Čím se živí

a co pro to dělají

Metabolizmus

Primární metabolizmus – zajišťuje růst

Sekundární metabolizmus – rozmnožování, fruktifikace a sporulace, reakci na stres (kompetice, abiotické podmínky, toxiny), komunikace, interakce s organizmy, …

Příjem živin

- nízkomolární látky přes:

buněčnou stěnu

membránu

- mechanizmus transportu:

pasivní difůze

usnadněná difůze

aktivní transport

Přenos do hyf

Co může vstoupit do hyfy?

– mono- a disacharidy, aminokyseliny, organické kyseliny, steroly, vitamíny, ionty

Co s ostatními látkami?

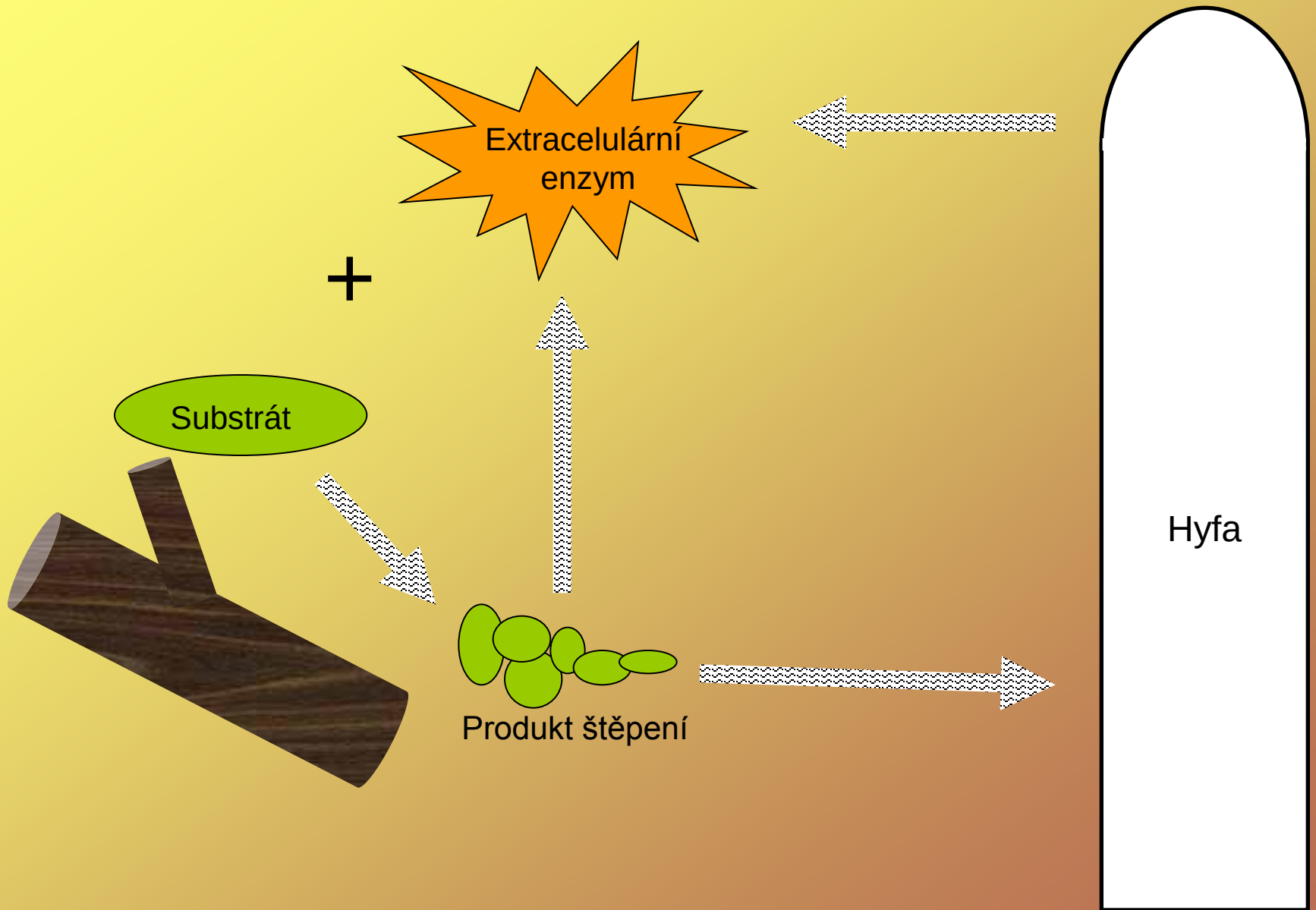
–štěpení mimo hyfu

= **extracelulární enzymy**

= proces ztrátový, výroba enzymů

Substrát	**Enzym**
škrob	α-amyláza
pektin	pektinesteráza, polymethyl galakturonáza
celulóza	endoceluláza, exoceluláza, β-glukozidáza
proteiny	exopeptidázy (α-aminoacylpeptidáza), endopeptidázy (serin proteináza)
…	…

Extracelulární enzymy



Živiny

Biogenní prvky

- **uhlík, dusík, fosfor, síra**
- minerální prvky

- zdrojem organické i anorganické látky
- enzymatické štěpením substrátu i neenzymaticky

Výživa - Uhlík

Zdroje uhlíku:

- jednoduché cukry, škrob (α-amyláza)
- alkoholy vícesytné (glycerol) i jednosytné (ethanol, methanol)
- organické kyseliny (mléčná, octová, jablečná, …)

- celulóza (endoceluláza, exoceluláza, β-glukozidáza)

  = **celulolytické** houby

- lignin (peroxidázy)

  = **ligninolytické** houby (jen kvůli zisku celulózy?)

Výživa - Uhlík

Netradiční zdroje uhlíku:

- pryskyřice (*Hormoconis resinae,* Dothideomycetes)

- uhlovodíky = *Aspergillus fumigatus* (Eurotiomycetes) v nádržích s kerosinem

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/

Aspergillus fumigatus

Výživa - Dusík

Zdroje dusíku:

- NO_2 a NH_4
- puriny (z DNA)
- močovina ($CO(NH_2)_2$) x toxická ve velkém množství

- aminokyseliny a proteiny (proteáza)

  = **proteolytické** houby

- chitin (chitináza)

  = **chitinolytické** houby

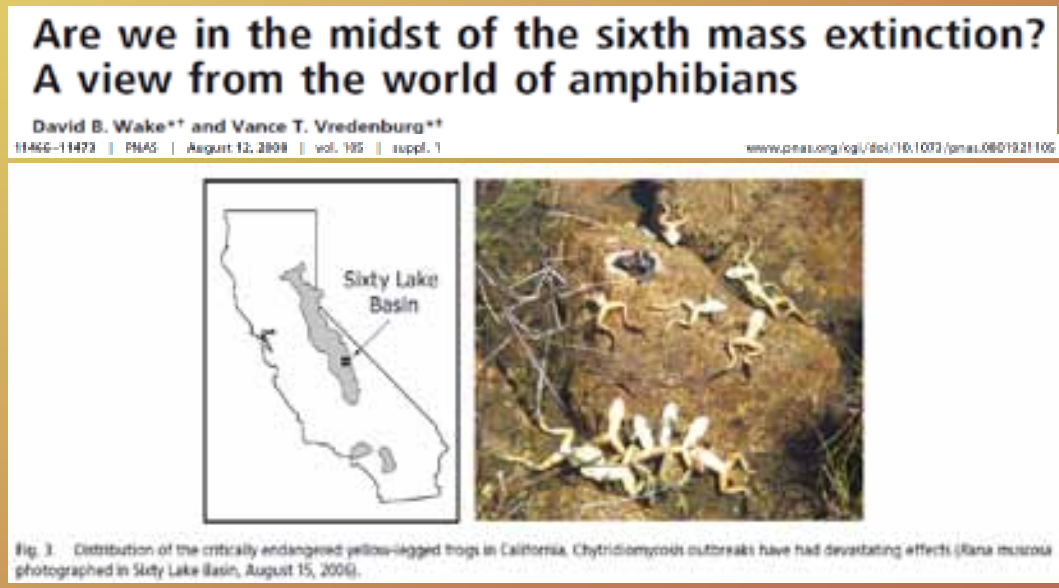
- rovněž zdroje uhlíku

Výživa - Dusík

Netradiční zdroje dusíku a uhlíku:
- **keratin**

Batrachochytrium dendrobatidis (Chytridiomycota)
- **keratinolytický** obligátní parazit obojživelníků

http://www.vivanatura.org/Ambystoma_tigrinumPhotos.html



Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians

David B. Wake*† and Vance T. Vredenburg*†

11466–11473 | PNAS | August 12, 2008 | vol. 105 | suppl. 1 www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0801921105

Fig. 3. Distribution of the critically endangered yellow-legged frogs in California. Chytridiomycosis outbreaks have had devastating effects (Rana muscosa photographed in Sixty Lake Basin, August 15, 2006).

Davidson & al. 2003

Výživa - Dusík

Batrachochytrium dendrobatidis
- **keratinolytický** obligátní parazit obojživelníků

„Během čtyř měsíců byla většina z 64 místních druhů žab buď infikována, nebo zcela zmizela," říká Karen Lipsová o svém dlouhodobém vědeckém působišti ve střední Panamě. „Druhy, které jsme mohli vidět jen vzácně, najednou padaly ze stromů nebo

„Nezbyly už téměř žádné," říká Karen Lipsová o zlatých žabkách, jejichž populaci v Panamě choroba takřka zdecimovala.

byly vyplavovány z podzemí. Umíraly na plísňové onemocnění," říká. „To je nevídané."

Odborníci z atlantské zoo se nyní usilovně snaží předběhnout chorobu a odchytávají tolik živočichů, kolik je jen možné, aby je zachránili před vyhynutím. „Musíme umístit zdravé žáby do zoologických zahrad a podobných zařízení, kde toto období přečkají," říká Joe Mendelson z atlantské zoo. O panamské lokalitě Karen Lipsová říká: „Můžete se podívat dolů z hor a zjistíte, že zde není naděje. Jediné, co můžeme udělat, je sestavit seznam toho, co se pokusíme zachránit a co ponecháme osudu." Žáby zůstanou v chovných stanicích a vědci budou hledat cesty, jak posílit jejich imunitu nebo neutralizovat patogen ve volné přírodě tak, aby zvířata mohla být opět vypuštěna.

Někdo nezná původ plísňového onemocnění, důvody, proč choroba napadá jen některé druhy, a ani to, jak infekci potlačit. Ví se však, že patogen je již rozšířen na šesti kontinentech. „Tradiční ochranné postupy, jako je například ochrana biotopů, jsou v tomto případě nepodstatné," říká Mendelson. „Musíme začít uvažovat zcela jinak, nebo přijdeme o všechny obojživelníky."

–Jennifer S. Hollandová

Jak houba cestuje?

Houba z rodu Chytridomyceta se rozšířila po světě spolu s africkou drápatkou vodní, která byla často používána pro lékařské výzkumy. (Ve třicátých letech minulého století se tyto žáby běžně využívaly při těhotenských testech: moč těhotné ženy injektovaná do žáby vyvolá kladení vajec.) Další možní přenašeči, skokani volští pocházející z Jižní Ameriky, putovali do Spojených států ke konzumaci.

NAJDETE NA WEBU Nahlédněte do křehkého světa žab na ngm.com/0105/feature0

HOBBY.cz

Vzácnou stromovou žabku museli usmrtit. Zbývá už jen jediná na světě

Pracovníci zoologické zahrady v americké Atlantě museli aplikovat eutanazii na žabku, jejíž druh se již považuje za vyhynulý v divočině. Veterinář vzácnou drobnou žabku usmrtil, aby předešel jejímu trápení.

O smutné události informovala agentura AP s odvoláním na zdroje ze zoo.
Zásluhou tohoto řešení zachovají lékaři alespoň genetický materiál pro další výzkum. Předpokládá se, že stromová žabka *Ecnomiohyla rabborum* v atlantské zoo byla jedním ze dvou posledních jedinců na Zemi.

Tento druh pralesního obojživelníka identifikoval teprve v roce 2005 během cesty do Panamy kurátor herpetologického oddělení zoo Joseph Mendelson.

Podle něho v přírodě žabku vyhubila houba napadající obojživelníky *Chytrid fungus*. O původu choroby žabky v zoo se zpráva nezmiňuje.

Poslední známý příslušník rodu *Ecnomiohyla rabborum* žije v botanické zahradě rovněž v Atlantě.

Z rubriky

Xman.cz

Z rubriky

dovolena.cz | STUDENT | AGENCY |
Specialista na exotiku

Výživa - Dusík

Netradiční zdroje dusíku a uhlíku:
- **keratin**

Onygena equina (Ascomycota, řád Onygenales**)**
- **keratinolytický** saprotrof

http://www.biolib.cz/IMG/GAL/BIG/76587.jpg

Trichophyton ajelloi

T. rubrum

http://www.mycology.adelaide.edu.au/virtual/2011/ID2-May11.html

- **keratinolytické** parazitické druhy na savcích vč. člověka

Výživa – ostatní prvky

Zdroje S:

- SO_4^{2-}, choline-O-sulfát z rostlin, tyrosin-O-sulfát (syntéza cysteinu a methioninu)

Zdroje P:

- transport $H_2PO_4^-$ (polyfosfát jako zásobní látka)

Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, Ni

- přenos nejčastěji pomocí siderophorů (v nadbytku pasivně difůzí)

Výživa - halogeny

- v přírodě 2600 org. **halogenderivátů** (nejčastěji Cl)
- nejběžnějším CH_3Cl (atmosféra)
- 5 mil. tun ročně (2,5 mil. z dekompozice pektinu a ligninu)

- cca 70 druhů hub a cca 200 typů houbových halogenderivátů

= hlavně **saprotrofní bazidiomycety**

x *Mollisia* sp. (Pezizomycotina) – molekula s více atomy Cl než C

http://www.pilzberatung-jena.de/Bilder/pg0304mollisia.jpg

Výživa - halogeny

K čemu je houby potřebují?

- donor metylové skupiny

= rozklad ligninu (syntéza veratryl alkoholu, produkce H_2O_2)

- antibiotický, cytotoxický a alelopatický účinek

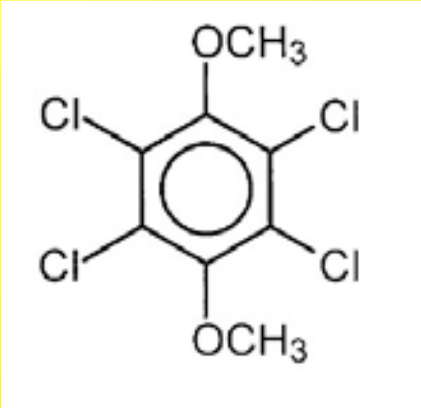
např. ochratoxin A (*Aspergillus niger*) s Cl silnější než ochratoxin B

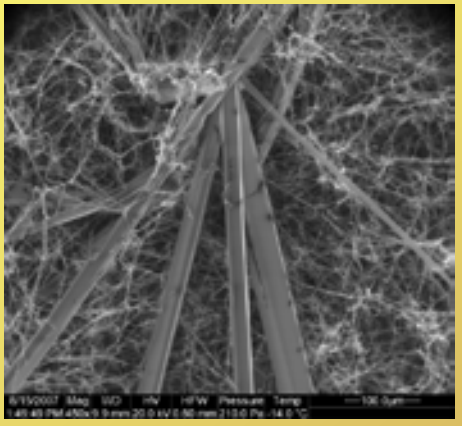
- strobilurin, oudemansin u *Strobilurus* a *Oudemansiella*

Výživa - halogeny

Marasmius androsaceus (Agaricomycetes)

- **drosophilin A methyl ether**





http://www.commanster.eu/commanster/Mushrooms/Agaric/SuAgaric/Marasmius.androsaceus.jpg

Výživa – ostatní prvky

Au, Ag,

- **akumulace** z prostředí, koncentrace až 1000 násobná
- „těžba“ ekonomicky nevýhodná (na 1g zlata cca tuna sušiny)

Au

- nejvíce v žampiónech a pýchavkách

Ag

- nejvíce u mochomůrka
  (na 1g stříbra „pouze“ několik kg sušiny)

Český rozhlas 31. 10. 2009 - Meteor
http://www.rozhlas.cz/default/default/rnp-player.php?id=01025226&br=128&s=1

„Výživa“ – kovy

Měď

- esenciální x toxická ve vyšších koncentracích, první **fungicid**

Pierre Alexis Millardet (1838-1902)
- francouzský mykolog

Plasmopara viticola (Peronosporomycota)

http://botany.upol.cz/atlasy/system/nazvy/plasmopara-viticola.html

„Výživa“ – těžké kovy

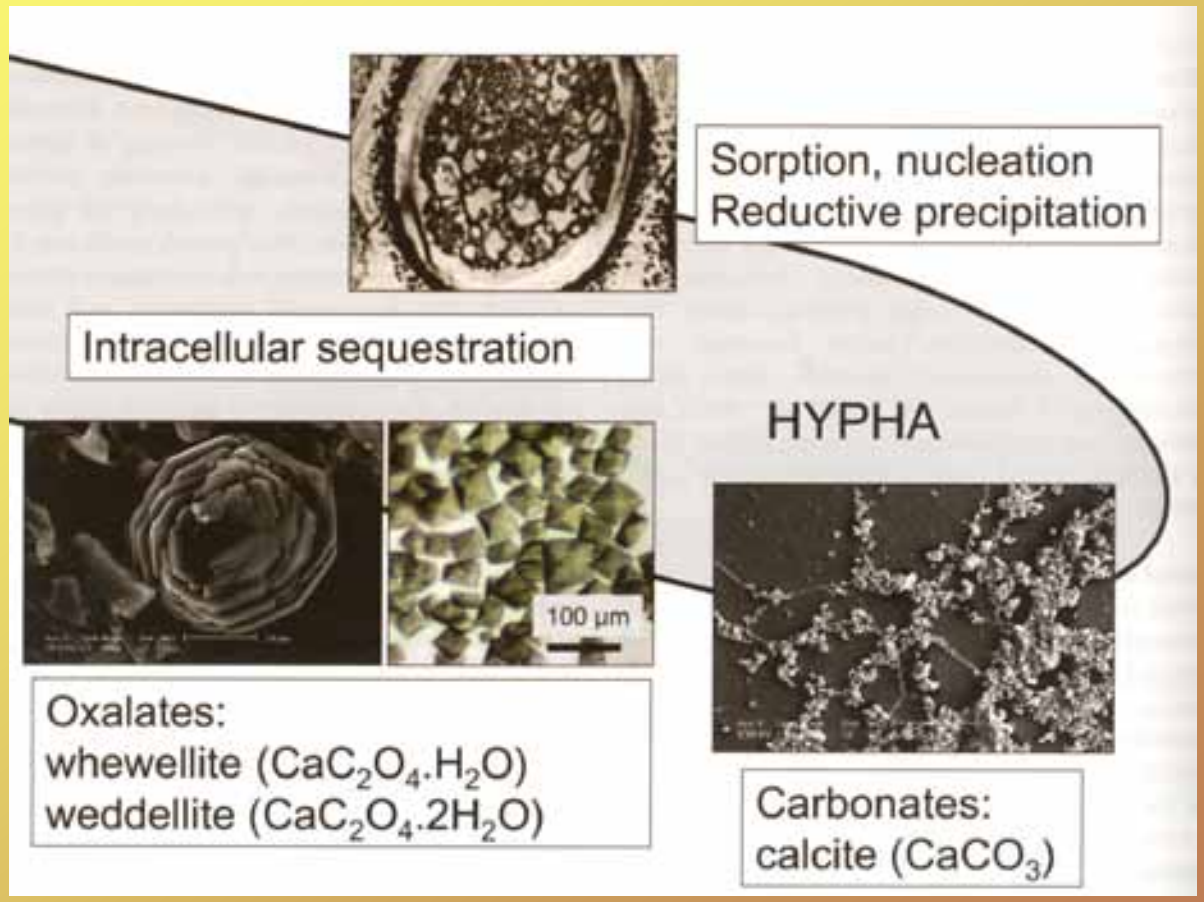
Těžké kovy (Cd, Hg, Pb, Al)

- příjem z tekutého prostředí (srážky, půda)
- negativní vliv na enzymy, fruktifikaci, propustnost membrán, …
- akumulace (preference vůči kovu)
- různé mechanizmy obrany

http://www.fws.gov/midwest/semonrda/images/ConradTailings.jpg

„Výživa“ – těžké kovy

1) **vysrážení** kovů (např. kys. šťavelová - šťavelany kovu)



Gadd (2004)

„Výživa“ – těžké kovy

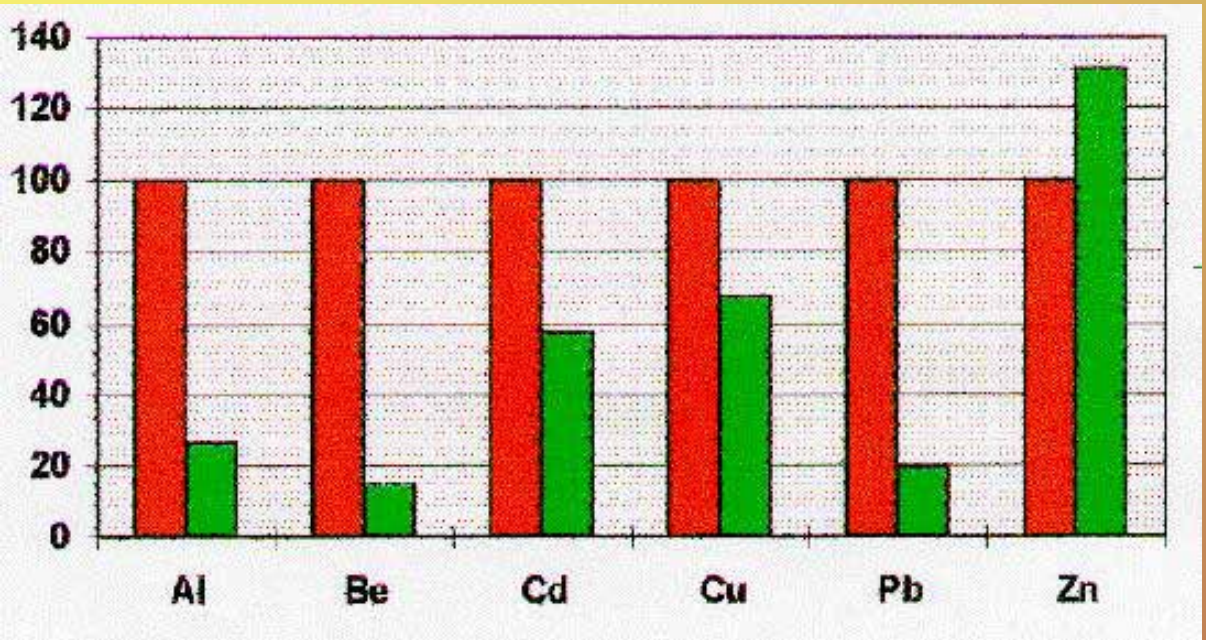
2) **absorpce melaniny na povrchu**

Armillaria sp.
(Agaricomycetes)

„Výživa“ – těžké kovy

3) **imobilizace** uvnitř mycelia (vazba na metalothioneiny, šťavelany, sulfid, …)

= dřevokazné druhy v bioindikacích (pouze ze srážek)



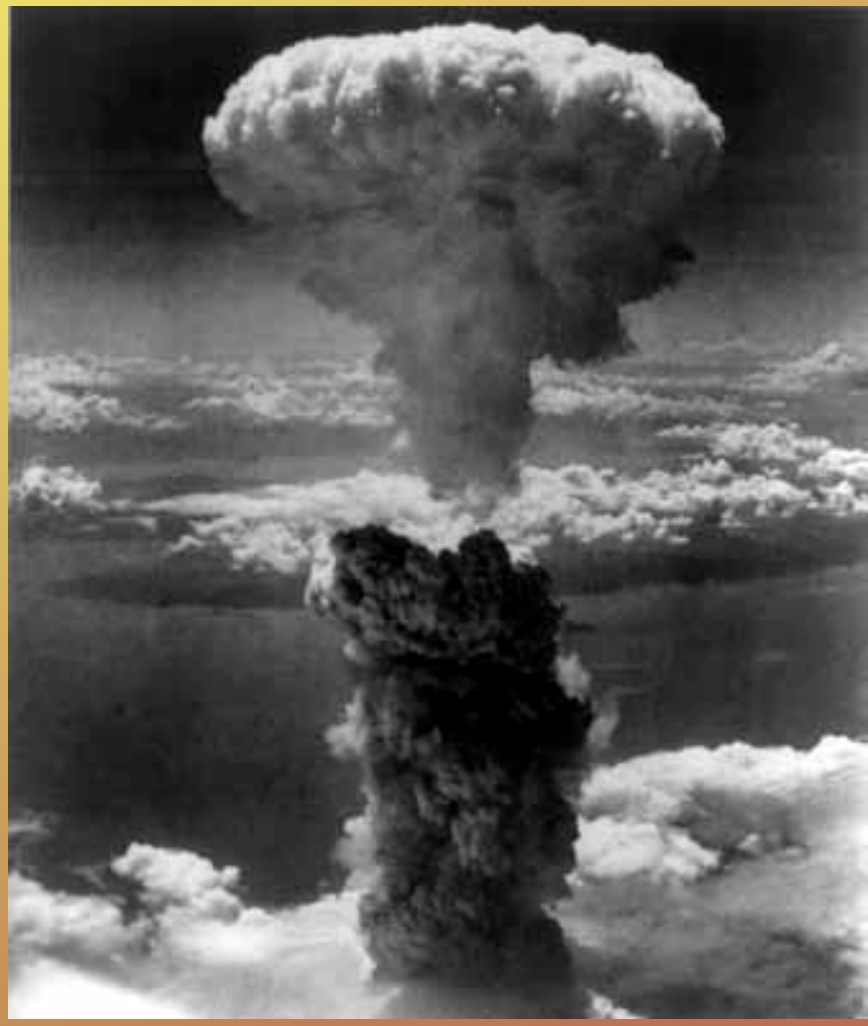
- srovnání obsahu těž. kovů v plodnicích sbíraných v Praze a v NP Šumava

http://www.biomed.cas.cz/mbu/gabriel/pictures.htm

„Výživa“ – radioaktivita

Radioaktivní izotopy
- lišejníky, plodnice bazidiomycetů

- přírodní izotopy i ^{137}Cs po atomových pokusech a haváriích



http://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_bomb

„Výživa“ – radioaktivita

Radioaktivní izotopy
- vysrážení U^{235}

http://dover.idf.il/NR/rdonlyres/519FB87E-B4C0-45EB-AE8B-D06B4B32490E/0/02_cropped_big.jpg

BBC NEWS

Fungi to fight 'toxic war zones'

Fungi could help clean up toxic war zones, scientists at a Scottish university have discovered.

Dundee University researchers have found evidence that fungi can "lock" depleted uranium into a mineral form.

This would make it more difficult for the heavy metal - used in armour-piercing shells - to find its way into plants, animals or the water supply.

The fungal-produced minerals are capable of long-term uranium retention, the scientists say.

Prof Geoffrey Gadd, from the university's College of Life Sciences, said: "This work provides yet another example of the incredible properties of micro-organisms in effecting transformations of metals and minerals in the natural environment.

Fomina & Gadd (2008)

„Výživa“ – radioaktivita

Radioaktivní izotopy

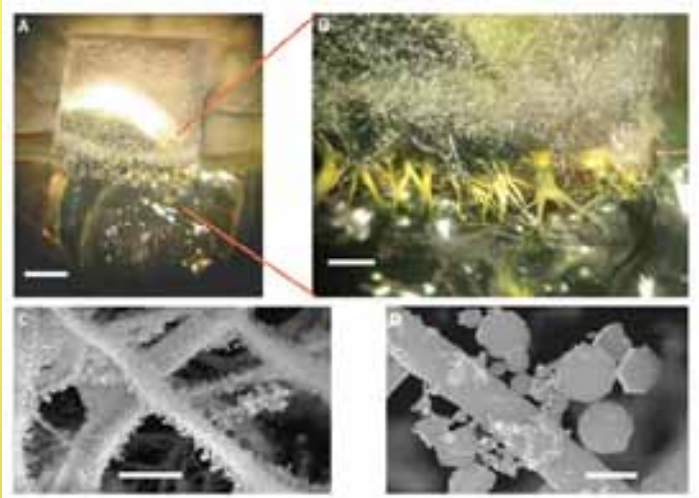


Figure 1. DU colonization and transformation by *Hymenoscyphus ericae*. (A,B) Interactions of cord-like aggregated hyphae with black DU decomposition products. (C,D) Cryo-scanning electron microscopy (SEM) images of fungal mycelium taken from an area of the colony furthest away from the DU coupon, showing encrustation of hyphae with tabular uranium precipitates associated with phosphorus. Scale bars are (A) 2 mm, (B) 500 mm, (C) 20 mm, (D) 1 mm.

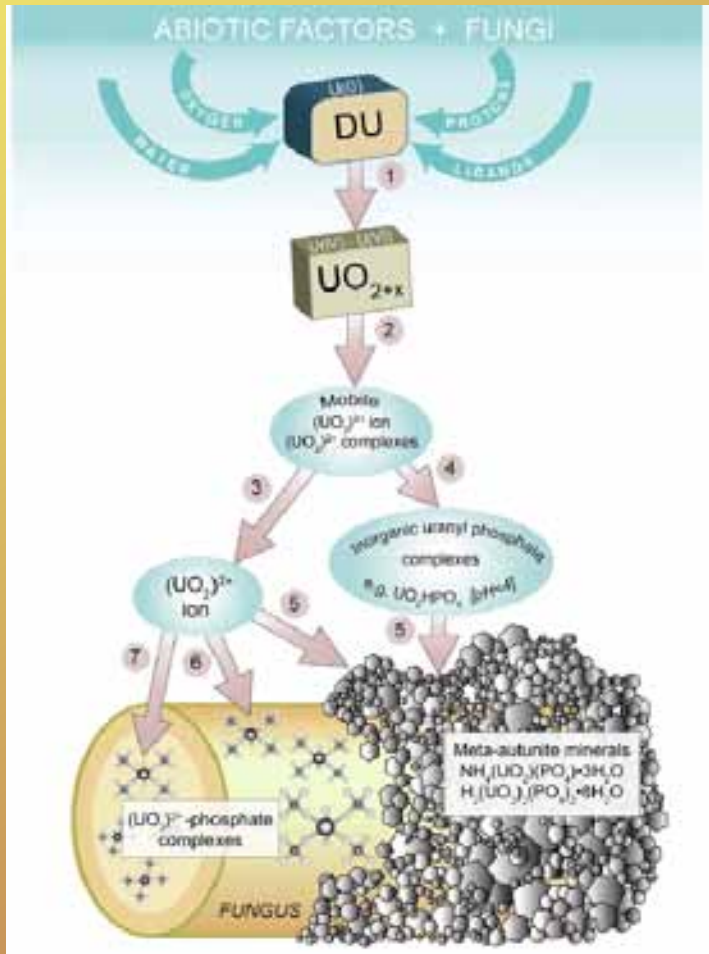


Figure 2. Proposed model of DU transformations by fungi. (1) Oxidation of thermodynamically unstable DU in a corrosive aerobic environment which includes oxygen, water and fungi growing as hydrophilic biofilms and excreting protons and ligands. Black to yellow mixtures of uranium oxides (UO_{2+x}) are formed. (2) Uranium mobilization and leaching from DU and uranium oxides as uranyl ions or mobile uranyl complexes with fungal-derived ligands. (3) Uranyl ion (UO_2^{2+}) is the most biologically available form of uranium which can be readily accumulated by biological systems. (4) Inorganic uranyl phosphate complexes are readily formed with available phosphate ligands, including those released from organic sources by the activity of fungal acid phosphatases. (5) Fungal accumulation of inorganic uranyl phosphate complexes leads to extensive biomineralization with crystalline meta-autunite minerals uramphite ($NH_4(UO_2)(PO_4)\cdot 3H_2O$) and/or chernikovite ($H_2(UO_2)_2(PO_4)_2\cdot 8H_2O$) with hyphal surfaces serving as nucleation centres. (6) Extracellular and (7) possible intracellular uranyl uptake by fungi may also lead to the formation of organic complexes with fungal ligands (phosphate, carboxylates), with a clear prevalence of uranyl coordination to phosphate.

Current Biology Vol 18 No 9
R376

Role of fungi in the biogeochemical fate of depleted uranium

Marina Fomina[1], John M. Charnock[2], Stephen Hillier[3], Rebeca Alvarez[4], Francis Livens[4] and Geoffrey M. Gadd[1,*]

Výživa hub a vliv na procesy v přírodě

Strategie získávání živin

- symbióza

= parazitická

= mutualistická (mykorhizy)

- predace

- saprotrofie

- rozklad mrtvé organické hmoty
- houby klíčová úloha
- odlišné mechanizmy podle skupiny hub, substrátu, ekosystému

Dekompozice, degradace, rozklad, …

Dekompozice (*decay*, *decomposition*)

Degradace (*degradation*)

ELSEVIER

Soil Biology & Biochemistry 36 (2004) 1761–1768

Soil Biology & Biochemistry

www.elsevier.com/locate/soilbio

Degradation of hemicellulose, cellulose and lignin in decomposing spruce needle litter in relation to N

G. Sjöberg[a,*], S.I. Nilsson[a], T. Persson[b], P. Karlsson[b]

[a]*Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, P.O. Box 7014, SE-750 07 Uppsala, Sweden*

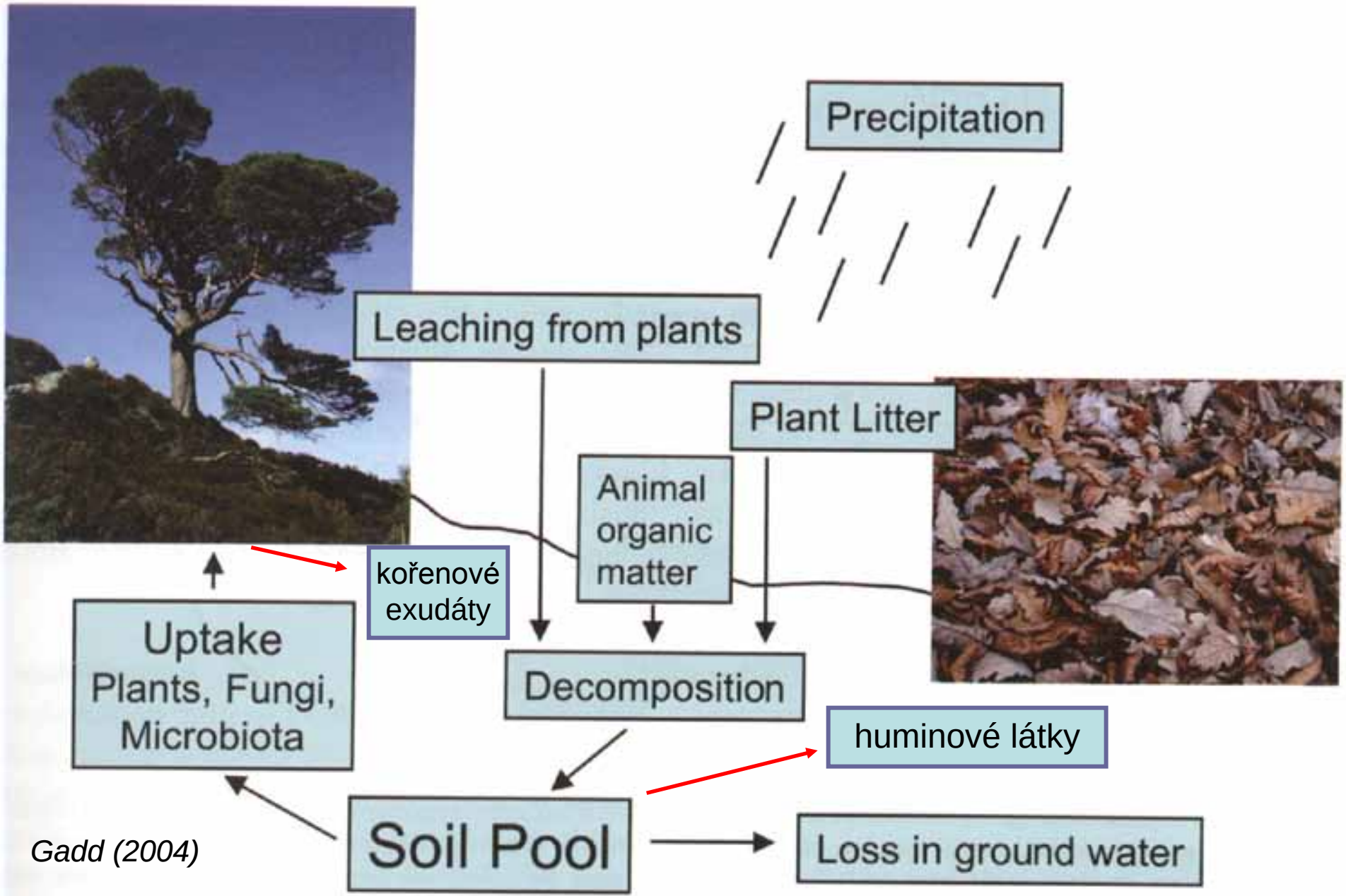
[b]*Department of Ecology and Environmental Research, Swedish University of Agricultural Sciences, P.O. Box 7072, SE-750 07 Uppsala, Sweden*

Received 7 July 2003; received in revised form 16 March 2004; accepted 29 March 2004

Dekompozice, degradace, rozklad, …

http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Grib_skov.jpg

Dekompozice opadu



Gadd (2004)

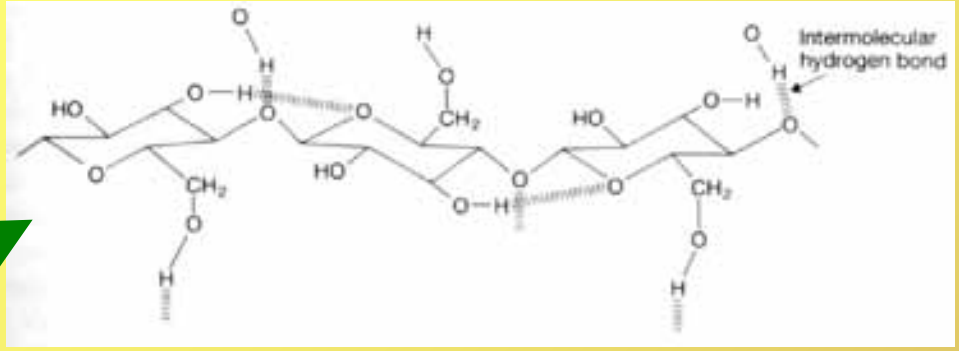
Habitaty v opadu

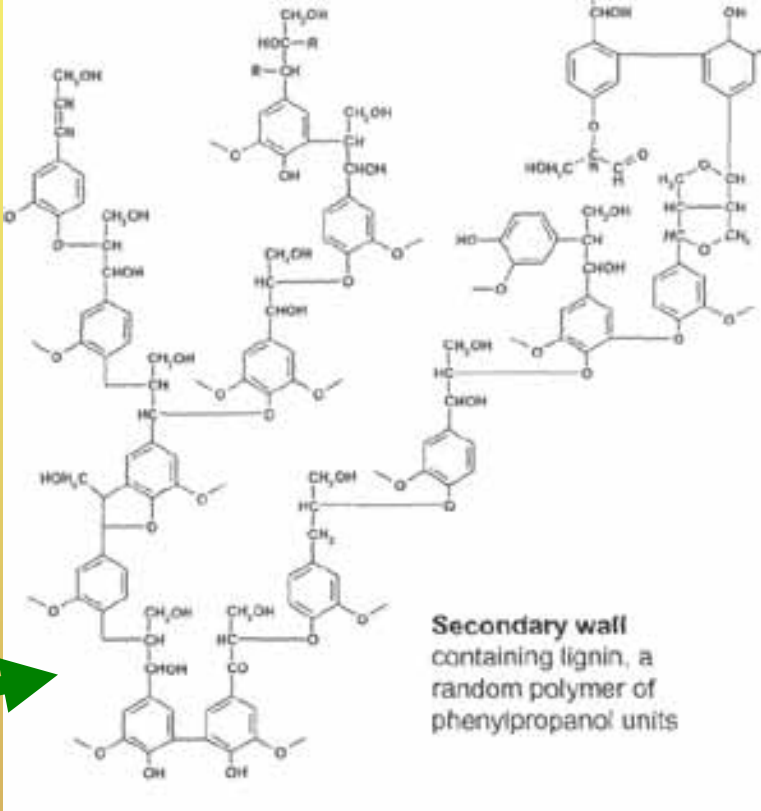
Složení opadu (suché hmotnosti)
60-75% tvoří listy
2-15% “plody”
10-15% větve
10-20% borka
+ exkrementy, trusinky, mrtví živočichové, vývržky, …

http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/imgjul04/iw/logs.jpg

http://www.pnc.edu/photos/autumn2005/fall%20leaves.jpg

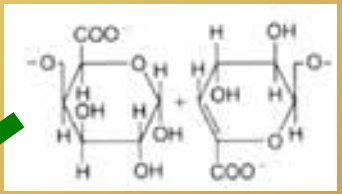
Chemie v opadu



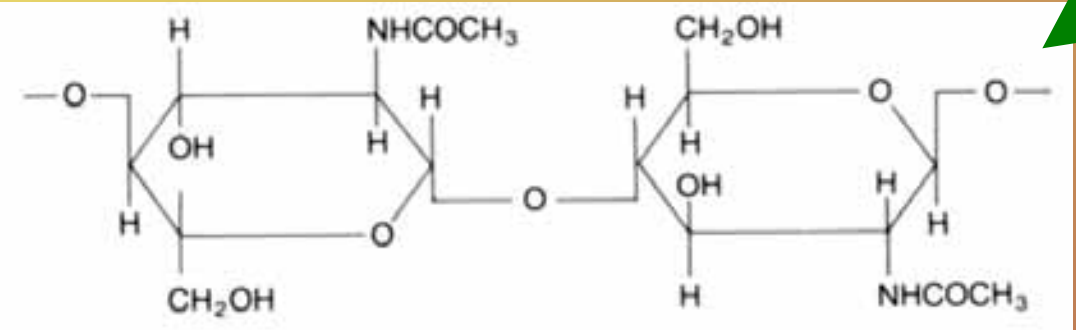


Anke & Weber (2006)

Složení opadu (suché hmotnosti)
celulóza (15-60%)
hemicelulóza (10-30%)
lignin (5-30%)
rozpustné uhlovodíky
taniny



+ suberin, proteiny, lipidy, pektiny, zásobní polysacharidy, chitin, keratin, …



Cooke & Whipps (1993)

Dekompozice opadu

Důležitá kombinace prvků
- především C:N a C:P (dále lignin:N), **recyklace** a **transport**

Mycelium	10:1
Jehličnatý opad	120 - 40:1
Dřevo	300 až 1000:1

http://www-markinfo.slu.se/sve/mark/humus/bilder/moder5m.jpg

Dekompozice dřeva

- rozklad zajišťují **dřevokazné houby**
  = celulolytická a ligninolytická aktivita

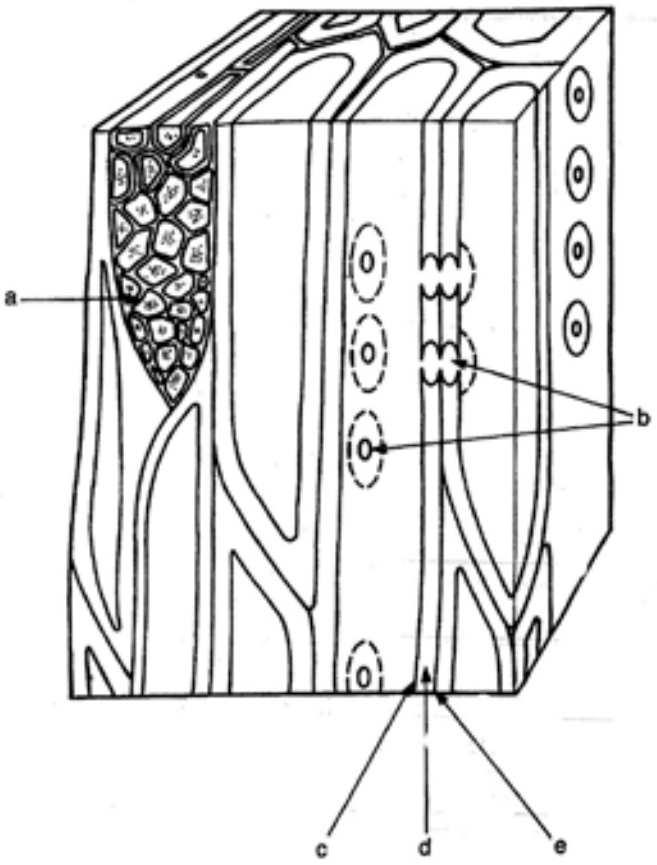
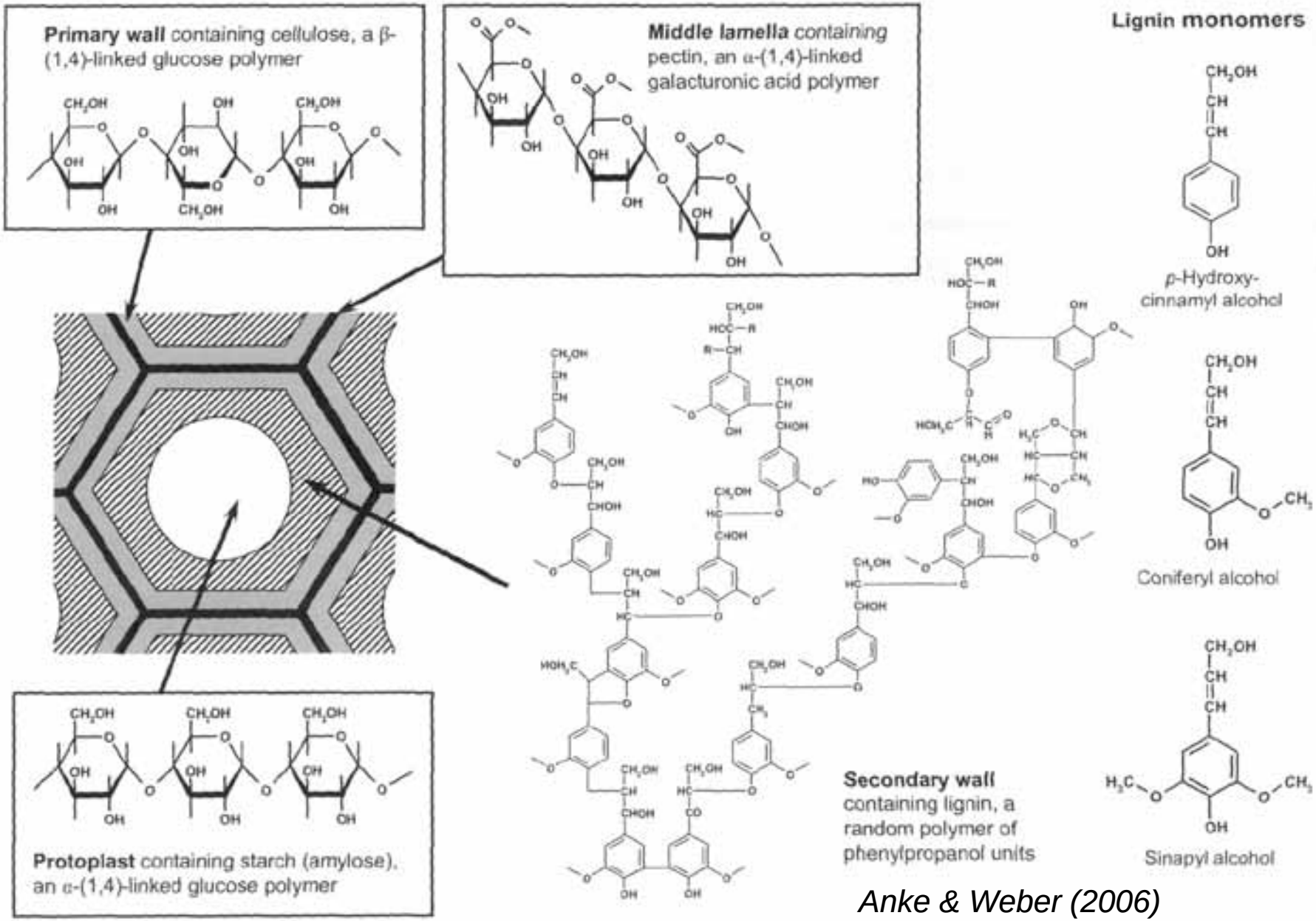


Figure 6.8 Diagram of cellular structure of wood. a, Medullary ray consisting of cells which are alive in living trees, and provide a source of readily available nutrients for fungi invading timber after the tree has been felled. b, Pits – perforations in the tracheid wall, usually coinciding in position in adjacent tracheids, and providing a pathway for hyphae to grow from one tracheid into another. c, S3 wall, with abundant lignin added to cellulose framework. d, S2 wall, mainly cellulosic and relatively less lignified. e, S1 wall, lignified.

Carlile & al. (2004)

Dřevo



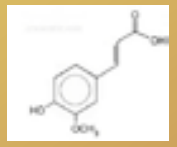
Anke & Weber (2006)

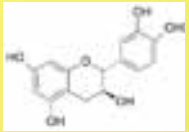
Dřevo

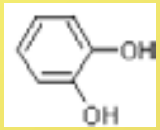
Lignin – 3D polymer (kumarylalkohol, sinapylalkohol a koniferylalkohol)

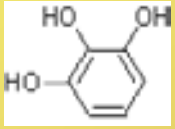
- lignin i v bylinnách, každá čeleď rostlin specifický poměr monomerů

- nestrukturní *fenolické látky* (kys. vanilová, gallová, ferulová; flavonoly, katechin, katechol, pyrogallol), *terpeny*, *pryskyřice*, …









Další limity

- **velmi málo dusíku**, C:N 300-1000:1

- koncentrace CO_2 větší než O_2 uvnitř kmenů

- vysychání (větvičky na stromě)

Dřevokazné houby

Dřevokazné houby
(*wood decomposers, wood-degrading, wood-rotting, wood-decaying,* …)

houby měkké hniloby (*SR, soft rot*)
- první dekompozitoři, velmi vlhké dřevo
- rozklad celulózy a hemicelulózy, lignin zanedbatelně

- **askomycety** (*Acremonium, Phialophora, Cephalosporium, Doratomyces, Chaetomium*), z **bazidiomycetů** pouze *Oudemansiella mucida*

- lámání v kostičkách

http://forestpathology.coafes.umn.edu/microbes.htm

Dřevokazné houby

houby hnědé hniloby (*BR, brown rot*)

- rozklád pouze pektin, celulóza a hemicelulóza, lignin zanedbatelně

- 10% z dřevokazných bazidiomycetů *Serpula, Gloeopyllum*

- lámání v kostičkách

http://forestpathology.coafes.umn.edu/microbes.htm

Dřevokazné houby

houby bílé hniloby (*WR, white rot*)

- nejsilnější enzymatická výbava, rozklad ligninu, společně s celulózou nebo hemicelulózou

- **bazidiomycety** (*Stereum, Trametes, P Pleurotus, Phanerochaete, Pycnoporus, Daedalea, Ganoderma,* …)

- **askomycety pouze** Xylariaceae (*Xylaria, Ustulina, Hypoxylon,* …)

http://forestpathology.coafes.umn.edu/microbes.htm

Dřevokazné houby

Trametes hirsuta WR vlevo; neznámá BR vpravo

Anke & Weber (2006)

Dřevokazné houby

Trametes hirsuta WR vlevo; BR vpravo
Anke & Weber (2006)

Mechanizmy rozkladu lignocelulózy

- modelový druh *Phanerochaete chrysosporium* (Agaricomycetes)

http://www.edugal.org.il/chazav/mushroom/pic8.htm

- nepravidelná struktura ligninu

- oxidace ligninu ***volné radikály***:

  veratryl alkohol produkován **lignin peroxidázou**

  a **Mn^{2+}** produkován **Mn peroxidázou**

- H_2O_2 donor elektronů

- energeticky a enzymaticky náročné = čistý zisk C z rozkladu ligninu nulový

Mechanizmy rozkladu lignocelulózy

- lignin v opadu (jehličí, sklerenchym, …)
- saprotrofní houby z opadu enzymatická výbava hub bílé hniloby

„***bílá hniloba***“

-*Marasmius androsaceus*
- na jehlicích *P. sylvestris*

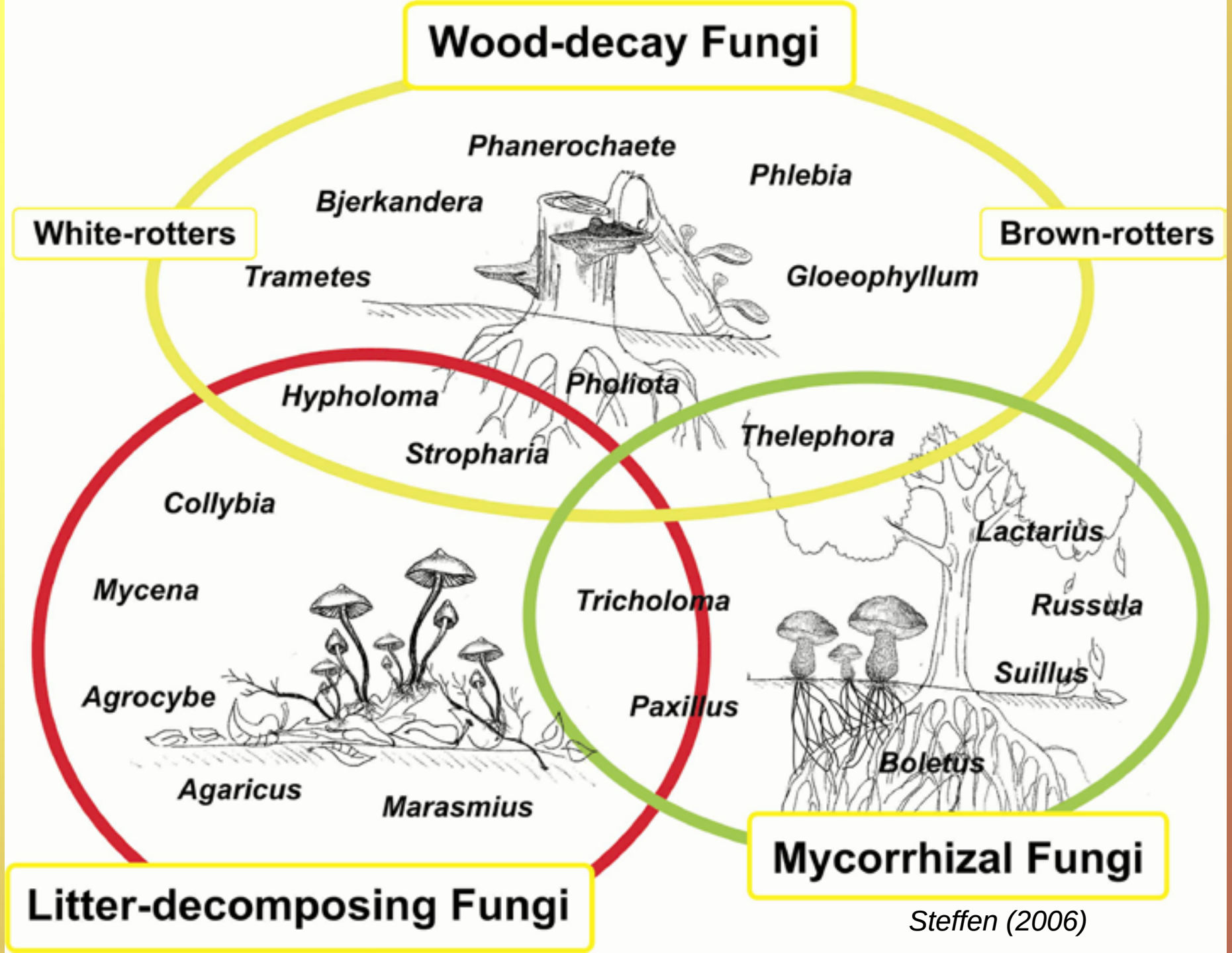
Collybia dryophila (oba Agaricomycetes)
- v listnatém opadu v terénu

A co mykorhizy?

- **ektomykorhizní druhy hub**
- geny pro různé peroxidázy (LiP, MnP) a lakázu
- produkce *in vitro*, rozklad opadu, …
- zisk org. N u ECM hub (a tudíž i rostlin) z organických látek z půdy
- opakovaně v evoluci **vývoj ECM ze saprotrofních**

(*Hibbett & al. 2000 – Nature!*)

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a3/Boletus_edulis_%28Tillegem%29.jpg



Steffen (2006)

Čím se živí houby - shrnutí

- zdroje živin pro houby
- význam rozložení a poměr živin v přírodě
- specialisté na úzké spektrum zdrojů

Náměty pro výuku, domácí úkoly, zamyšlení …

Které látky jsou v přírodě rozkládány pouze, nebo převážně houbami?

Jak mohou být člověku prospěšné schopnosti hub rozkládat složité chemické látky?