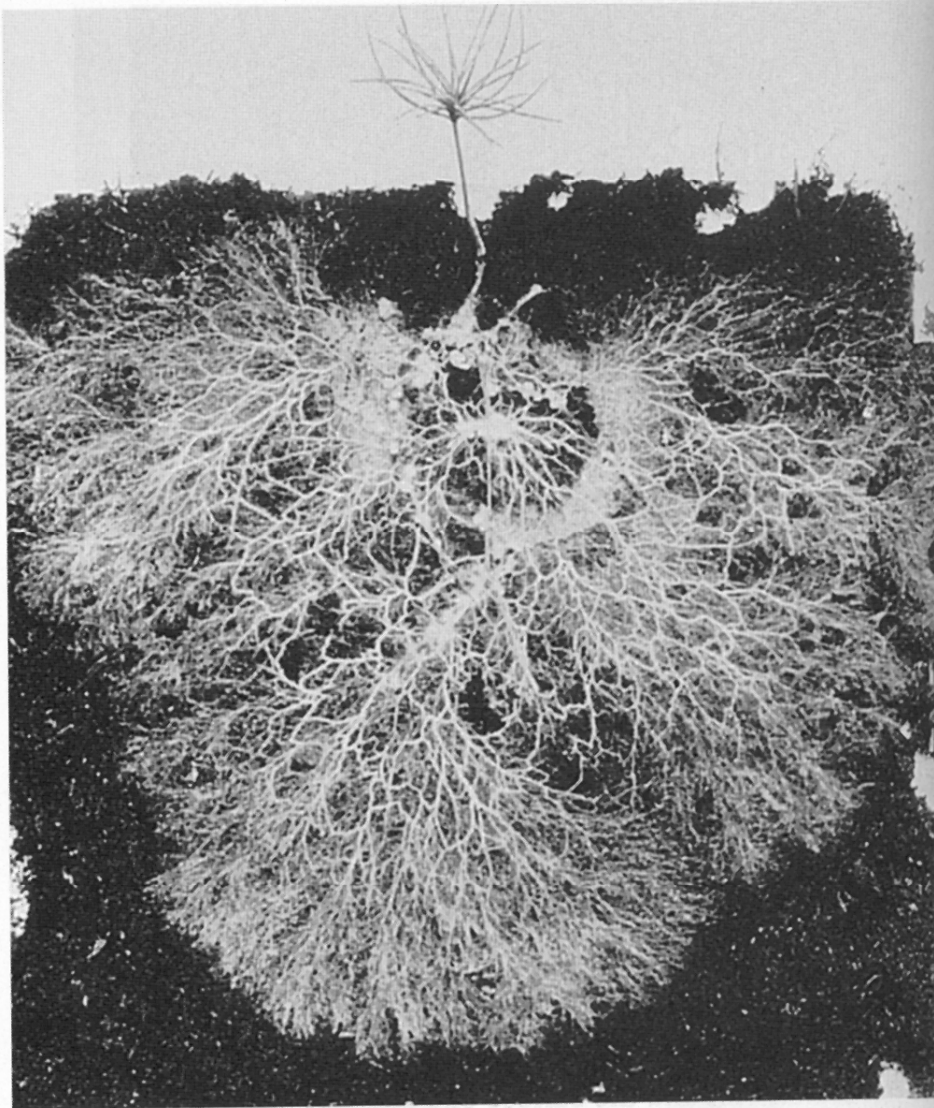


Figure 4.5

Cross section of ectotrophic mycorrhizal rootlet showing fungal sheath and intercellular penetration. (Source: Hartley 1965. Reprinted by permission, copyright University of California Press, Berkeley, California.)

Změněná morfologie kořenů

– kratší a dichotomické větvení

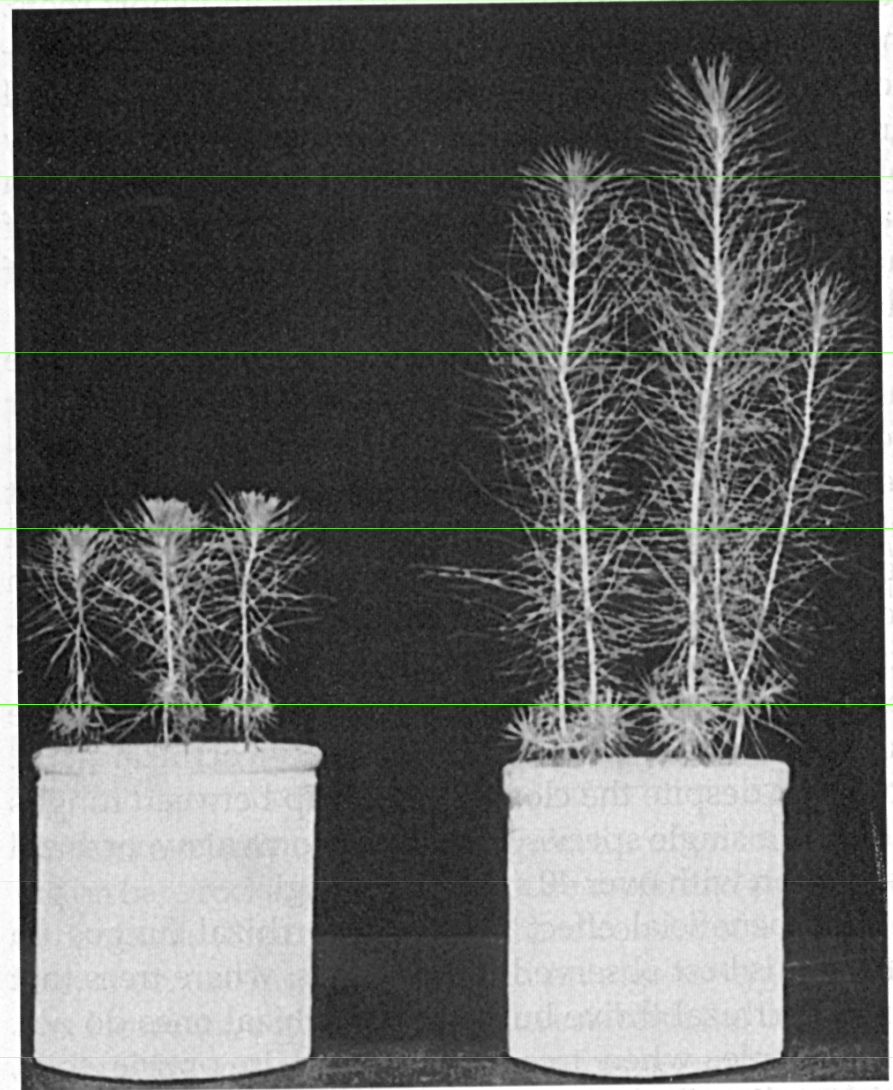


D. J. Read

(b)

from its environment more efficiently and thus has

The root system of a mycorrhizal tree and pine



S. A. Wilde

● **Figure 19.54** Effect of mycorrhizal fungi on plant growth. Six-month-old seedlings of Monterey pine (*Pinus radiata*) growing in prairie soil: left, nonmycorrhizal; right, mycorrhizal.



Endomykorrhiza

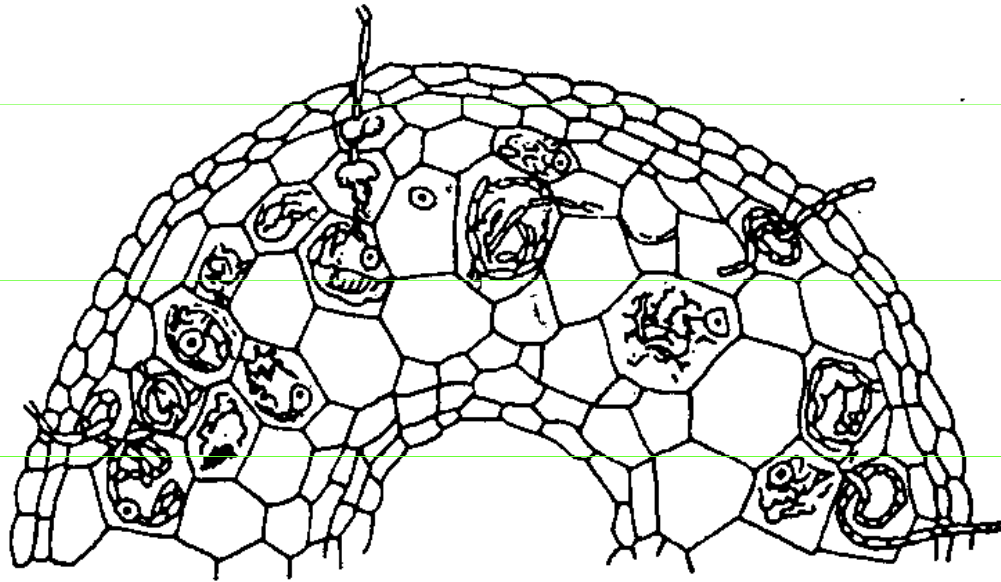


Figure 4.6

Cross section of endotrophic mycorrhizal rootlet showing intracellular penetration of hyphae. (Source: Hartley 1965. Reprinted by permission; copyright University of California Press, Berkeley, California.)

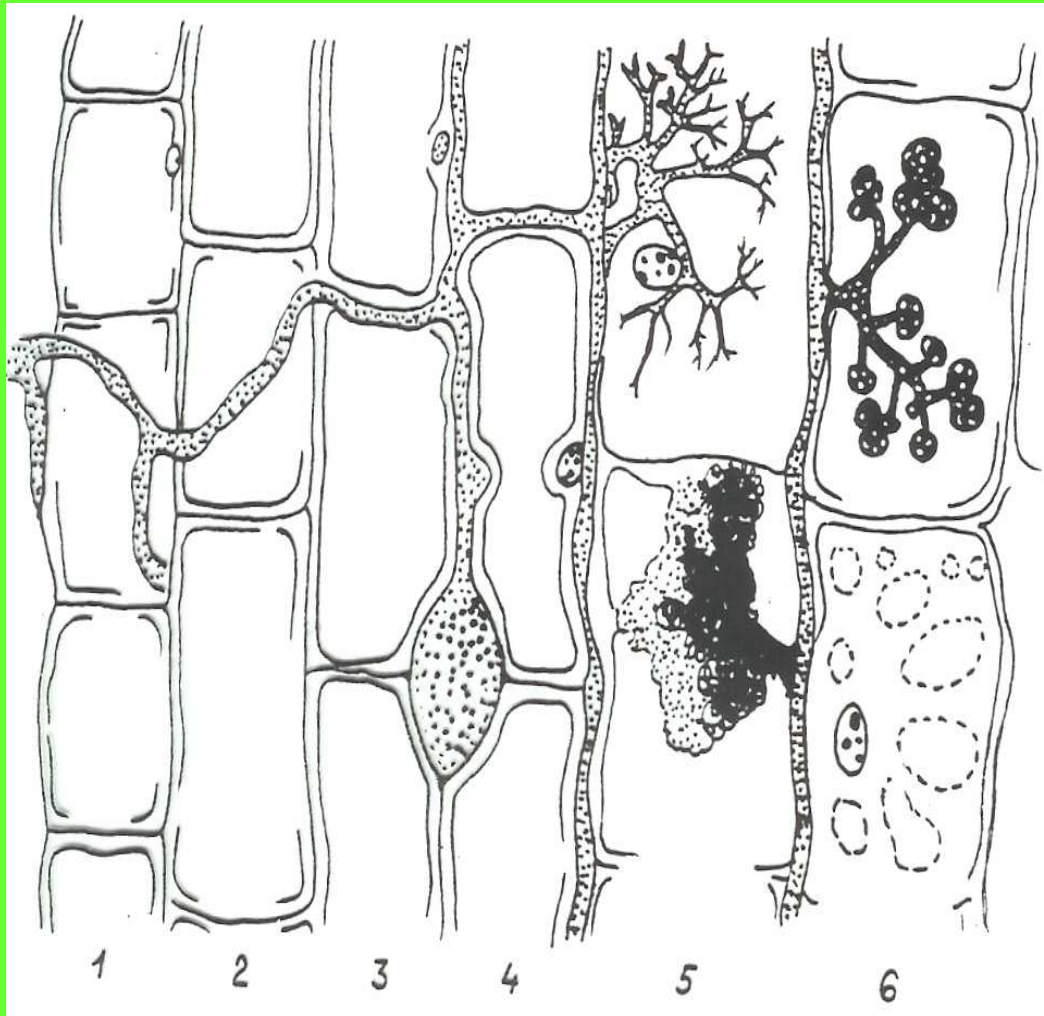
Hyfy vnikají do buněk

Unikátní postavení v symbióze
- buňky jsou vně i uvnitř
hostitele

Někdy se ji také říká
vesicular-arbuskulární
mykorrhiza

Nevytváří se pochva kolem
kořenů

Tvorba mykorrhizy u *Alium*



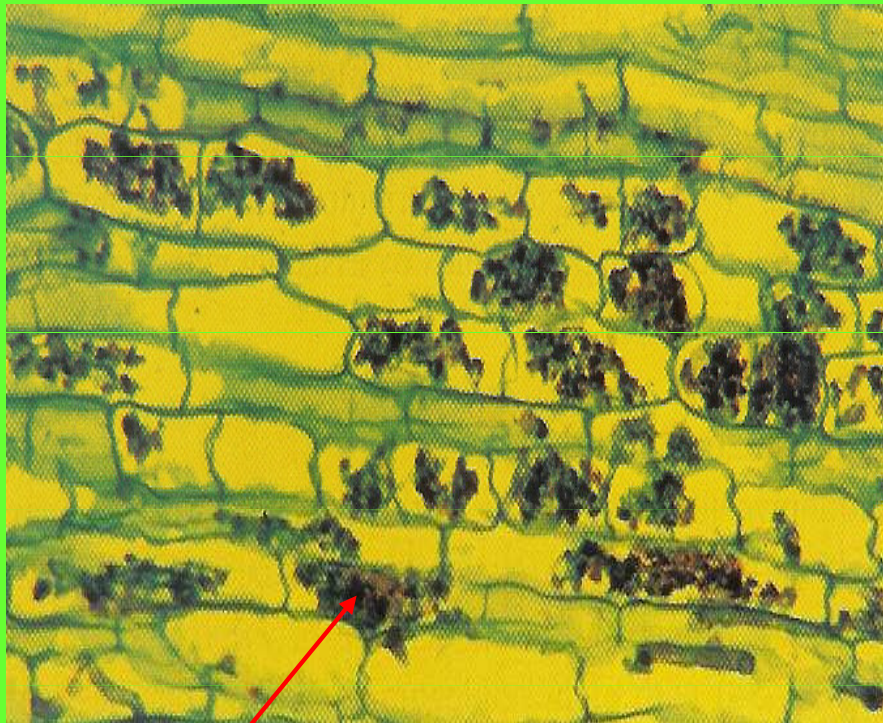
- 1., 2. – mycelium uloženo intracelulárně
- Mezi 3. a 4. se vytváří “zásobní” orgán
- 5. vytváření abruskul
- 6. “zpracování” abruskul buňkami rostliny

Vznikající arbuskul u zástupce rodu *Glomus*



Mykorrhiza

Endomykorrhiza



abruskuly

Ektomykorrhiza



Mykorrhiza na kořenech borovice

Rostlinné kořeny

poskytují výborné prostředí pro růst mikroorganismů, kterých je na kořenech a v jejich blízkosti velké množství a interakce mezi mikroby a kořeny uspokojuje nutriční požadavky obou partnerů.

Rhizosféra

- tenká vrstva půdy, která zůstane na kořenech po jejich otřepání
- velikost záleží na druhu rostliny (struktuře kořenů)
kořenové vlášení značně zvyšuje plochu kořenů v porovnání s kulovým kořenem
- jedna rostlina pšenice – přes 200 m kořenů
- průměrný průměr kořenů 0.1 mm
- povrch kořenů pak přes 6 m²
- jen 4-10% plochy kořenů (rhizoplanu) v přímém kontaktu s mikroby
- víc mikrobů je pak v celé rhizosféře

Rhizosféra - rhizoplan

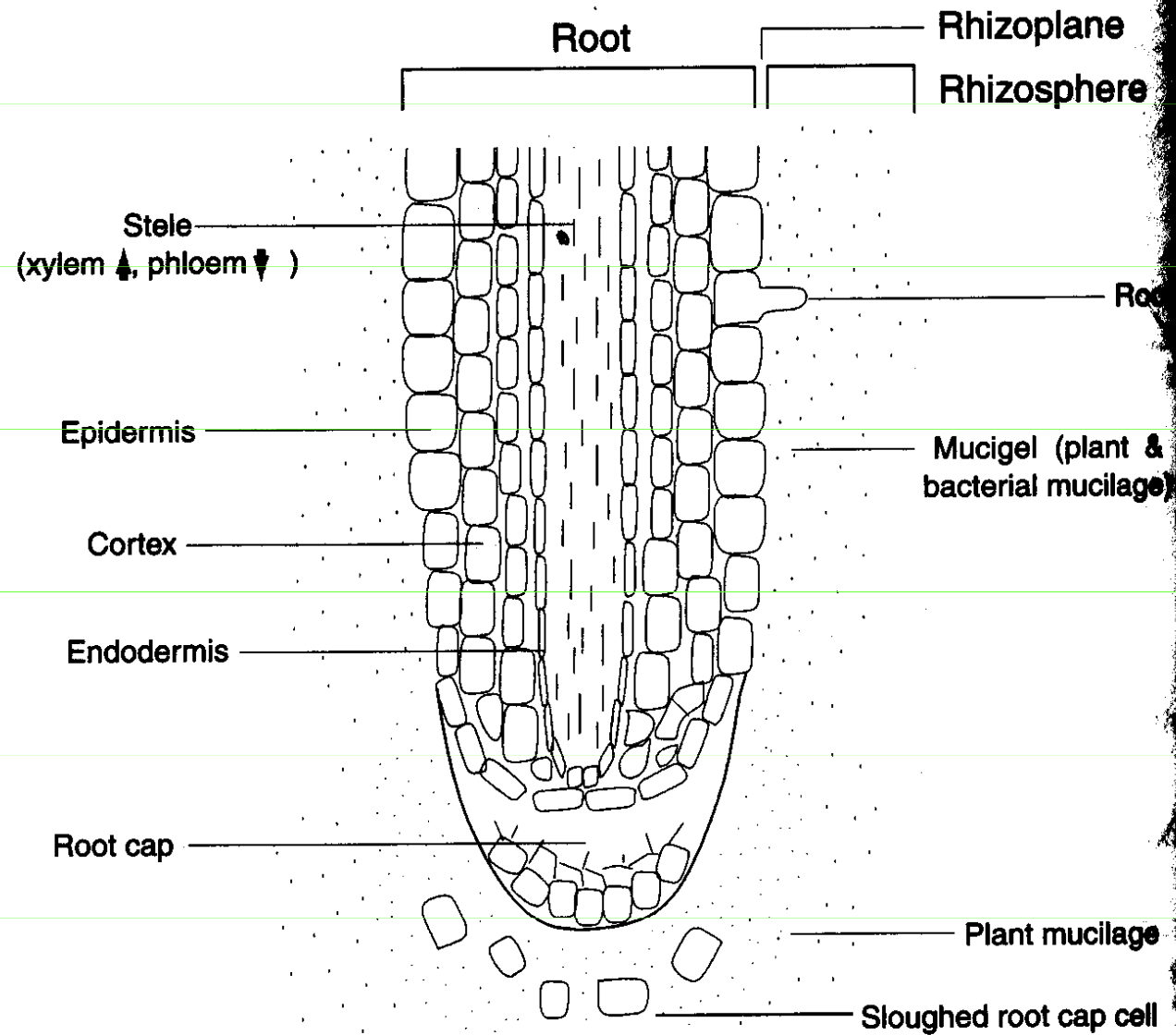
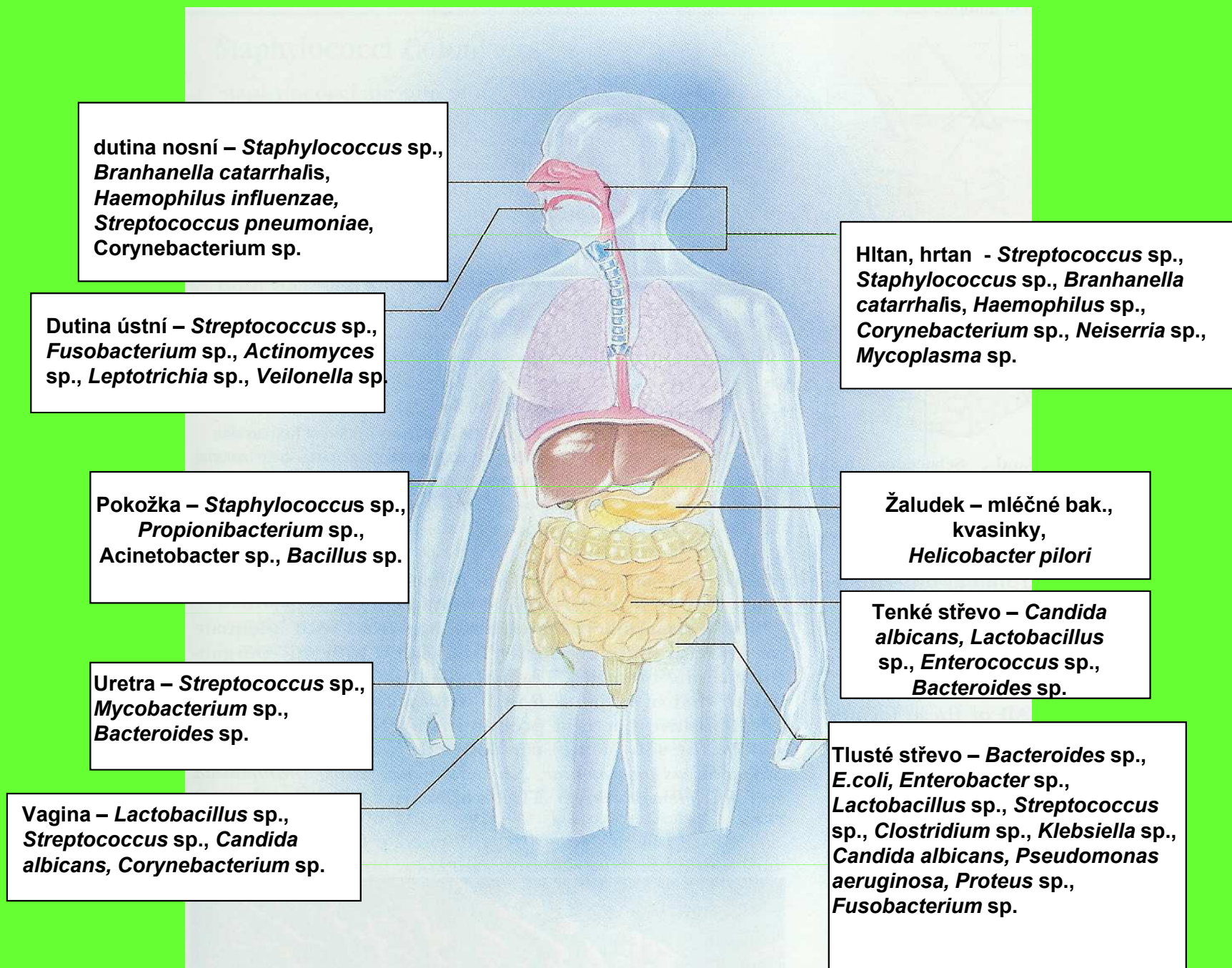


FIGURE 11-2
A root and corresponding rhizosphere and rhizoplane.

Symbióza mikroorganismů se živočichy

- Každý živočich má svoji “normální” mikroflóru
- Tato mikroflóra umožňuje živočichu efektivněji využívat zdroje živin
- Pro hostitele jsou nejefektivnější mikroorganismy gastrointestinálního traktu

Normální mikroflóra člověka



Symbióza mikroorganismů se živočichy - hmyz

- V intestinálním traktu **nejsou** mikrobionti přítomni pouze v případě, že hmyz má plnohodnotnou stravu
- Při nedostatečné výživě se rychle začíná rozvíjet mikroflóra
- Tedy – hlavní úlohou mikrobionta je zajistit dostatečné množství základních růstových látek
- **Vyjimka – moskyti mají mikrobionty ve střevě stále (hlavním zdrojem výživy je krev)**

Komensální a mutualističtí intestinální symbionti

- Většina teplokrevných živočichů má extrémně bohatou mikrofloru v jejich gastrointestinálním traktu.
- Ve spodní části zažívacího traktu každý gram výkalů obsahuje 10^{11} mikrobů patřících do 400 různých druhů.
- V lidském zažívacím traktu jsou nejčetnější striktní anaerobi rodů *Bacteroides*, *Fusobacterium*, *Bifidobacterium* a *Eubacterium*.
- U některých zvířat (prasata) intestinální mikroflora přispívá k výživě fermentací karbohydrátů.
- Existují určité důkazy, že u starších prasat mikroorganismy tráví celulózu a zvířata využívají produkty jejího rozkladu.
- Některé další mikrobiální aktivity v zažívacím traktu, jako například degradace aminokyselin, mohou mít škodlivý účinek na zvířata - kompetice.

Symbióza mikroorganismů se živočichy – rumen

- Velice těsné vztahy mezi mikroorganismy.
Většina z nich není izolována v čisté kultuře
- Bakterie – *Fibrobacter*, *Ruminococcus*,
Butyrivibrio, *Eubacterium*, *Ruminobacter*,
Selenomonas,.....
- Prvoci – *Epidinium*, *Metadinium*, *Isotricha*,
Ostracodinium,
- Houby – *Ruminomyces*, *Orpinomyces*,
Caecomyces, *Neocallimastix*,....

Komensální a mutualističtí intestinální symbionti – pokr.

Trávení v bachoru

Přežvýkavci jako jeleni, losi, antilopy, zebry, sobi, krávy, ovce a kozy

- potrava bohatá na celulózu
- savci, včetně přežvýkavců, neprodukují celulolytické enzymy
- spoléhají na mikrofloru bachoru
- v bachoru velká populace protozoí a bakterií kteří přispívají k trávení potravy
- bachor anaerobní, 30-40 °C, pH 5,5-7,0 – ideální pro tamní mikroflóru
- hustota mikroflory zde 10^9 - 10^{10} /ml

Fermentace v bachoru:

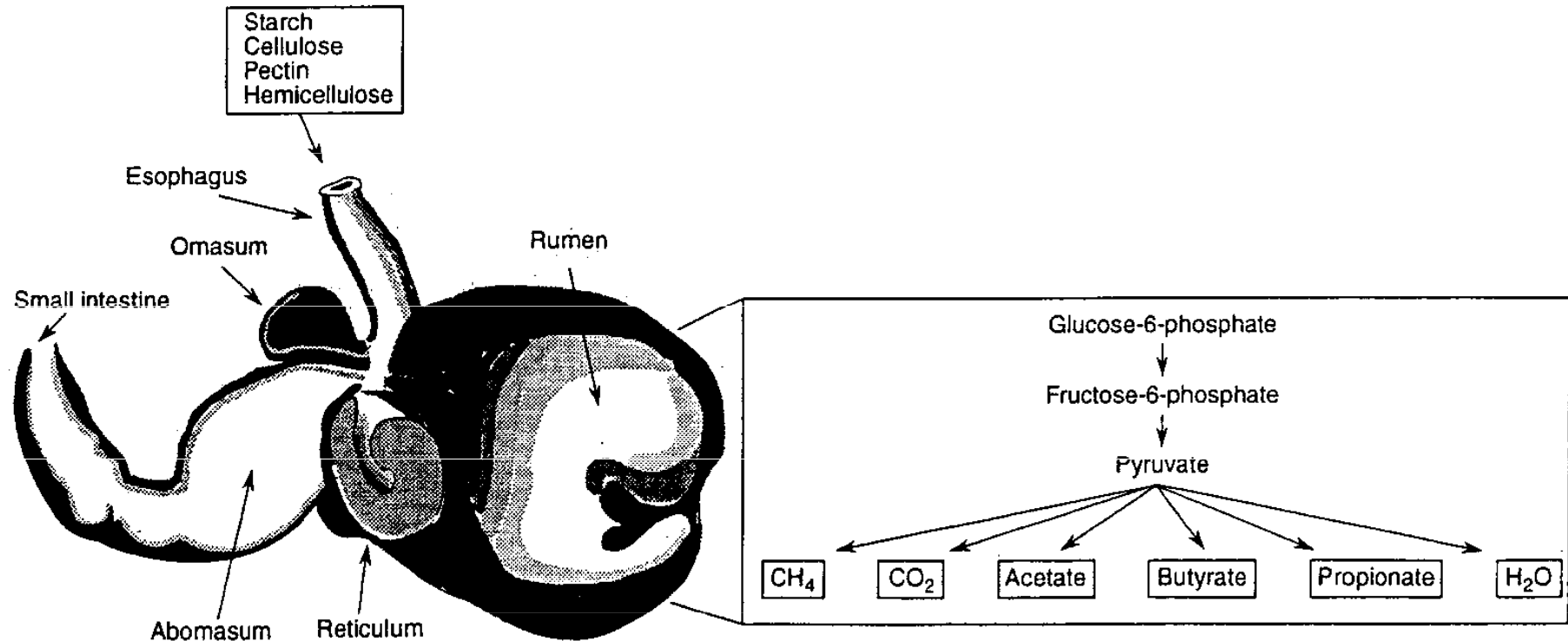
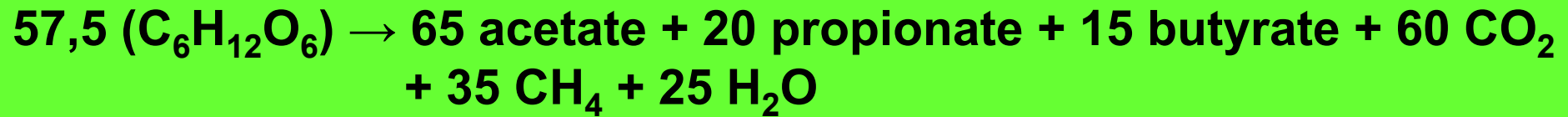


Figure 5.6

The rumen is a large anaerobic sac. Cows and other ruminant animals eat grasses and other plants containing cellulose, starch, pectin, and hemicellulose, which are transported to the rumen. Within the rumen, bacterial and archaeal populations convert these complex plant materials to low-molecular-weight fatty acids, carbon dioxide, and methane. The fatty acids, especially acetate, supply the nutritional needs of the animal. The carbon dioxide and methane are lost as waste products.

Fermentace v bachoru – pokr.

Organické kyseliny absorbovány do krve zvířat, kde jsou aerobně oxidovány k produkci energie

- Prežvýkavci také využijí proteiny produkované mikroflórou
- CO₂ a metan jsou uvolňovány bez užitku
- Anaerobní podmínky - jen malé procento kalorické hodnoty potravy není využito zvířetem.
- Dokonce i část „ztrátové“ energie je využito k udržování tělesné teploty zvířete.
- Prežvýkavci výborně využívají nízkokvalitní krmivo s vysokým obsahem celulózy, ale nejsou ekonomičtí ve využití kvalitního proteinového krmiva použitého v krmných dávkách.
- Cross-linking (zesítnění) proteinů ošetřením formaldehydem, dimethylolurea a jinými činidly blokujícími jejich degradaci mikroflórou bachoru zajistí jejich trávení a absorpci ve spodnějších částech gastrointestinálního traktu (a není ztracen produkcí metanu).

Mikroflóra bachoru zahrnuje bakterie trávící celulózu, hemicelulózu, škrob, cukry, mastné kyseliny, proteiny, lipidy.

Mnohé bakterie produkují acetát, který je hlavní kyselinou v bachoru.

Některé bakterie produkují propionát, jedinou fermentační kyselinu, kterou přežvýkavci umí přeměnit na karbohydráty.

Jsou zde i fixátoři dusíku (10 mg na hlavu a den) - přítomný amoniak potlačuje fixaci.

Amoniak může být využit mikroflórou bachoru a následně stráven zvířetem.

Teoreticky lze chovat přežvýkavce na celulóze a amoniaku, ten je ale toxický.

Někdy se do krmných směsek se přidává močovina – využita po zapracování do mikrobiální biomasy.

Mikroflóra bachoru – pokr.

Protozoa v bachoru:

Především nálevníci, ale i bičíkovci, jako *Eutodinium*, *Diplodinium* a *Sarcodina*.

- Nálevníci v bachoru jsou vysoce specializovaná skupina, rostou anaerobně, energií získávají fermentací rostlinného materiálu a tolerují přítomnost početné bakteriální populace.
- Některá protozoa schopná trávit celulózu a škrob, jiné fermentují rozpuštěné karbohydráty, někteří se živí bakteriemi
- Jejich proteiny jsou pak zase stráveny přežvýkavcem.
- Protozoa v bachoru skladují velké množství karbohydrátů, které přežvýkavci stráví spolu s proteiny protozoální biomasy. Toto se děje v knize a čepci.
- Transport uhlíku z bakterií do protozoí a následně do přežvýkavce je krátký účinný potravní řetězec.
- Protozoa asi tráveny lépe než bakterie, které mají rezistentní buněčnou stěnu a vysoký obsah nukleových kyselin.

Mikroflóra bachoru – pokr.

Houby - menšinová populace v bachoru

- anaerobní chytridie se podílí na depolymeraci celulózy.

Vztah mikrobů a přežvýkavce je mutualistický – některé bakterie lze najít jen v bachoru.

- Mikroorganismy tráví rostlinný materiál a produkují nízkomolekulární mastné kyseliny a mikrobiální proteiny přístupné zvířeti.

- Někteří mikrobi potřebují růstové faktory, jiní produkují vitamíny pro mikrofloru bachoru.

- Bachor poskytuje vhodné prostředí pro bakterie a stálý přísun substrátu pro mikroby.

- Přežvýkávání rozmělnuje rostlinný materiál, zvětšuje jeho povrch pro mikroby, mikrobům pomáhají i sliny zvířete.

- Pohyb bachoru promíchává substrát pro mikroby.

- Odstranění nízkomolekulárních mastných kyselin absorpcí do krevního oběhu zvířete zabrání jejich inhibiční působení na mikroby.

Diverzita mikroflóry – lehce se přizpůsobí změně potravy, ale ne prudké změně – přechod z čerstvého krmení na suchou stravu a naopak – nadměrná tvorba metanu – nadýmání bachoru, může stlačit plíce a i udusit zvíře (jediná léčba je propíchnutí bachoru).

Komensální a mutualističtí intestinální symbionti – pokračování

Jiná zvířata jako jeden druh „listových opic“ (colobid monkeys), lenochodi, hroši, velbloudi a někteří vačnatci mají bachoru podobné trávení – jejich mikroflora je schopná rozkládat celulózu a jiný rostlinný materiál a produkovat těkavé mastné kyseliny, které zvíře může využít.

U nepřezvýkavých savců, kteří se živí především rostlinným materiálem, jako koni, prasata a králíci, probíhá mikrobiální trávení celulózy ve zvětšeném slepém střevě (kůň – 50l) s produkcí těkavých mastných kyselin, které jsou absorbovány do krevního oběhu a nakonec oxidovány v buňkách živočicha za produkce vody a kysličníku uhličitého.

Velryby živící se planktonickými korýši, mají vícekomorové žaludky , kde probíhá fermentace a tvoří se mnoho mastných kyselin – zde se ale tráví hlavně chytin.

Kultivace mikroorganismů živočichy

Kultivace hub hmyzem mění morfologii kolonií hub

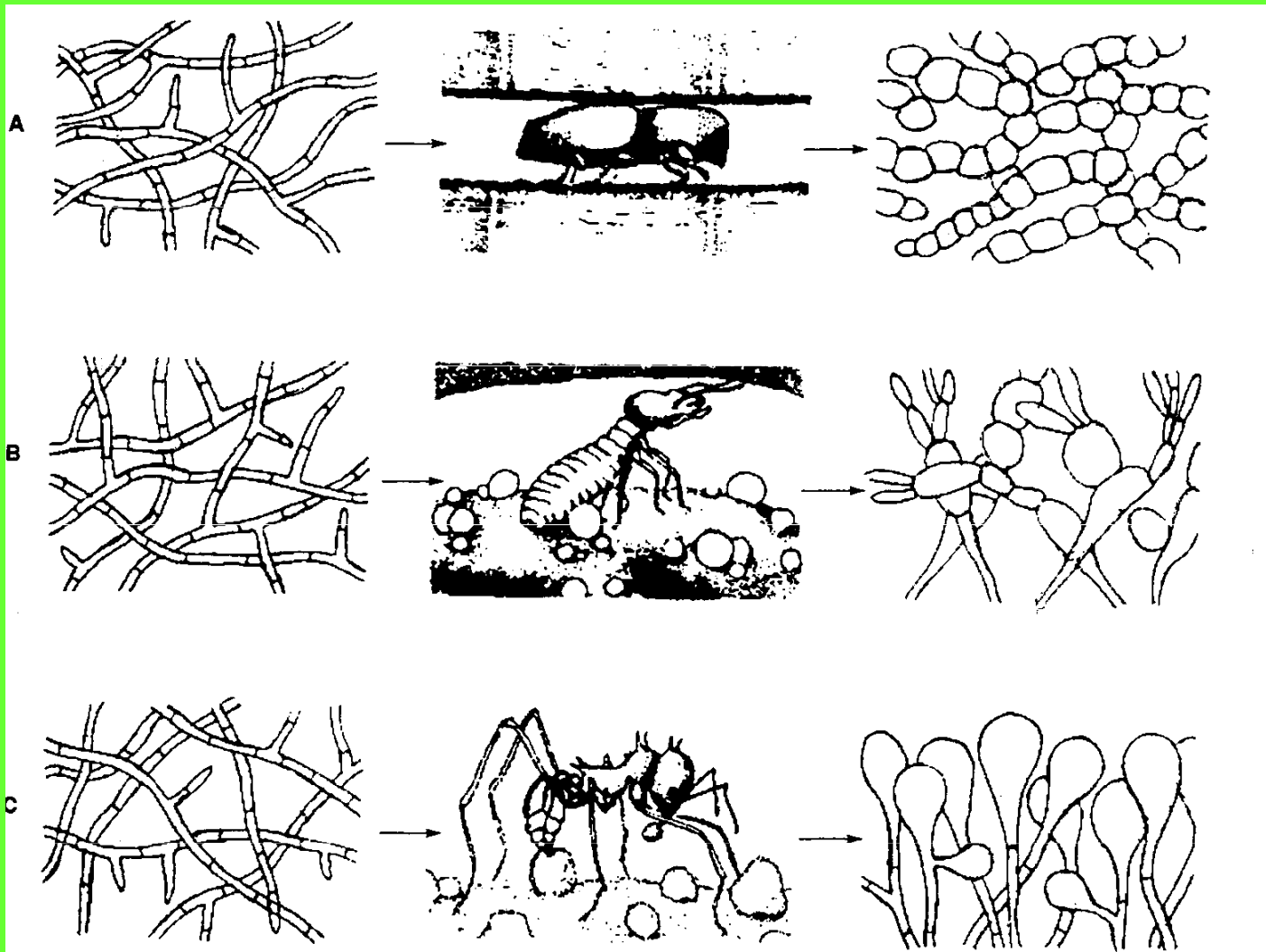


Figure 5.2

Appearance of uncultivated (left) and cultivated (right) fungal mycelia and the respective gardening insect (middle): (A) ambrosia beetle, (B) termite, and (C) attine ant *Atta*. (Source: S. L. Denno and B. A. Schowalter 1995, *The Fungus Gardens of Insects*. Copyright 1995 Scientific American. All rights reserved.)

Ambrosia beetle



Ve dřevě mrtvých stromů

termiti



Leaf-cutting ants
- listovní mravenci





„Leaf-cutting ants“ - listoví mravenci

- Thomas Belt (1874) popsal 50 milionů let starou symbiózu určitého druhu mravenců *Atta*, tzv. listových mravenců (leaf-cutting ants), s houbou z rodiny *Lepiotaceae* v centrální a jižní Americe
- Získání houby, vytvoření symbiotického vztahu se stalo v historii vícekrát, i když ale jde o velice řídký jev
- Některé současné kmeny pěstovaných hub byly rozmnožovány stejnými kmeny mravenců po více než 23 miliónů let
- Basidiomyceta kultivovaná mravenci *Atta* je deficitní v proteázách a těžko může bez mravenců soutěžit s jinými houbami
- List je v mraveništi macerován, promíchán se slinami a výkaly (oboje obsahuje proteázy) a inokulován houbovým mycéliem
- Houba roste a produkuje gongylidia – konzumace mravenci
- 1999 Currie et al popsali třetí mikroorganismus v této symbióze, aktinobakterii rodu *Streptomyces*
- nelistoví mravenci přinesou do hnízda části rostlin, na nich pak vyrostou houby a mravenci je spolu s rostlinným materiálem zkonzumují – získají tak i cellulázy, které sami neumí vytvořit a stráví tak více rostlinného materiálu

Listoví mravenci - pokračování

Když neoplodněná (panenská) královna opouští hnízdo na snubní let, bere s sebou kousek houby ve speciální malé dutině v ústech.

Po páření a vyhloubení nory se pečlivě stará o zahrádku i první potomstvo. Pokud houba zahyne, kolonie zhyne. Potom převezme péči o zahradu nová generace mravenců. Královna a plod zůstává v zahradě.

Mravenci ani houba sami nepřežijí.

Kolonie mohou být považovány za vysoce užitečné, nebo zcela destruktivní.

Některé rostliny si vyvinuly obranu proti mravencům, u jiných částečná defoliace podporuje jejich růst.

Chodby mravenců provzdušňují půdu, zlepšují její drenáž, mravenci zanáší do půdy organickou hmotu.

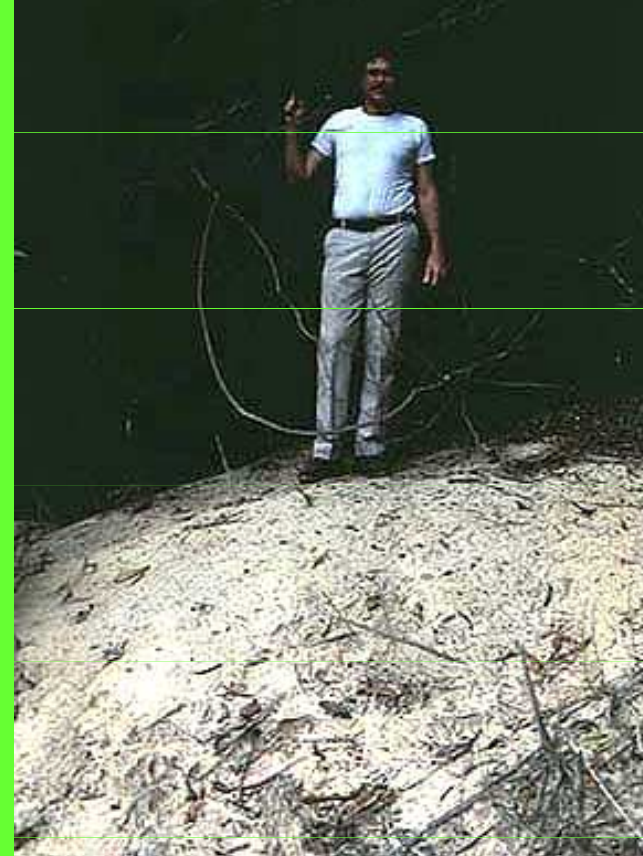
Dokáží ale také „sklidit“ zemědělské plodiny – nájezd je náhlý z velké vzdálenosti a pole sklizené přes noc (zem. plodiny nemají ochranu – chemikálie, tuhá kutikula)



Houbová zahrada s mravenci



Transport kousků listů



Hnízdo mravenců



Krmení larvy vojáka



Matka na houbové zahradě



Komenzalizmus

- Jedna populace má výhodu
- Druhá populace není ani pozitivně ani negativně ovlivňována
- V přirozených podmínkách se uplatňuje především v produkci stimulačních látek nebo degradaci toxických látek
- Ektokomenzál, endokomenzál

Komenzalizmus – pokr.

Obvykle nejde o obligátní vztah, hostitelská populace může být nahrazena jinou neovlivněná populace přizpůsobuje prostředí jiné populaci

- např. fakultativní anaerob spotřebuje kyslík a vytvoří prostředí pro obligátního anaeroba

- častá je produkce růstových faktorů (vitamíny, AK)

- např. *Flavobacterium brevis* vylučuje cystein, který využívá *Legionella pneumophila* ve vodním prostředí

- časté v půdním prostředí

- nebo přeměna nerozpustných substrátů v rozpustné a rozpustných v plynné sloučeniny – mohou se dostat do jiného prostředí

- např. metan produkovaný populacemi v sedimentech je využit metan-oxidujícími populacemi ve vodním sloupci nad nimi:

Desulfovibrio vytvoří acetát a vodík ze sulfátů a laktátu (anaerobní respirace a fermentace) ty jsou využity *Methanobacterium* pro redukci CO₂ na metan

- produkce kyselin jedním organismem uvolní (bez modifikace) substrát pro jiný organismus

- houby produkcí enzymů rozloží celulózu na glukózu a ta je pak využita jinými mikroorganismy

- někdy může jít o odstranění nebo neutralizaci toxické látky (odstranění sirovodíku, srážení těžkých kovů)

- někdy jeden organismus sám o sobě poskytuje vhodné prostředí pro druhý (bakterie na povrchu řas – zde někdy až synergismus – řasa neroste bez bakterie)

Kompetice (soutěžení)

- Soutěžení o zdroj živin
- Mezigruhová kompetice
- Intragruhová kompetice (samoředění, teritorialita)
- Kompetiční výhoda
 - růstová rychlost
 - zdroj živin
 - požadavek na růstové faktory
 - tolerance k abiotickým a biotickým faktorům
- V optimálním společenstvu vede tento vztah k přirozené selekci

Amenzalizmus

- Produkce metabolitů - toxinů, které brzdí nebo eliminují množení a růst ostatních populací. Producent získává ekologickou výhodu nepřímo, s cílem využívání živin.

Amenzalizmus

- Produkce toxinů je zodpovědná za
 - ☺ eliminaci některých patogenů
 - ☺ kontrolu půdních fytopatogenních hub
 - ☺ eliminaci cizorodých mikroorganismů
(např. z odpadních do čistých vod, ..)
 - ☺ destrukci introdukovaných cizorodých mikroorganismů (do rumenu,..)
 - ☺
 - ☺

Amenzalizmus - toxiny

- anorganické inhibitory
 - † produkce H_2SO_4 – sírné bakterie
Thiobacillus, (pH až 1)
 - † produkce HNO_2 – nitritační bakterie
(Nitrosomonas, Nitrosococcus, ...)
 - † produkce HNO_3 – nitratační bakterie
(Nitrobacter, ...)
 - † produkce NH_3 - , H_2S - , H_2O_2 - , CO_2 -,....

Amenzalizmus – toxiny

- organické látky s malou ekologickou účinností
- ‡ organické kyseliny s malým počtem uhlíků (mravenčí, octová, propionová, máselná – vytvářejí kyselé prostředí a prostředí s nízkou hodnotou Eh)
- ‡ alkoholy – efekt se zvyšuje se stoupajícím počtem uhlíků

Amenzalismus – toxiny

- organické látky s velkou ekologickou účinností
 - ‡ antibiotika – jsou produkty sekundárního metabolismu bakterií (především aktinomycet), mikromycet, hub,
 - ‡ antibiotika jsou látky produkované živými organizmy, které v malých dávkách potlačují životní procesy jiných organizmů

Amenzalizmus – toxiny

- Antibiotika

‡ jeden typ antibiotika může být produkován různými organizmy (např. penicilin – *Penicilium*, *Aspergillus*, *Streptomyces*, *Trichophyton*, *Arcremonium*,

‡ jeden organizmus může produkovat několik antibiotik (*Streptomyces hygrosopicus* – 58 *S. griseus* – 48, *Bacillus subtilis* – 42)

Amenzalizmus - příklady:

- produkce kyseliny mléčné nebo nízkomolekulárních mastných kyselin
- *E. coli* neporoste v bachoru pravděpodobně díky přítomnosti těkavých mastných kyselin produkovaných anaerobními heterotrofními populacemi
- Mastné kyseliny produkované mikroorganismy na povrchu kůže zabrání kolonizaci kůže jinými mikroorganismy (drží na uzdě populaci kvasinek)
- Kyseliny produkované mikroorganismy ve vagíně brání rozvoji patogenů (*Candida albicans*)
- Kyseliny produkované *Thiobacillus thiooxidans* zabrání růstu jiných bakterií ve vodách z dolů (acid mine drainage)
- Podobně produkce kyslíku, amoniaku
- Produkce ethanolu kvasinkami – nic jiného tam nemůže růst (víno) kromě acetobacterů za přítomnosti kyslíku; produkované kyseliny by zase zabránily růstu jiných mikroorganismů (konzervace sýrů, siláž)
- **Produkce antibiotik** – jejich role v přirozené prostředí stále nejasná
 - Podmínky, které podporují tvorbu antibiotik, nejsou časté v přirozeném prostředí (potřebují přebytek substrátu)
 - Ve vodním prostředí rychle vyředěna
 - V půdním prostředí sorbována na jílové minerály
 - Ale mohou mít význam v „mikroprostředích“, kde je zvýšená koncentrace živin (zymogenní mikroorganismy rostoucí na kousku organické hmoty v půdě)
- bakteriociny podobné antibiotikům ,ale účinné jen na velmi příbuzné druhy
 - destabilizují membránu (její funkce) – pak samozřejmě vítězí na těmito příbuznými...

Parazitizmus

- V tomto vztahu jeden organizmus žije na úkor druhého. Existence parazita je závislá na organizmu hostitele, který je při tomto vztahu poškozován (v některých případech může dojít po určité době i k eliminaci hostitele). Parazitismus je vztah dlouhodobý.

Parazitizmus

- Parazit je více či méně závislý na svém hostiteli
- Fakultativní parazitizmus – vazba je volná, druhy mohou žít nezávisle na sobě
- Obligatorní parazitizmus – vztah parazita na hostitele je závazný (nemůže bez hostitele existovat)
- Ektoparazit, endoparazit
- Spektrum rozmezí hostitele
- Hyperparazitizmus (*Puccinia graminis* - *Xanthomonas* - fág)

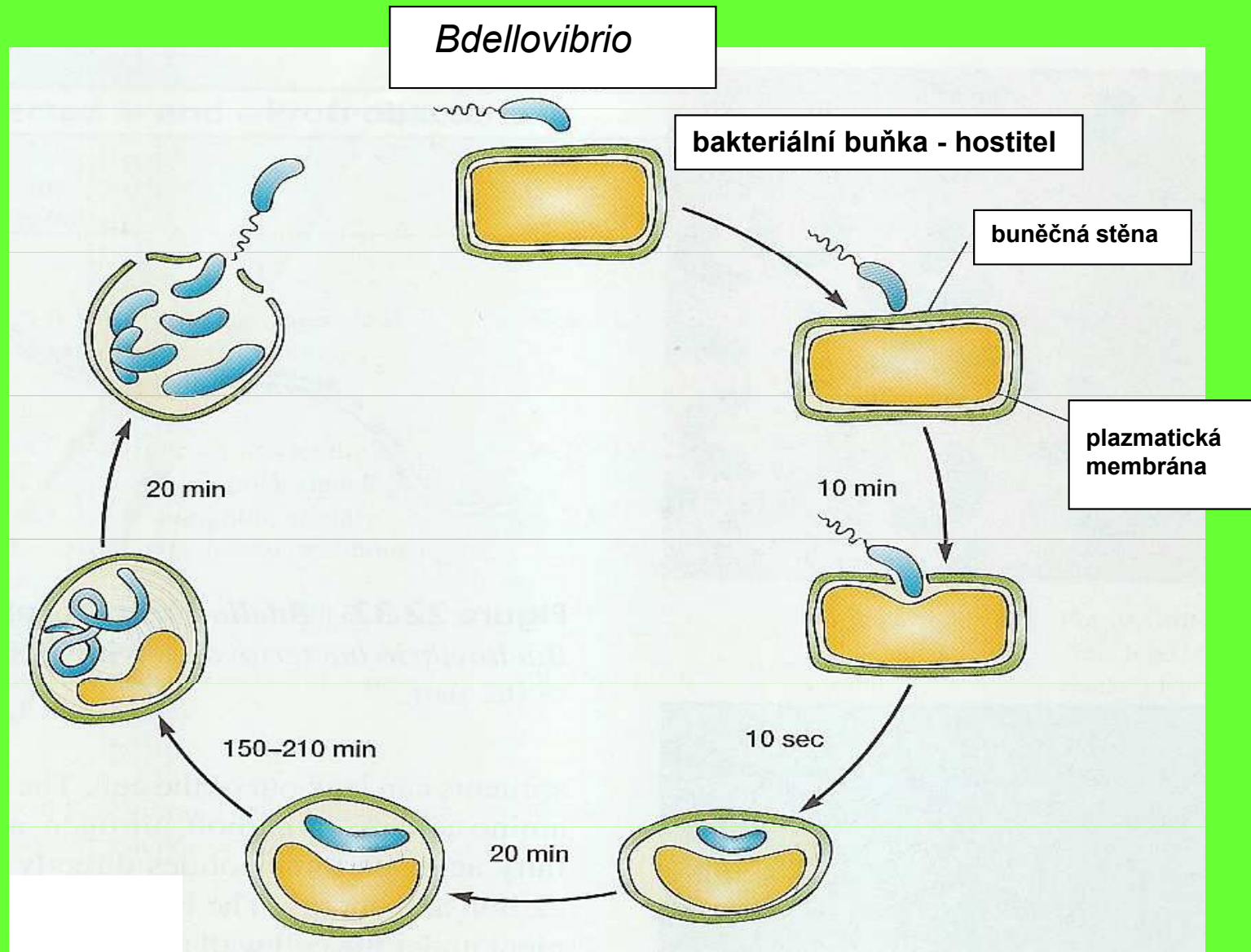
Parazitizmus

- Spektrum rozmezí hostitele – parazit vyhledává jen určité organizmy nebo příbuzné skupiny organizmů
- **Úzké spektrum rozmezí hostitele** – parazit vyžaduje obvykle organizmy jednoho druhu (selektivita i při “výběru“ vhodných tkání (*Neisseria meningitidis* – pouze míšní mok nebo blány mozku, *Corynebacterium diphtheriae* (záškrt)– mukózní membrány respiračního traktu atd.)
- **Široké spektrum rozmezí hostitele** – velký počet i nepříbuzných hostitelů

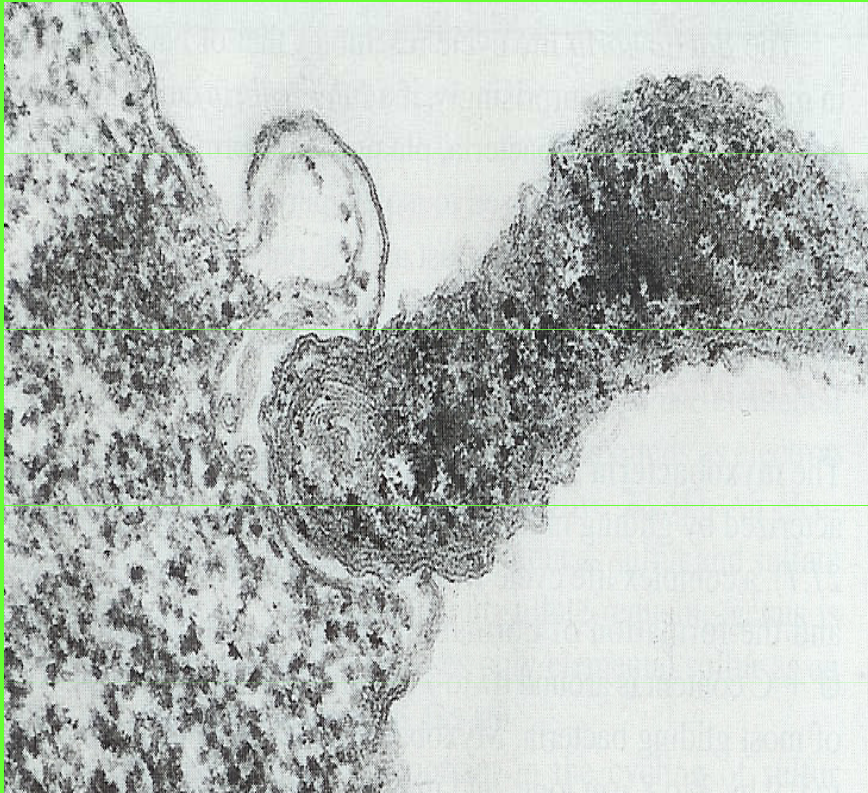
Parazitizmus

- **Ektoparazit** – je lokalizován na vnějším povrchu hostitele (*Bdellovibrio* – připojuje se na vnější část buněčné stěny G⁻ i G⁺ bakterií, protozoa – usídlená na žábrech nebo kůži živočichů, ...)

Životní cyklus *Bdellovibrio*



Životní cyklus *Bdellovibrio*



Penetrace *Bdellovibrio bacteriovorus* přes buněčnou stěnu *E.coli*

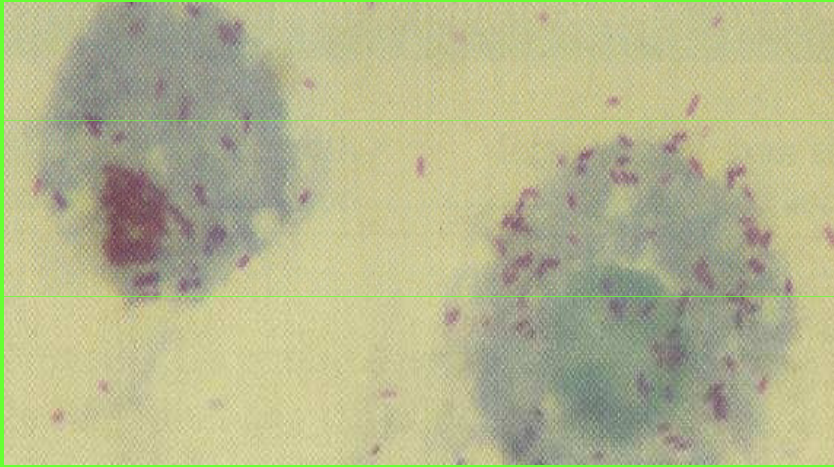


Enkapsulace *Bdellovibrio* mezi buněčnou stěnou a cytoplazmatickou membránou

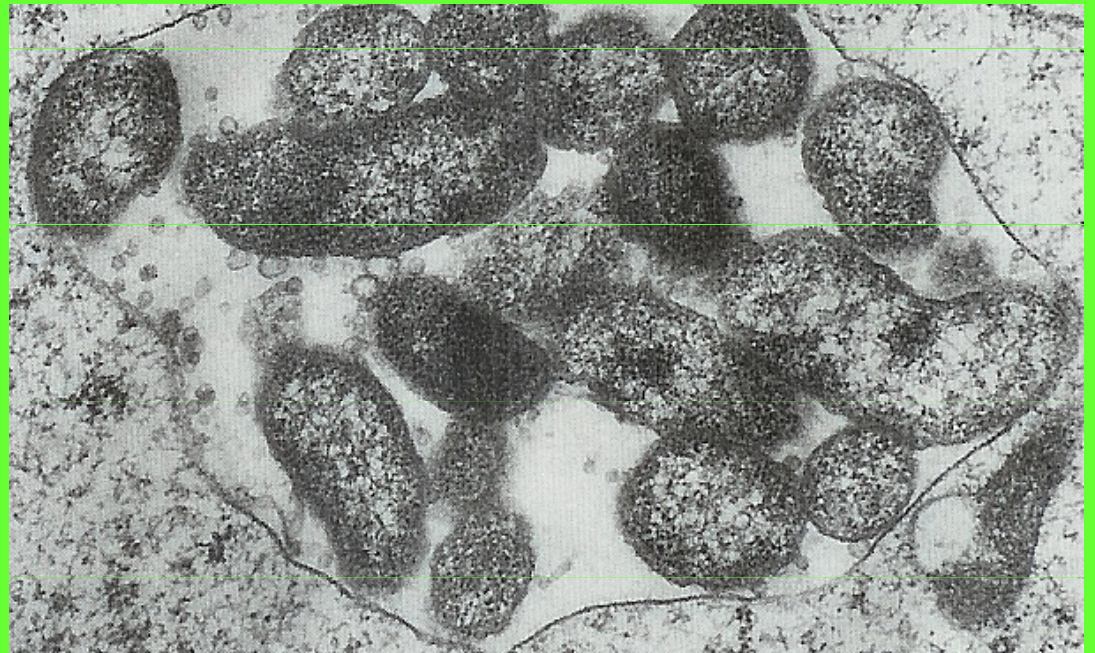
Parazitizmus

- **Endoparazit** – žije uvnitř organismu hostitele (mikroorganizmy usídlené v řasách a houbách, heterotrofové v gastrointestinálním traktu,...)

Parazitizmus - intracelulární



Rickettsia rickettsii ve
vaginálních buňkách hraboše



Rickettsia popilliae ve vakuole
buněk chrousta

Parazitizmus

- Hyperparazitizmus – vztah, v němž parazit je napaden jiným (“svým”) parazitem

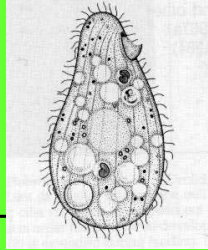
| Hyperparazit | Hostitel pro hyperparazita | Hostitel primárního parazita |
|---|---|---|
| bakteriofág <i>Xanthomonas</i> <i>Darluca filum</i> bakteriofágy | <i>Xanthomonas</i> <i>Puccinia graminis</i> <i>Puccinia graminis</i> <i>Ciliates</i> | <i>Puccinia graminis</i> pšenice trávy kůň |

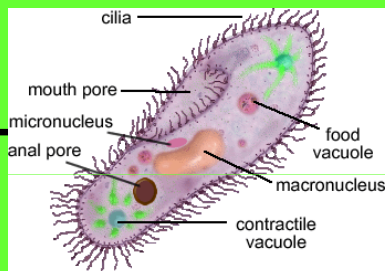
Predace

- Jeden organizmus usmrcuje a stravuje druhý organizmus
- V mikrobiální ekologii je **predace** definována jako způsob získávání jak živin, tak i růstových látek
- Úzká specifita “ke kořisti“
- Široká specifita “ke kořisti“

Predace

- Příklady spotřeby některých predátorů

| Predátor | Kořist | Počet spotřebovaných buněk |
|---|---|---|
| <i>Amoeba</i> <i>Leucophryx</i> <i>Paramecium</i> |  <i>Tetrahymena</i> <i>Glaucoma</i> <i>B.subtilis</i> | 24-48/h 50/buněčné dělení 18 000/buněčné dělení |



Predace

- Rezistence “mikrobiální kořisti“ k predaci
 - ☺ přítomnost pouzder – *Bacillus anthracis*,
Streptococcus pneumoniae, *Yersinia pestis*,
 - ☺ produkce makrokapsul tvořených polysacharidy – *Rhizobium*, *Azotobacter*,
Klebsiella,
 - ☺ produkce specifických látek zabraňujících destrukci a následnému konzumování bakteriální buňky (*Serratia marcescens*,
Pseudomonas fluorescens,...)

Snaha o změnu původního společenstva

- Aplikace čisté kultury azotobaktera
- Použití čistých kmenů rhizobií k infekci rostlin
- Postřik půdy *Bacillus megaterium* – přeměna organicky vázaného P na anorganický
- Aplikace mikroorganismů na rostliny – zamezení rozvoje rostlinných patogénů
- Přidání laktobacilů do mléka – změna intestinální mikroflóry
- Aplikace bakterií do úst – potlačení bakterií produkujících kyselinu mléčnou

Vztah mikroorganismů k neživému prostředí

Biogeochemické procesy

- Mineralizace – přeměna organicky vázaného prvku na jeho anorganickou formu
- Imobilizace – přeměna anorganických živných prvků na organické komplexy
- Oxidace – vyvolávané mikroorganismy jsou obvykle spojené s jejich metabolismem
- Redukce – spojení s metabolismem. Mikroorganismy je využívají jako terminální akceptory protonů a elektronů
- Fixace – volatizace- transformace podílející se na změně v množství prvků v systému (např. denitrifikace na N_2 nebo oxidy dusíku, ... a obráceně – fixace molekulového dusíku, oxidace H_2S , ...)

- biogeochemické cykly
- likvidace odpadů a toxických látek

Schéma biogeochemického cyklu

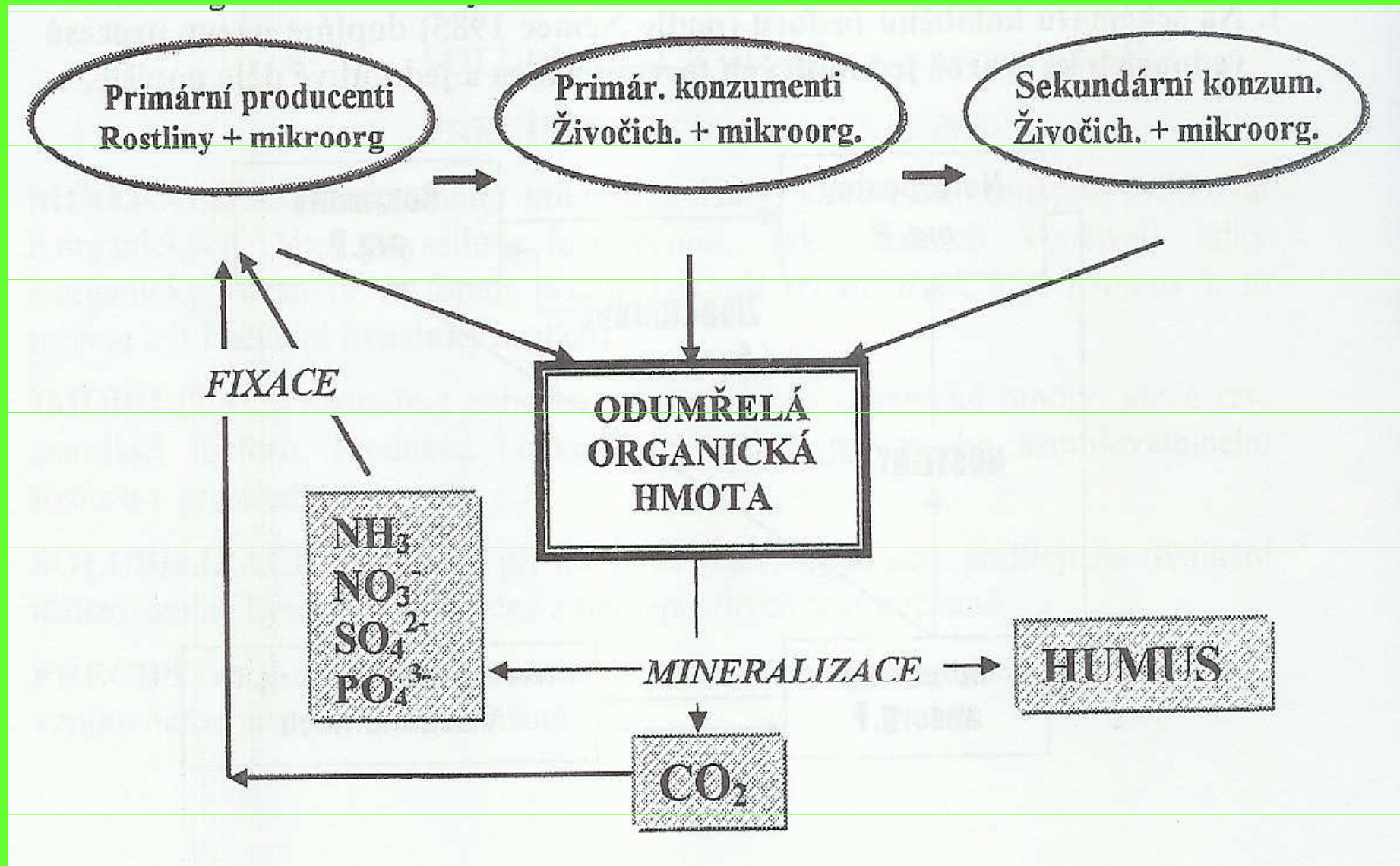


Schéma koloběhu uhlíku

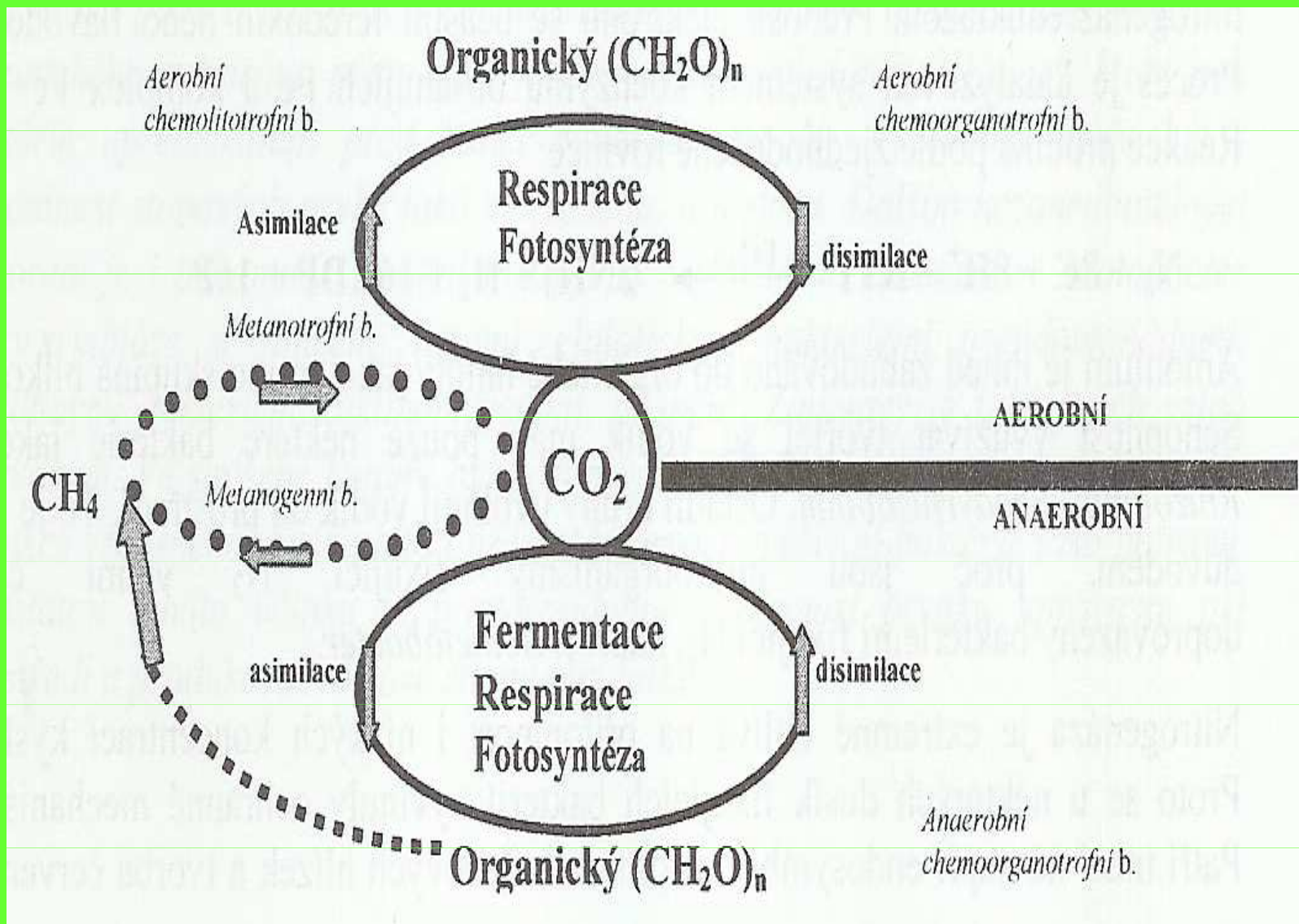


Schéma koloběhu uhlíku

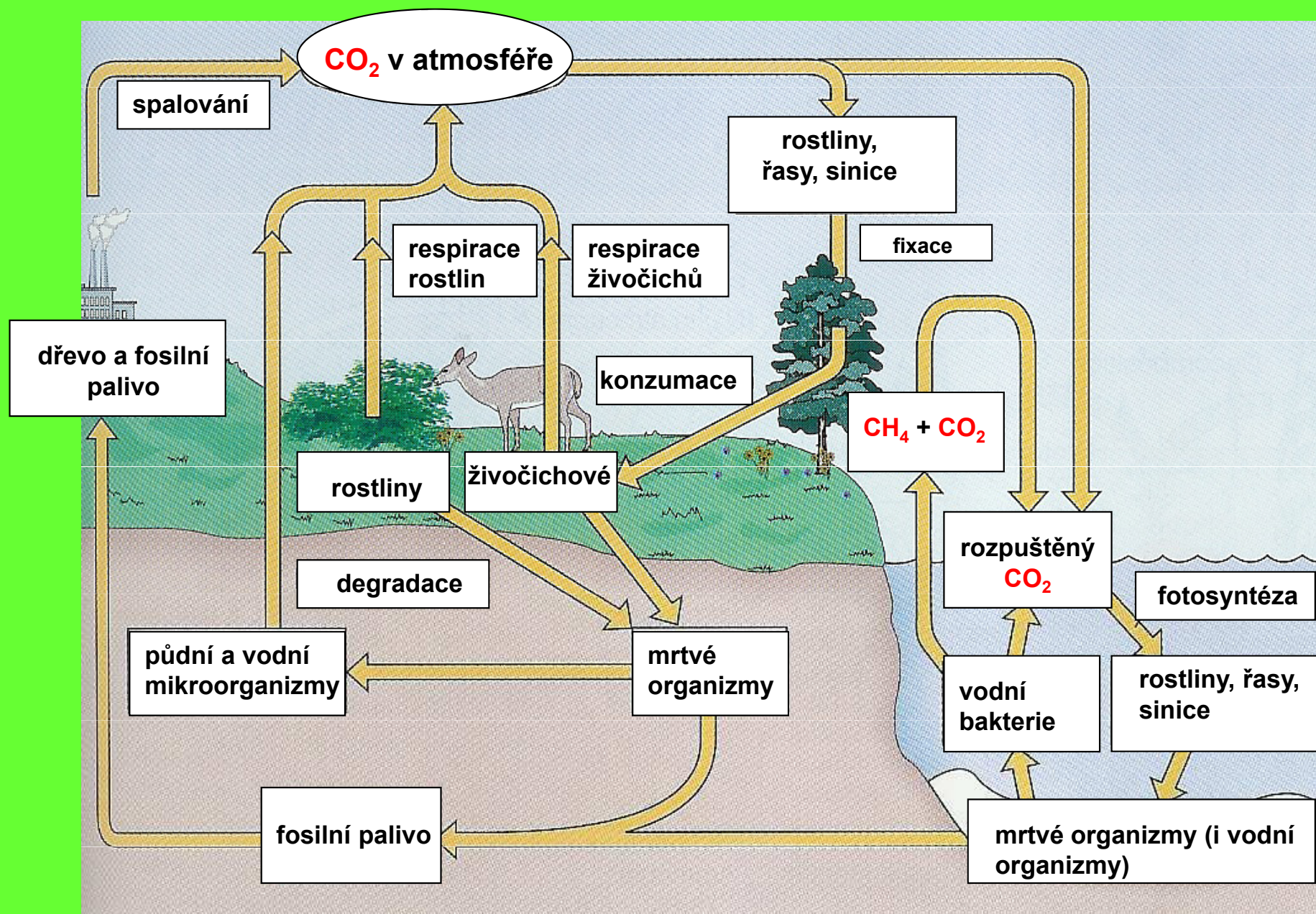


Schéma koloběhu dusíku

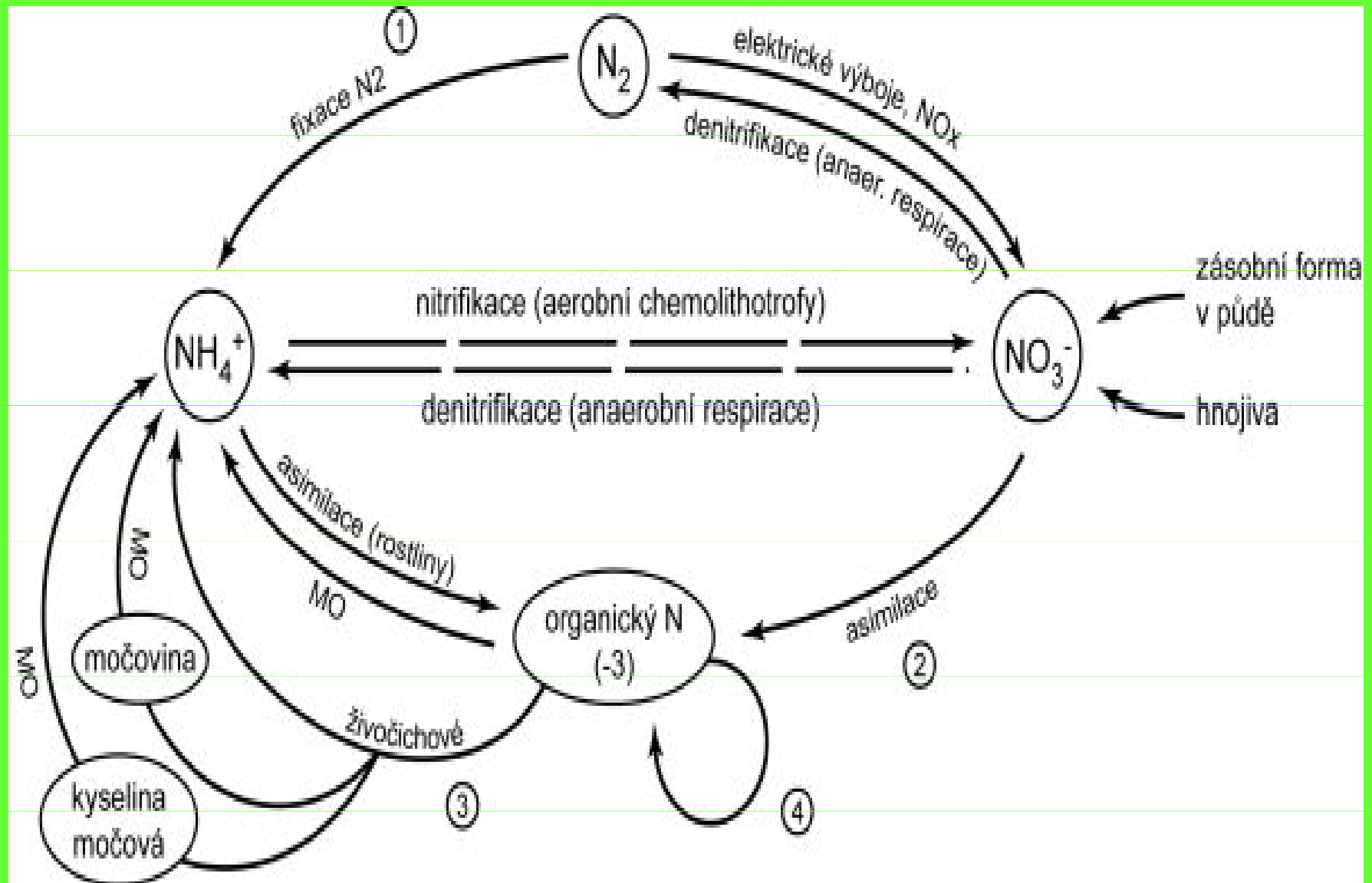


Schéma koloběhu dusíku

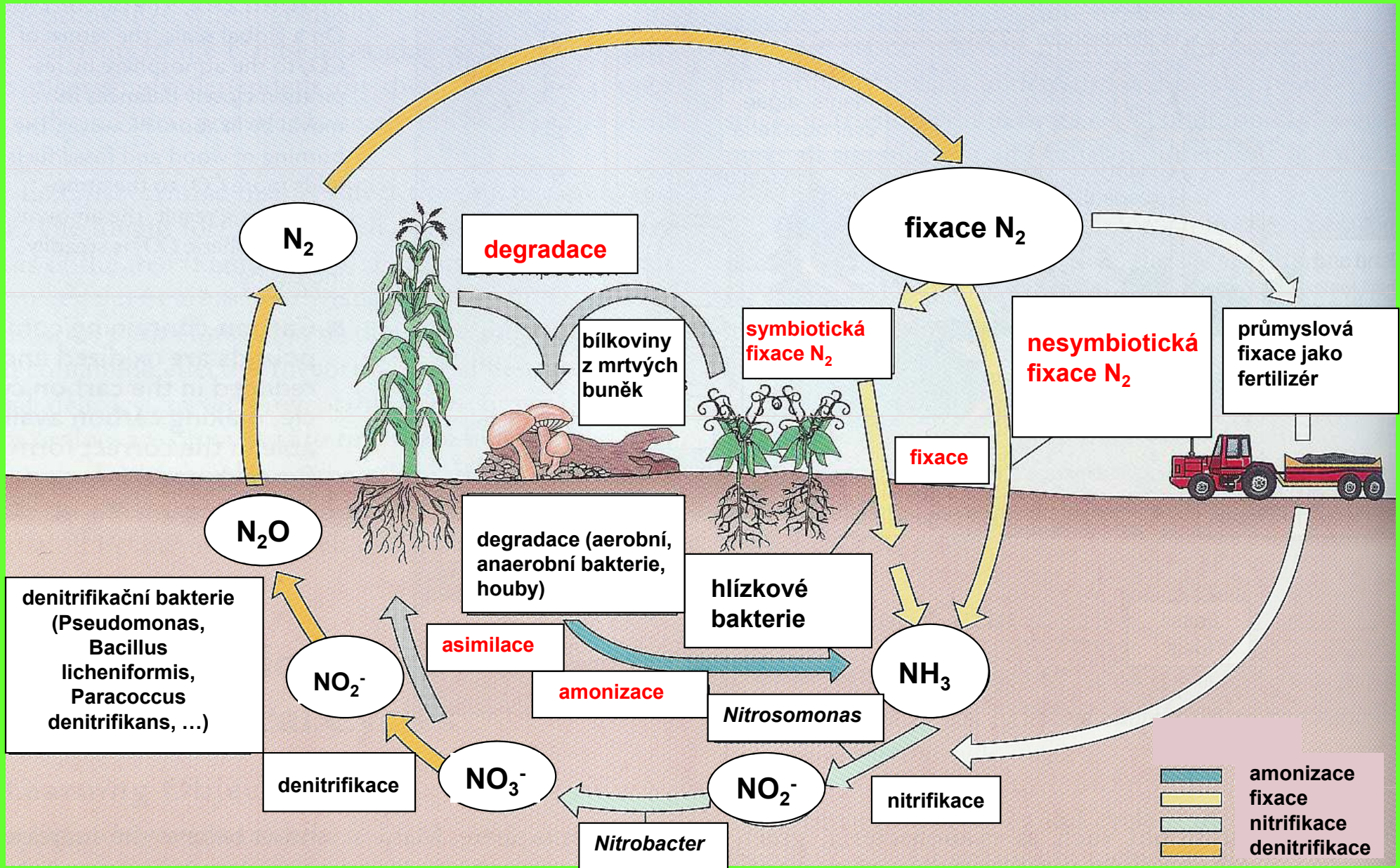


Schéma koloběhu síry

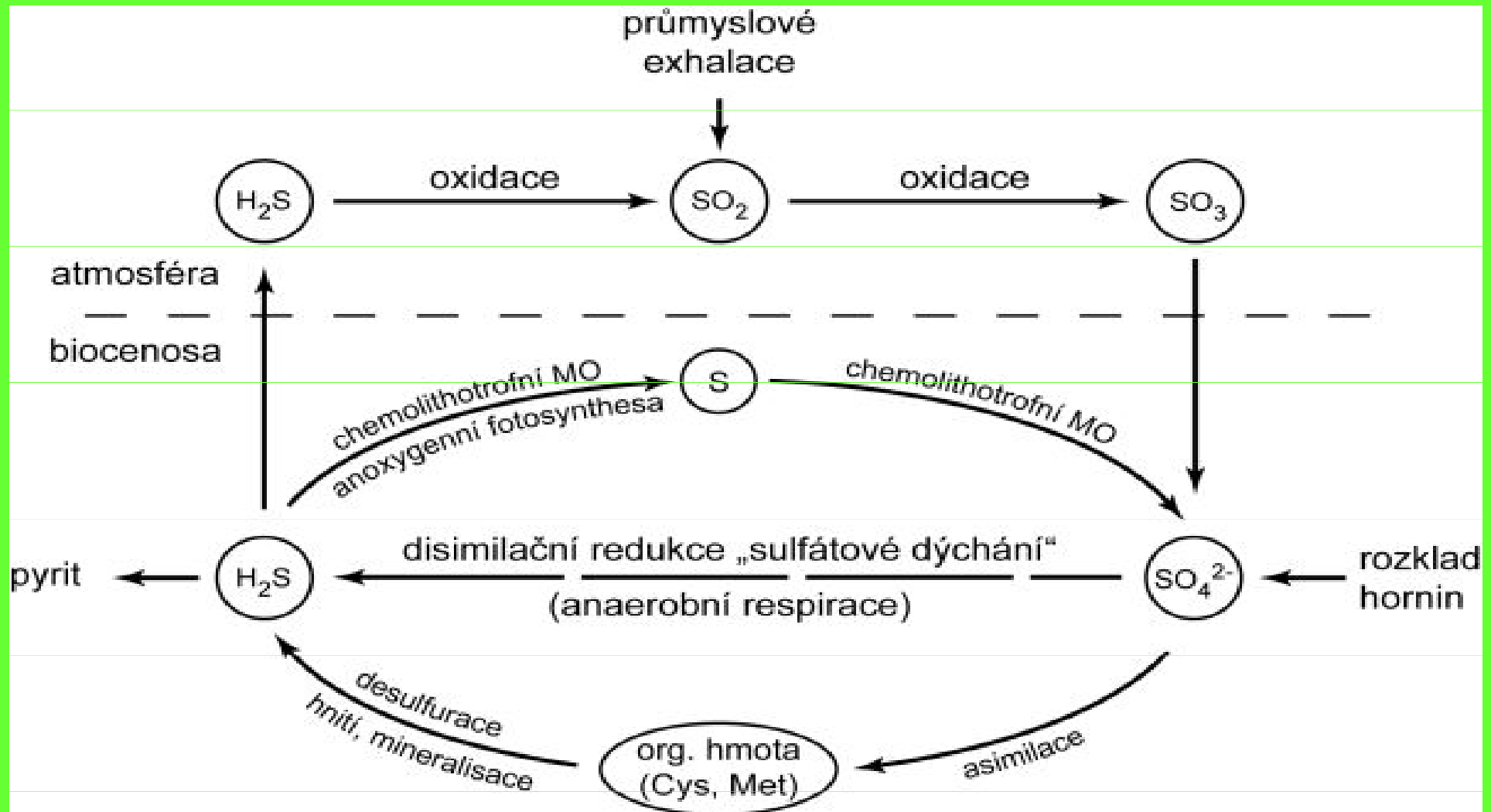
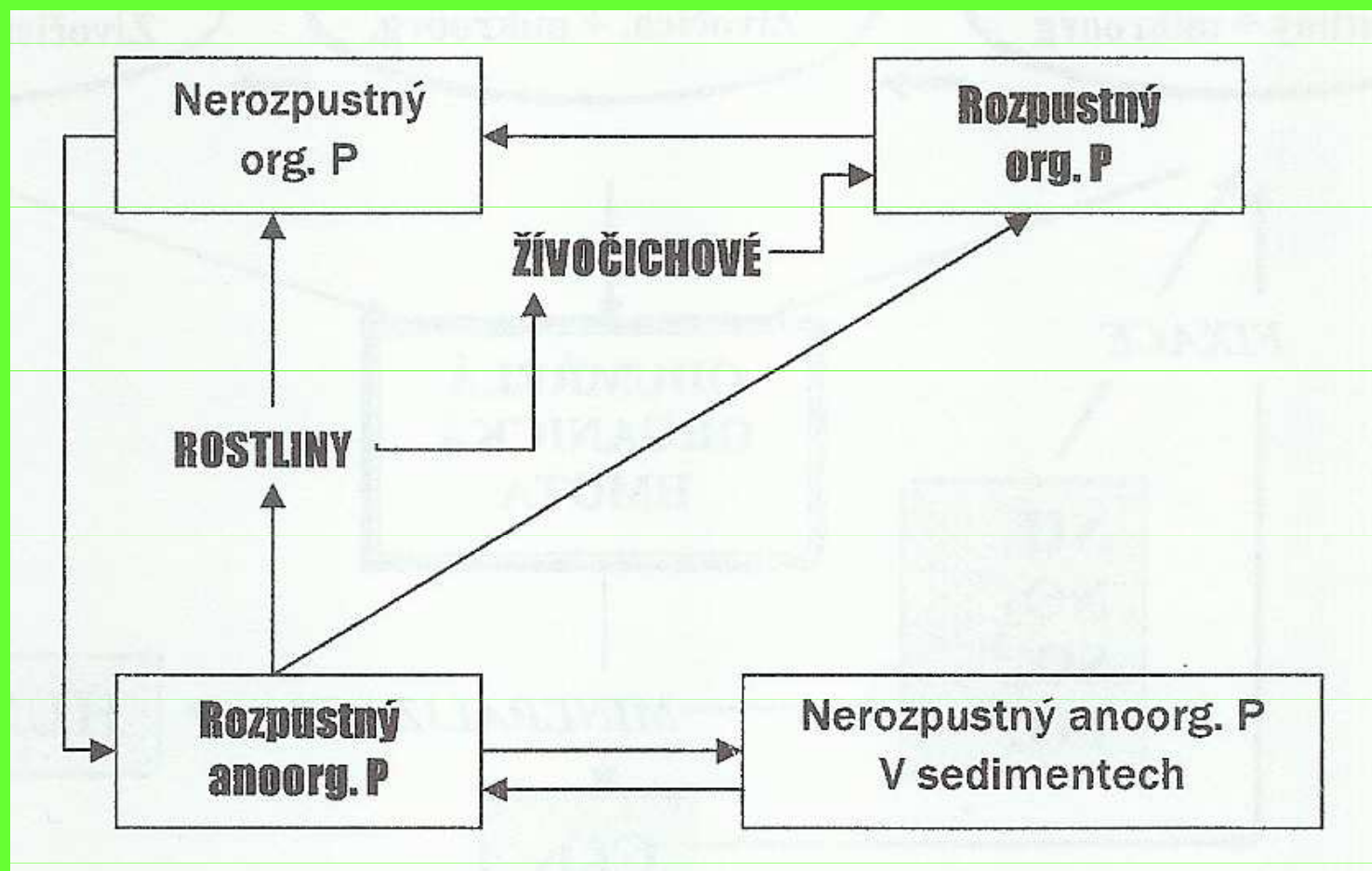


Schéma koloběhu fosforu

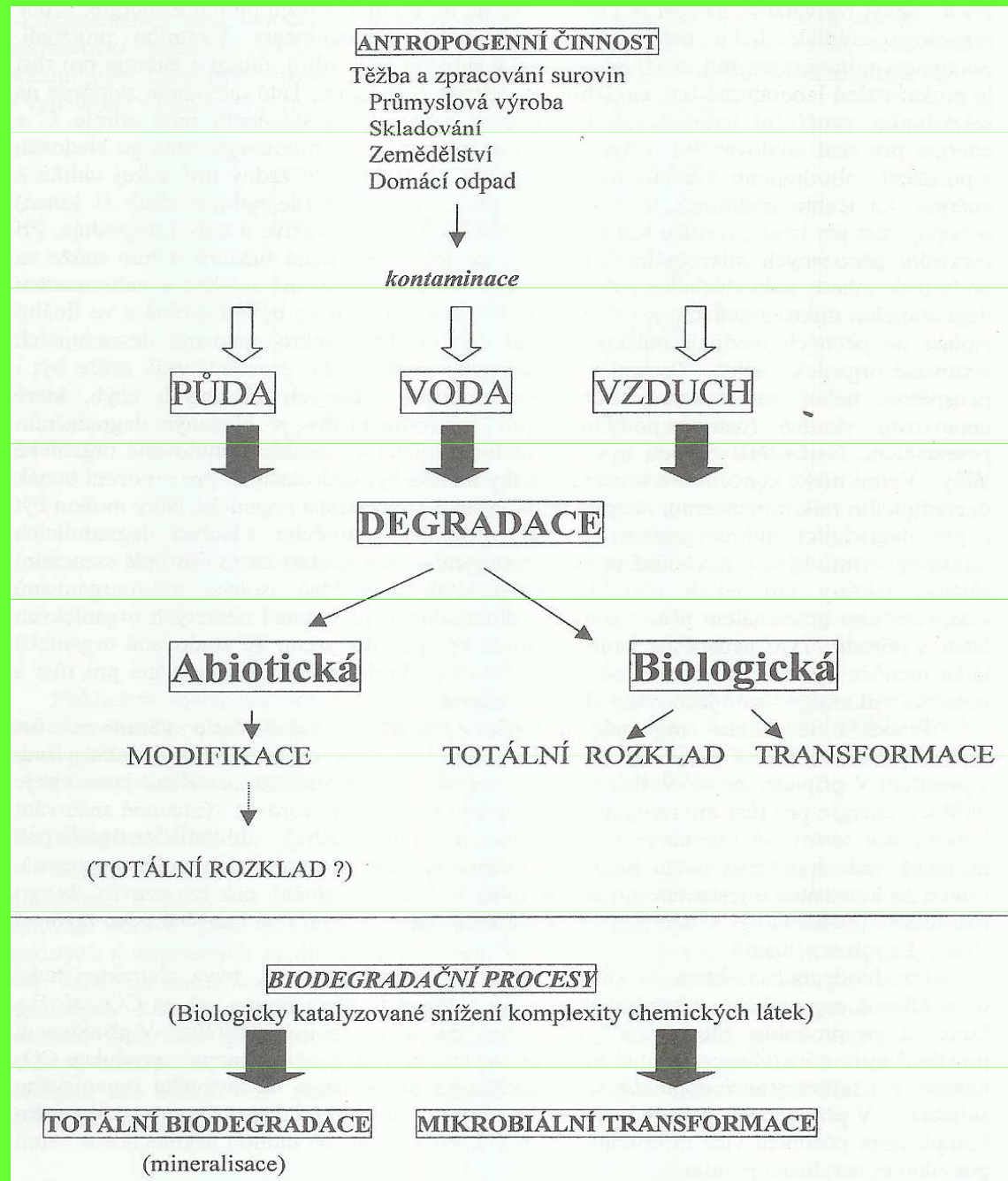


- biogeochemické cykly
- likvidace odpadů a toxických látek

Biodegradace

- Biodegradace - biologický rozklad - je speciálním případem degradace, při níž dochází k rozkladu polymerů působením biologických činitelů
- Mineralizace – úplný rozklad “toxické“ organické látky na anorganické sloučeniny, které se zařadí do koloběhu prvků

Biodegradace



Biodegradace

- Biodegradace - všechny přirozené procesy uskutečňované bakteriemi a dalšími organizmy, vedoucí k destrukci organických molekul
- Bioremediace – akcelerace procesů biodegradace
- Fertilizace – bioremediační metoda, spočívající v akceleraci již probíhajících biodegradačních procesů
- Seeding – obohacení kontaminovaného prostředí degradátory se známým katabolickým potenciálem

Kompostování

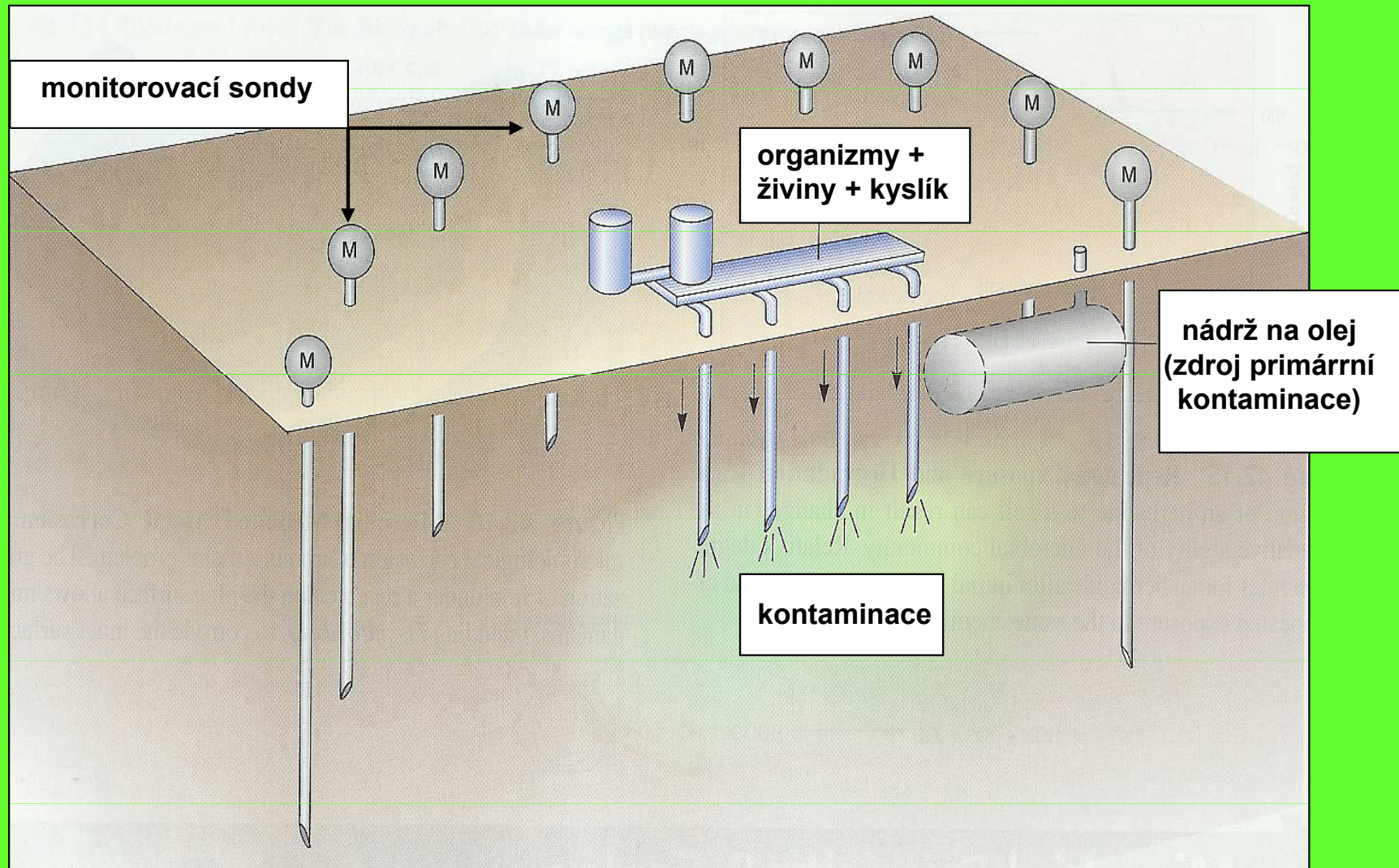


Biodegradace

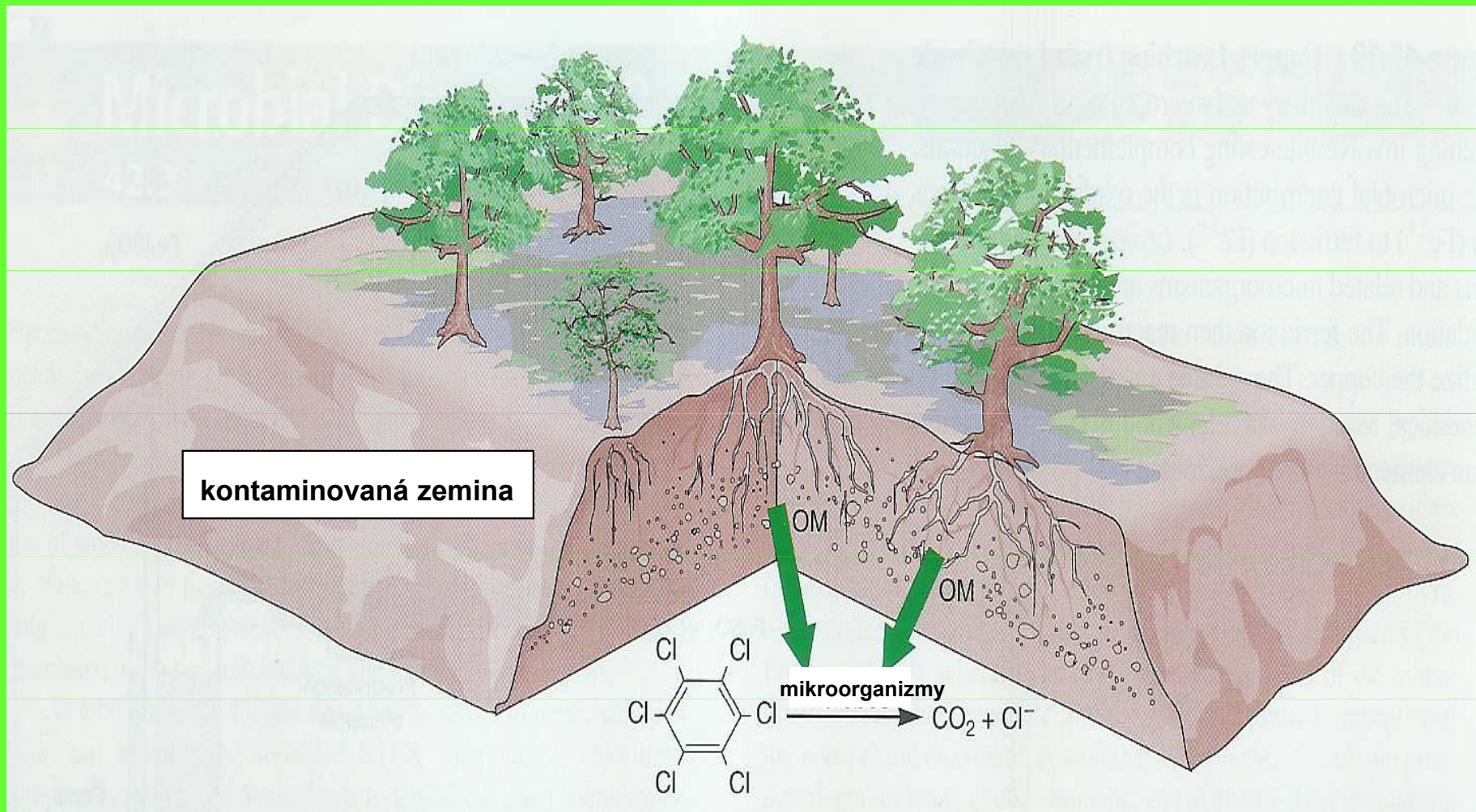


Bioreaktor na anaerobní bioremediaci zeminy kontaminované trinitrotoluenem
Organismus: *Clostridium bifermentans*

Biodegradace – *in situ*



Biodegradace - fytoremediace



OM – organické látky produkováné rostlinou pro kometabolizmus

Probiotika

- Živé organizmy, které se v určitém množství dostávají do těla spolu s potravou a které jsou schopny příznivě ovlivnit zdraví člověka

Bakterie s probiotickým účinkem

- *Bifidobacterium*
- *Enterococcus*
- *Lactobacillus*
- *Lactococcus*
- *Leuconostoc*
- *Pediococcus*

Komerčně dostupné kmeny s probiotickým účinkem

Kmen

L.acidophilus NCFM

L.casei Shirota

L.casei Immunitas

L.fermentum RC-14

L.rhamnosus 271

L.salivarius UCC 118

L.lactis B6-12

B.longum BB 536

B.breve

Enterococcus faecium

Výrobce

Rhodia Inc.

Yakult

Danone

UrexBiotech

Probi AB

University College Cork

Chr.Hansen

Marinaja Milk Industry

Yakult

Arla Foods

Požadavky na komerční kmen s probiotickým účinkem

- Musí být zdravotně nezávadný
- Musí být natolik tolerantní, aby se “nepoškodil“ v průběhu technologického zpracování
- Musí projít bez poškození gastrointestinálním traktem
- Musí mít dobrou schopnost vazby na epitel střeva
- Musí mít pozitivní vliv na zdraví člověka

Popsané účinky probiotických bakterií

- Posílení imunitního systému
(*L.acidophilus*, *L.casei*, *L.plantarum*,
L.delbrueckii,*L.rhamnosus*)
- Úprava složení střevní mikroflóry
(*L.acidophilus*, *L.casei*, *B. bifidum*)
- Redukce koncentrace cholesterolu v séru
(*L.acidophilus*, *L.casei*, *L.plantarum*,
L. gasseri, *B.longum*)

Popsané účinky probiotických bakterií

- Prevence průjmových onemocnění-cestování (*Saccharomyces spp.*, *L.acidophilus*, *B. bifidum*, *Streptococcus thermophilus*, *L.bulgaricus*)
- Prevence rotavirového průjmového onemocnění (*L.rhamnosus*, *B. bifidum*)

Popsané účinky probiotických bakterií

- Zlepšení využívání laktózy jedinci s laktózovou intolerancí (*L.acidophilus*, *L.casei*, *L.plantarum*, *Streptococcus thermophilus*, *L.bulgaricus*, *B. bifidum*)

Popsané účinky probiotických bakterií

- Snížení tvorby karcinogenů – enzymy (*L.acidophilus*, *L.casei*, *L.delbrueckii*, *L.gasseri*)
- “Protinádorové“ účinky (*L.acidophilus*, *L.casei*, *L.gasseri*, *L.plantarum*, *L.delbrueckii*, *B.infantis*, *B.adolescentis*, *B.bifidum*, *B.longum*)

Prebiotika

- Nestravitelné potravinové příměsi, které stimulují růst jednoho druhu nebo omezeného počtu druhů bakterií v tlustém střevě

Prebiotika

- Frukto-oligosacharidy
- Galakto-oligosacharidy
- Xylo-oligosacharidy
- Malto-oligosacharidy
- Sojové oligosacharidy

Komerční probiotické přípravky pro živočichy

- **TOPTECH P** – *Lactobacillus delbrueckii*,
Lactobacillus spp., *Enterococcus faecium*,
Pediococcus pentosaceum
- **TOYCERIN** – *Bacillus cereus*
- **Metabion** – *Lactobacillus* spp.
- **Cernivet** – LBC - *Enterococcus faecium*
- **Probios** – *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*,
Enterococcus faecium