



# BIOTECHNOLOGIE A PRAKTICKÉ VYUŽITÍ ŘAS A HUB

Úvod do biotechnologií • Kultivace sinic, řas a hub

- Sinice a řasy jako doplňky stravy • Výroba biopaliv pomocí sinic a řas
  - Genové a metabolické inženýrství sinic a řas
  - Jedlé houby a jejich pěstování • Jedovaté houby a otravy
- Léčivé látky hub a využití ve farmacii • Houby v potravinářských technologiích
  - Kvasinky jako expresní systém v molekulárních biotechnologiích
- Využití hub v zemědělství, biocontrol agents • **Další způsoby využití hub**
  - Hospodářské škody působené houbami

# DALŠÍ ZPŮSOBY PRŮMYSLOVÉHO VYUŽITÍ HUB

## PRODUKCE ORGANICKÝCH SLOUČENIN

B. Mieslerová, M. Sedlářová, A. Lebeda:  
Praktické využití hub a houbám podobných  
organismů v potravinářství, zemědělství,  
lékařství a průmyslu. UP Olomouc, 2015.

Houby produkují nepřeborné množství metabolitů; mnohé z nich jsou využívány v různých odvětvích, a to jak **metabolity primární, tak sekundární (sem patří houbové toxiny a látky využívané v lékařství, popsané v předchozích kapitolách).**

Tabulka 9.1. Příklady primárních a sekundárních metabolitů hub

	Sloučeniny	Produkční organismus
Primární metabolity	Enzymy	<i>Aspergillus</i>
	Alkoholy	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
	Organické kyseliny	<i>Aspergillus/Candida</i>
	Tuky	<i>Candida</i>
	Polymery	<i>Yarrowia</i>
Sekundární metabolity	<b>Antibiotika</b>	
	Penicilín	<i>Penicillium</i>
	Kyselina fusidová	<i>Acremonium fusidioides</i>
	<b>Látky snižující cholesterol</b>	
	Lovastatin	<i>Monascus ruber</i>
	Mevastatin	<i>Penicillium citrinum</i>
	<b>Imunosupresivní látky</b>	
Cyklosporin A	<i>Tolypocladium inflatum</i>	
<b>Rostlinné hormony</b>		
Kyselina gibberelová	<i>Giberella fujikuroi</i>	

Využití hub (ale i jiných organismů) pro výrobu různých organických látek (tzv. white biotechnology) se v současné době prosazuje na úkor chemické výroby - důvody jsou ceny vstupních surovin a produkce odpadních látek, které lze výrazně snížit při využití obnovitelných zdrojů.

Různé kmeny (i v rámci téhož druhu) produkují různé množství metabolitů - proto jsou pro specifické účely (exprese enzymů, produkce sekundárních metabolitů, rychlost růstu) v přírodě vybírány konkrétní kmeny a u kmenů kultivovaných ve sbírkách jsou uplatňovány i genetické modifikace.

V poslední době jsou využívány i genové manipulace => vpravení genů řídících výrobu sloučenin (včetně lidských) nejlépe do *Saccharomyces cerevisiae* (pro její rychlý růst a snadné pěstování).

Tabulka 2.2. Příklady průmyslového využití kvasinek

Organismus	Využití / produkce látek
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Výroba piva, pečení, topivo, alkohol, víno
<i>Saccharomyces bayanus</i>	Výroba vína
<i>Saccharomyces pastorianus</i> (syn. <i>S. carlsbergensis</i> )	Výroba piva
<i>Eremothecium gossypii</i> (syn. <i>Ashbya gossypii</i> )	Riboflavin
<i>Rhodotorula</i>	Karoten
<i>Hansenula, Pichia</i>	SCP
<i>Candida, Cryptococcus, Hansenula, Lipomyces, Rhodotorula</i>	SCP, lipasy
<i>Yarrowia lipolytica</i>	Kyselina citronová
<i>Hansenula, Klloeckera, Pichia, Rhodotorula</i>	Prekurzory steroidů
<i>Saccharomycopsis, Aureobasidium</i>	D-glukonová kyselina
<i>Kluyveromyces fragilis</i>	Invertasa
<i>Saccharomyces diastaticus</i>	Glukoamylasa/vaření piva (ve vývoji)
<i>Yarrowia lipolytica, Torulopsis</i>	Biosurfaktant (liposan)
<i>Bombicola</i>	Glykolipidy

SCP = „single cell“ protein

Barbora Mieslerová, Michaela Sedlářová, Aleš Lebeda: Praktické využití hub a houbám podobných organismů v potravinářství, zemědělství, lékařství a průmyslu. UP Olomouc, 2015.

Různé druhy hub jsou využívány k **produkci vitamínů**. Bohatým zdrojem vitamínů jsou hlívy (některé tropické druhy nebo pěstovaný *Pleurotus pulmonarius* cv. Florida), obsahující kyselinu listovou a vitamíny C (kyselina askorbová), B<sub>1</sub> (thiamin), B<sub>2</sub> (riboflavin), B<sub>3</sub> (= PP, niacin) a B<sub>5</sub> (kys. pantotenová) – množství v 1 kg houbové sušiny pokryje potřebu lidského organismu na několik týdnů.

Významnými producenty vitamínů, využívanými průmyslově, jsou mikromycety:

- **β-karoten** (provitamín [vit. A](#)) produkují *Phycomyces blakesleeanus* a *Blakeslea trispora* (*Mucorales*; vedle nich je využívána mořská řasa *Dunaliella salina*); jsou pěstovány na viskózním médiu s vysokým obsahem živin (lihové výpalky, rostlinné oleje) s antioxidanty (které zabrání rozkladu β-karotenu v aerobním procesu) => následně je β-karoten extrahován z buněk (permeabilizace membrány => extrakce => purifikace).
- **Thiamin** (vit. B<sub>1</sub>) hromadí ve svých buňkách *Saccharomyces cerevisiae*; pro výrobu byly vyselektovány mutanty, které vylučují thiamin do kultivační tekutiny.

Table 11.1. Scale and methods for industrial production of vitamins and vitamin-like compounds with an impact of microorganisms

Compound	Production method				World production (t year <sup>-1</sup> )
	Chemical synthesis	Extraction from plants	Microbial	Combined	
Vitamin C				+	> 100 000
Vitamin B <sub>2</sub>			+		< 10 000
Carotenoids	+	+	+	+	> 1000
PUFAs		+	+		> 1000
Vitamin B <sub>12</sub>			+		> 10

Srovnání výroby vitamínů mikroorganismy (včetně hub) s jinými způsoby.

K.-P. Stahmann: Production of vitamin B<sub>2</sub> and polyunsaturated fatty acid by fungi. In: M. Hofrichter (ed.), *The Mycota X. Industrial applications*, pp. 235–247.

• **Riboflavin** ([vit. B<sub>2</sub>](#)) produkují hlavně další kvasinky, hyfy tvořící *Eremothecium ashbyi* a *E. gossypii* (= *Ashbya gossypii*) pěstované na kultivačním médiu se zdroji uhlíku a dusíku; jako substrát je využíváno sójové maso nebo sójový tuk (tuky si houby naporcují externími lipázami, do buněk vstupují mastné kyseliny). V průběhu kultivačního procesu je sníženo pH, dochází k tvorbě mycelia a spotřebě uhlíku – s jeho vyčerpáním dochází k nejvyšší produkci riboflavinu.

Tabulka 9.6. Produkce vitamínů některými kvasinkami

Organismus	Vitamín
<i>Eremothecium gossypii</i>	Riboflavin
<i>Debaryomyces hansenii</i>	Riboflavin
<i>Eremothecium ashbyii</i>	Riboflavin
<i>Meyerozyma guilliermondii</i>	Riboflavin
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Ergosterol
<i>Rhodotorula</i> sp.	β-karoten

B. Mieslerová, M. Sedlářová, A. Lebeda: Praktické využití hub a houbám podobných organismů v potravinářství, zemědělství, lékařství a průmyslu. UP Olomouc, 2015.

K.-P. Stahmann: Production of vitamin B<sub>2</sub> and polyunsaturated fatty acid by fungi. In: M. Hofrichter (ed.), *The Mycota X. Industrial applications* (2nd ed., Springer Verlag, 2010), pp. 235–247.

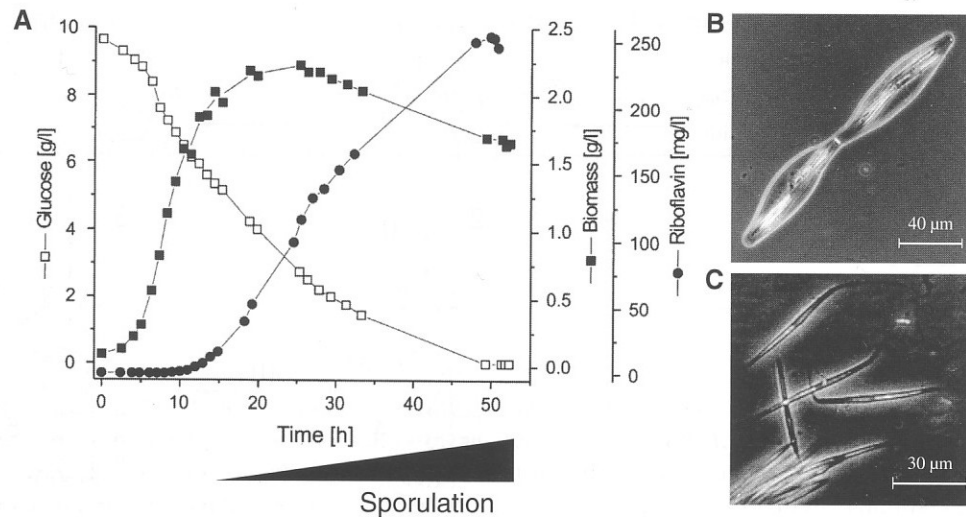


Fig. 11.2. Time course of growth and sporulation in a culture of the *A. gossypii* wild-type strain. Riboflavin production starts when the growth rate declines (A). A medium was

used where other nutrients but not glucose limited growth. Some cells differentiate into asci (B). They liberate spindle-shaped ascospores (C)

Ten se do určité míry hromadí ve vakuolách a nadbytečný je vylučován do média jako žlutý pigment (odtud jeho název); při zahřátí substrátu během fermentace dochází k autolýze buněk a během následného chladnutí pak k formování krystalů v médiu.

Původně se více vyplatila syntetická výroba (v 60. letech fermentace takřka skončila), ale dnes jsou k dispozici kmeny uvedených hub

s bohatou produkcí riboflavinu při fermentaci (využívají se buď tyto kvasinky nebo *Bacillus subtilis*), naopak do útlumu šla chemická výroba a využití *Candida famata* (ta je jako jednobuněčná kvasinka vhodnější pro fermentory s promícháváním a výměnou plynů).

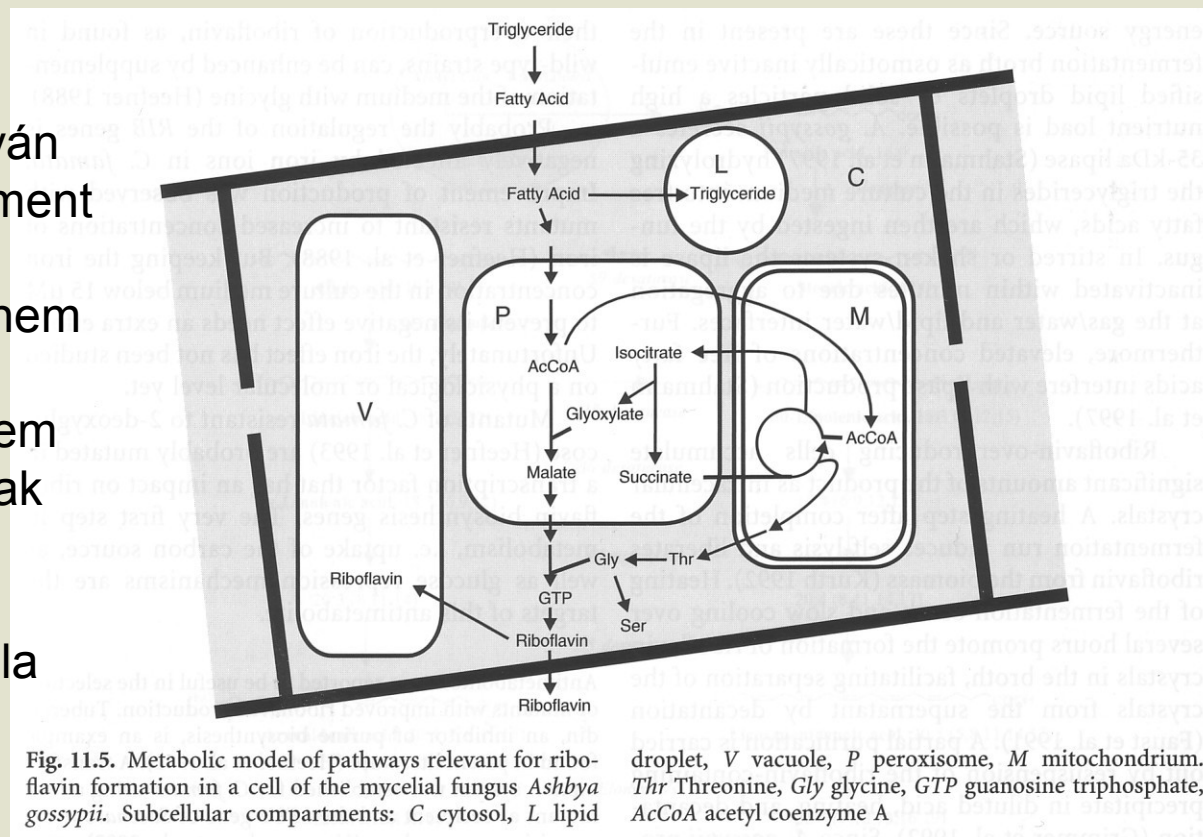


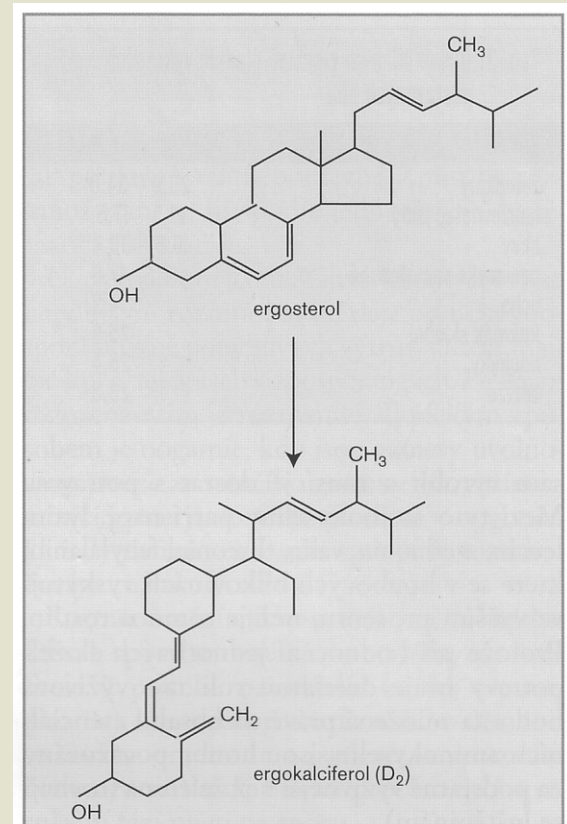
Fig. 11.5. Metabolic model of pathways relevant for riboflavin formation in a cell of the mycelial fungus *Ashbya gossypii*. Subcellular compartments: C cytosol, L lipid droplet, V vacuole, P peroxisome, M mitochondrion. Thr Threonine, Gly glycine, GTP guanosine triphosphate, AcCoA acetyl coenzyme A

K.-P. Stahmann: Production of vitamin B<sub>2</sub> and polyunsaturated fatty acid by fungi. In: M. Hofrichter (ed.), *The Mycota X. Industrial applications* (2nd ed., Springer Verlag, 2010), pp. 235–247.

- Kalciferoly (skupina [vit. D](#)): zejména **ergokalciferol** (vitamín D<sub>2</sub>) se vyrábí z ergosterolu, který je důležitou složkou buněčných stěn hub; získáván je z kmenů kvasinek rodů *Saccharomyces* a *Candida*; produkce probíhá v submerzních míchaných systémech (jako výroba droždí) a protože též jde o intracelulární metabolit, je extrahován po permeabilizaci membrány a vysušení buněk.

- **Biotin** ([vit. H](#) = B<sub>7</sub>) produkují různé kvasinkovité organismy, zejména druhy rodu *Sporobolomyces* (anamorfní *Microbotryomycetes*).

Vladimír Antonín, Ivan Jablonský, Václav Šašek, Zuzana Vančuríková:  
Houby jako lék. Ottovo nakladatelství, Praha, 2013.



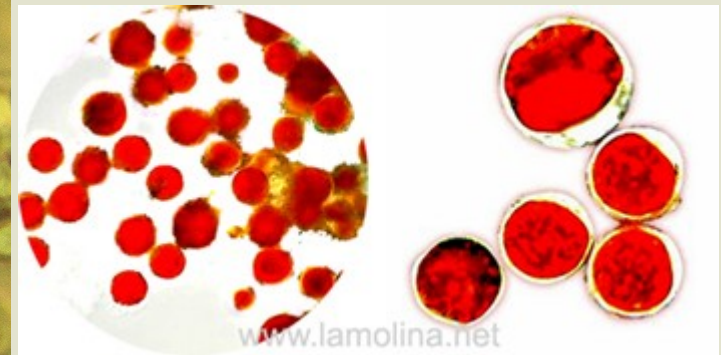
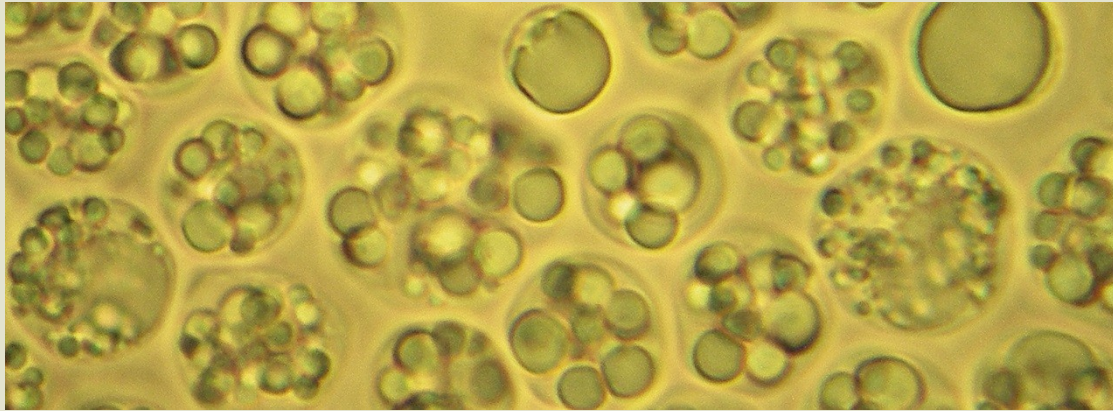
Obr. 4. Biosyntéza vitaminu D<sub>2</sub> z ergosterolu

**Nenasycené mastné kyseliny** (PUFA = polyunsaturated fatty acids) jsou prekurzory pro biosyntézu některých hormonů. Důležitými esenciálními kyselinami jsou linolenové ( $\omega$ -6 a  $\omega$ -3), řazené ke skupině vitamínu F; další  $\omega$ -6 a  $\omega$ -3 kyseliny (ARA = arachidonová, DHA = docosahexaenová) nejsou přímo esenciální (jsou přítomny např. v mateřském mléku).

*Cryptocodinium cohnii*

Zdroj: La Molina,

<http://www.lamolina.net/cryptocodiniumcohnii.html>



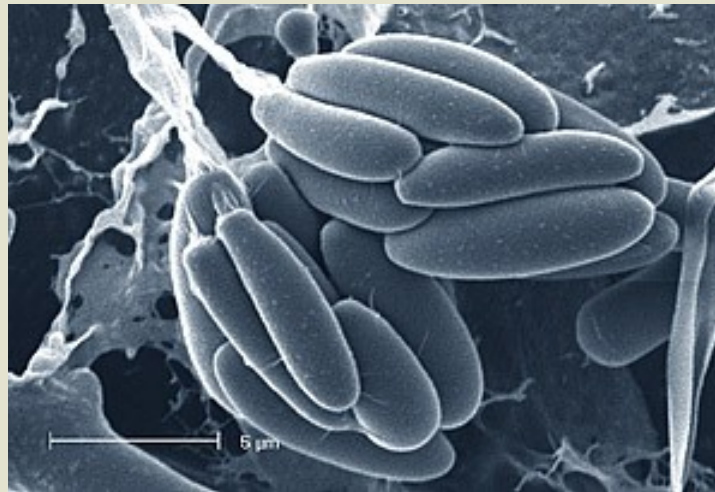
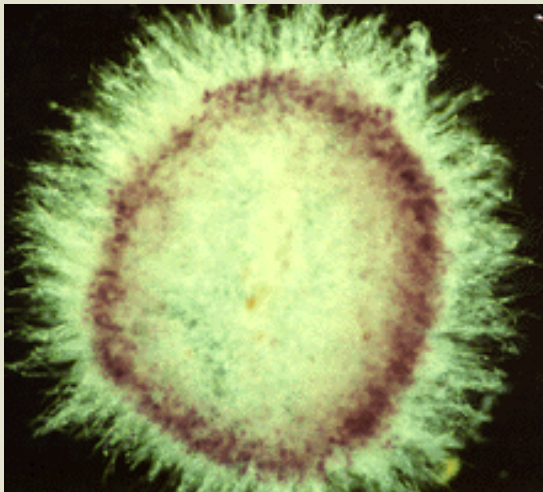
*Schizochytrium* sp. (*Thraustochytriales*) Zdroj: Xiamen Kingdomway, <http://www.kingdomway.com/en/web/en/home>

DHA (přítomnou též v rybách) vyrábějí přirozeně mořská obrněnka *Cryptocodinium cohnii* nebo některé *Thraustochytriales* (*Labyrinthulomycota*), průmyslově pak geneticky modifikované *Saccharomyces cerevisiae* a *Yarrowia lipolytica*.

Pokud jde o ARA, jsme odkázáni pouze na fermentaci; od konce 80. let je jako její producent využívána spájivá houba *Mortierella alpina*. Jako zdroj uhlíku využívá glukózu a podobně jako v případě riboflavinu je produkce nejvyšší, když houba narazí na limit některé živiny (typicky vyčerpání zdrojů dusíku).



Růstovými stimulanty rostlin jsou **gibereliny** ("růstové hormony"). V přírodě jsou to produkty houby **Gibberella fujikuroi** (*Hypocreales*) => může nastat fytopatologický problém, pokud napadené rostliny rostou tak rychle, že to nezvládnou a odumřou (např. „choroba mladé rýže“: prodlužování internodií => kolaps stonku).



Vlevo kolonie rodu *Gibberella*, vpravo mikrokonidie *Fusarium subglutinans* (anamorfa z rodu *Gibberella*).

<http://bccm.belspo.be/newsletter/11-02/bccm02.htm>

Přínosem je tedy aplikace rozumného množství giberelinů, v zemědělství jsou užívány pro podporu dozrávání plodů (k dosažení žádoucí velikosti a kvality). Běžně je využívána kyselina giberelová (= GA<sub>3</sub>, jeden z typů giberelinů), která se dnes získává kultivací druhů rodu *Gibberella* na substrátu se sacharidy a glycerolem, ale s nízkým obsahem dusíku.

U řady hub je využívána **produkce enzymů**, rozkládajících polysacharidy (zejména škrob) na jednoduché cukry, proteiny na aminokyseliny nebo lipidy.

Houby jsou ideálními producenty extra-celulárních enzymů – ty díky tomu mohou být snadno dostupné v kultivačním médiu a musejí být schopné fungovat při různých podmínkách ve vnějším prostředí.

Lars H. Østergaard, Hans Sejr Olsen:  
Industrial applications of fungal enzymes.  
In: M. Hofrichter (ed.), *The Mycota X. Industrial applications* (2nd ed., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010), pp. 269–290.

Poznámka:

AMFEP = Association of manufacturers and formulators of enzyme products

Table 13.2. List of fungal enzymes produced by AMFEP members and their industrial applications

Enzyme	Origin	Industry
Glucose oxidase:EC 1.1.3.4	<i>Aspergillus</i> spp.	Personal care, baking
Laccase:EC 1.10.3.2	<i>Myceliophthora</i> spp., <i>Trametes</i> spp., <i>Thielavia</i> spp.	Personal care, textile
Catalase:EC 1.11.1.6	<i>Aspergillus</i> spp., <i>Scytalidium</i> spp., <i>Thermoascus</i> spp.	Textile
Lipase:EC 3.1.1.3	<i>Aspergillus</i> spp., <i>Candida</i> spp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Humicola</i> spp., <i>Rhizomucor</i> spp., <i>Thermomyces</i> spp.	Detergents, leather, forest products, biocatalysis, baking, dairy, lipid modification
Pectinase:EC 3.1.1.11 EC 3.2.1.15 EC 4.2.2.10	<i>Aspergillus</i> spp.	Fruit juice and wine
Phospholipase:EC 3.1.1.32 EC 3.1.4.1	<i>Aspergillus</i> spp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Thermomyces</i> spp.	Lipid modification
Hemicellulase:EC 3.1.1.73	<i>Aspergillus</i> spp.	Fruit juice and wine
Phytase:EC 3.1.3.8 EC 3.1.3.26	<i>Aspergillus</i> spp., <i>Peniophora</i> spp.	Animal feed
$\alpha$ -Amylase:EC 3.2.1.1	<i>Aspergillus</i> spp., <i>Thermoactinomyces</i> spp.	Forest products, baking, brewing, fruit juice and wine
Amyloglucosidase/ glucoamylase:EC 3.2.1.3	<i>Aspergillus</i> spp., <i>Talaromyces</i> spp., <i>Trichoderma</i> spp.	Personal care, fuel ethanol, sweetener production, distilling, fruit juice and wine
Cellulase:EC 3.2.1.4 EC 3.2.1.91	<i>Humicola</i> spp., <i>Myceliophthora</i> spp., <i>Thielavia</i> spp.	Detergents, textile, forest products, fuel ethanol, distilling
$\beta$ -Glucanase:EC 3.2.1.6	<i>Thermoascus</i> spp., <i>Trichoderma</i> spp.	Animal feed, fuel ethanol, brewing, distilling
Xylanase:EC 3.2.1.8	<i>Actinomadura</i> spp., <i>Aspergillus</i> spp., <i>Thermomyces</i> spp., <i>Trichoderma</i> spp.	Forest products, animal feed, fuel ethanol, baking, brewing, distilling
Lactase:EC 3.2.1.23	<i>Aspergillus</i> spp., <i>Kluyveromyces</i> spp.	Dairy
Pullulanase:EC 3.2.1.41	<i>Hormoconis</i> spp.	Fuel ethanol, distilling
Protease:EC 3.4.2x.xx	<i>Aspergillus</i> spp., <i>Cryphonectria</i> spp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Rhizomucor</i> spp., <i>Trichoderma</i> spp.	Leather, dairy, protein hydrolysis

V průmyslu jsou majoritně využívány enzymy ze skupiny hydroláz (85 % průmyslových enzymů), které jsou také hojně získávány z hub. Některé druhy jsou využívány k výrobě celého komplexu enzymů, např. v případě *Aspergillus oryzae* jsou to proteázy, pektinázy, laktázy, celulózy, glukonázy, amylázy. Široké spektrum enzymů je získáváno z odpadního mycelia *Aspergillus niger* při výrobě kyseliny citronové (viz dále).

Pro průmyslovou výrobu enzymů je využívána hlavně průtoková submerzní kultivace v bioreaktorech, v menší míře lze využívat statickou kultivaci na tekutém médiu (vláknité houby).

Z hlediska bezpečnosti je třeba, aby produkční kmeny byly netoxinogenní, a i tak je ještě na místě výstupní kontrola na přítomnost mykotoxinů (ochratoxin A v případě *Aspergillus niger* nebo *A. oryzae*, trichotheceny u druhů rodu *Trichoderma*, zejména se používá *T. reesei*).

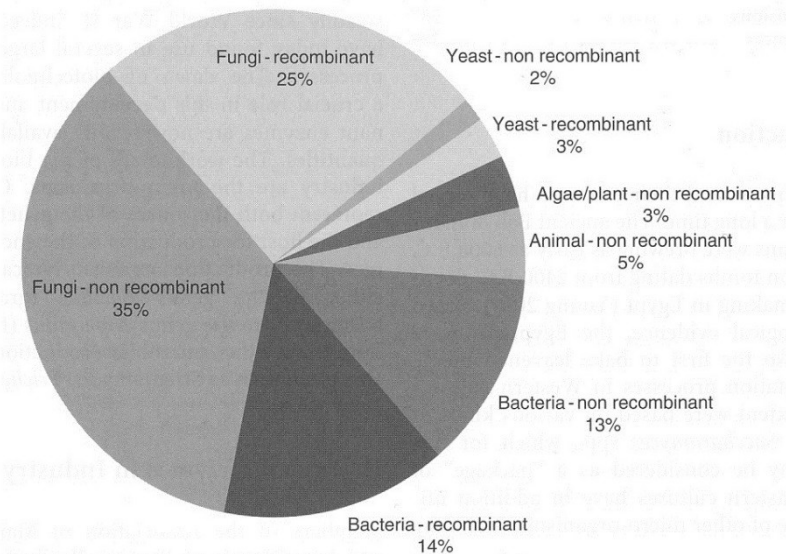


Fig. 13.1. Distribution of host organisms for production of recombinant/non-recombinant industrial enzymes based on data from AMFEP (2009)

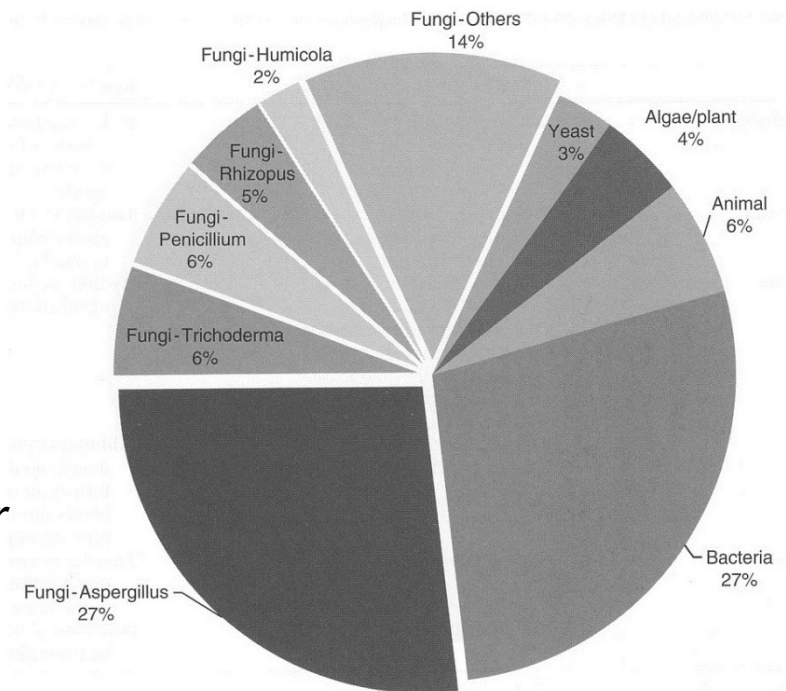


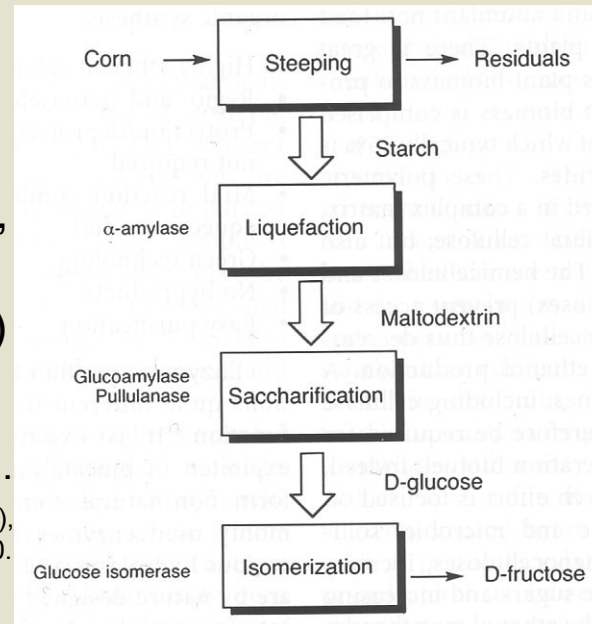
Fig. 13.2. Distribution of industrial enzymes by origin of donor organism based on data from AMFEP (2009) with specification of the top five fungal organisms

Nejvíce (57 %) jsou houbové enzymy využívány v **potravinářství**:

- Škrob je v rostlinném pletivu v podobě nerozpustných granulí; na ty fungují hlavně bakteriální enzymy, výjimkou jsou glukoamylázy. V potravinářství (nechme teď stranou průmyslové zpracování škrobu) je využíván k **výrobě sladidel a sirupů**.

Průmyslové zpracování škrobu při výrobě sladidel.

L.H. Østergaard, H.S. Olsen: Industrial applications of fungal enzymes. In: M. Hofrichter (ed.), The Mycota X. Industrial applications (2nd ed., Springer Verlag, 2010), pp. 269–290.



- V **pekařství** (viz *Houby v potravinářství*) a **výrobě cereálií** jsou využívány  $\alpha$ -amylázy (*Aspergillus oryzae*); chemické oxidanty lze nahradit houbovými (např. oxidáza glukózy z *Aspergillus niger*).
- Při výrobě piva nebo vína (viz též *Houby v potravinářství*) se mohou uplatnit houbové amylázy nebo pektinázy.
- V **mlékárenství** jsou využívány laktázy (*Aspergillus*, *Kluyveromyces*), aby mléčné výrobky byly lépe stravitelné pro malé děti nebo lidi s intolerancí k laktóze. Při výrobě sýrů jsou (kromě žaludečních enzymů) využívány koagulanty houbového původu (*Rhizomucor miehei*, *Cryphonectria parasitica*).
- Při **úpravě tuků a výrobě olejů** se uplatňují lipázy z *Rhizomucor miehei* nebo druhů rodů *Aspergillus*, *Fusarium*, *Humicola* a *Thermomyces*.

Vedle lidské potravy se enzymy uplatňují v **krmivu pro zvířata** (16 %); to je vhodné zejména pro nepřezvýkavé živočichy (brav, drůbež), kteří nedisponují dostatečnou enzymatickou výbavou pro rozklad rostlinných vláken. Pro tento účel jsou do krmiv přidávány:

- xylanázy a glukonázy z *Trichoderma* nebo *Aspergillus* => uvolňování oligosacharidů z rostlinné hmoty;
- fytázy z *Aspergillus* nebo *Peniophora* uvolňují fosfor (přínos pro zvířata a zároveň není prostředí zatěžováno fosforem v „odpadu“).

Zbylých 27 % se využívá v **technických provozech**:

- Základem **produkce buničiny** je oddělení vláken celulózy rozpuštěním ligninu (obvykle chemicky) => ten je pak vymyt varem v  $\text{Na}_2\text{S}$  a  $\text{NaOH}$ , hnědé fenolové látky pak chlorem => to ale vede k znečištění odpadní vody, proto je dnes chlor nahrazován  $\text{ClO}_2$ , případně  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2$  nebo  $\text{O}_3$ . Alternativním biologickým procesem je využití bílé hniloby *Phanerochaete chrysosporium* a *Trametes versicolor*, ale je třeba proces včas zarazit, aby po ligninu nedošlo k rozkladu celulózy.
- Houby mohou být dále využity v **papírenském průmyslu** pro dělení vláken, tzv. biomechanický „pulping“ (pro tento účel se používá *Lentinula edodes*, který dobře snižuje obsah ligninu bez ovlivnění obsahu celulózy), přípravu bělení (rozklad hemicelulóz => uvolnění ligninu, na to se hodí xylanázy hub z rodů *Trichoderma*, *Aspergillus* nebo *Thermomyces*) a v neposlední řadě rozklad pryskyřičné hmoty („pitch“).

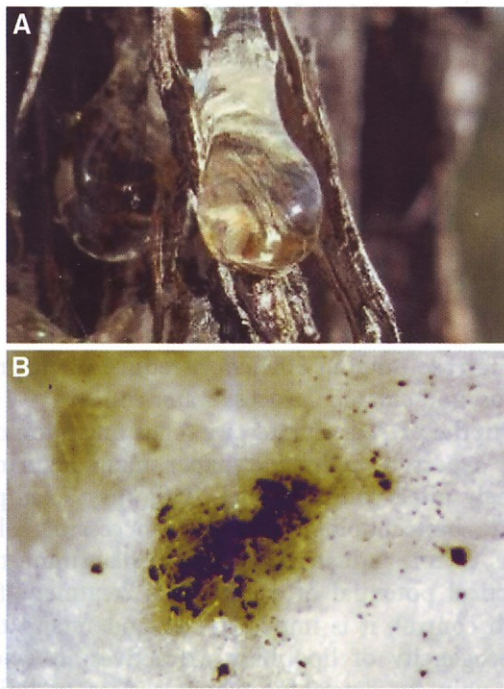


Fig. 17.1. Resin exudate on a conifer tree (A) and pitch deposit in a TCF pulp (B); courtesy of M.J. Ortega and J. Romero, respectively

enzymes for pitch control... In: The Mycota X, p. 357–377

Zejména tato hmota, tvořená různorodou směsí glyceridů, mastných kyselin, steroidů, esterů, vosků aj. (různé složení dle dřevin, ale poměr látek se může různit i v rámci jednoho stromu) představuje značný problém v průmyslové výrobě buničiny a papíru (zanášení strojů, snížení kvality výrobku). Přirozeně se její obsah snižuje odležením dřeva nebo štěpkou před vstupem do výrobního procesu díky rozkladnému působení mikroorganismů – to ale působí i na samotnou surovinu, proto je vhodné hledat i jiné cesty. Nadějně se jeví houby z „tracheomykózních“ rodů, prorůstající cévy, dřevní paprsky a pryskyřičné kanálky (především *Ophiostoma piliferum*), které navíc mohou být časnými kolonizátory sklizeného dřeva; z pozdějších sukcesních stadií mohou rozkládat pryskyřici i některé houby působící bílou hnilobu (zde se především hodí

selektivní rozkladači, preferující rozklad ligninu a hemi-celulózu oproti celulóze, jejíž rozklad je krajně nežádoucí). Další možností je přímo uplatnit komerčně produkováné enzymy získané z hub (oproti inokulaci hub samotných mají enzymy vyšší specifitu a kratší dobu působení) – tradičně jsou využívány hydrolázy, konkrétně lipázy (přirozeně je tvoří např. druhy rodů *Candida*, *Fusarium*, *Humicola*, *Thermomyces*, *Aspergillus*), v poslední době se mohutně rozvíjí využití lakáz (patří mezi oxidoreduktázy, tvoří je např. outkovky *Trametes versicolor* a *Pycnoporus cinnabarinus*).

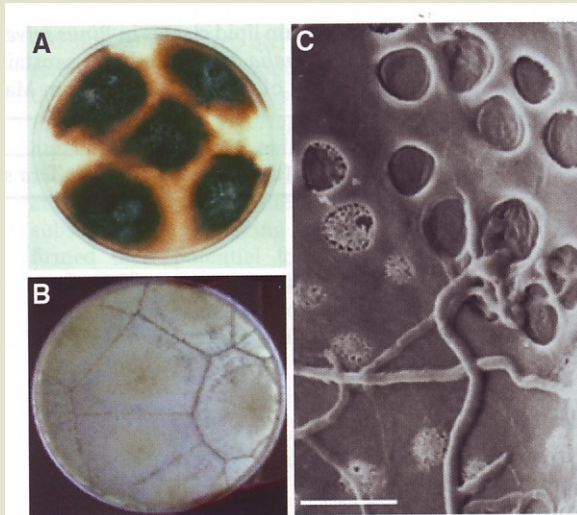
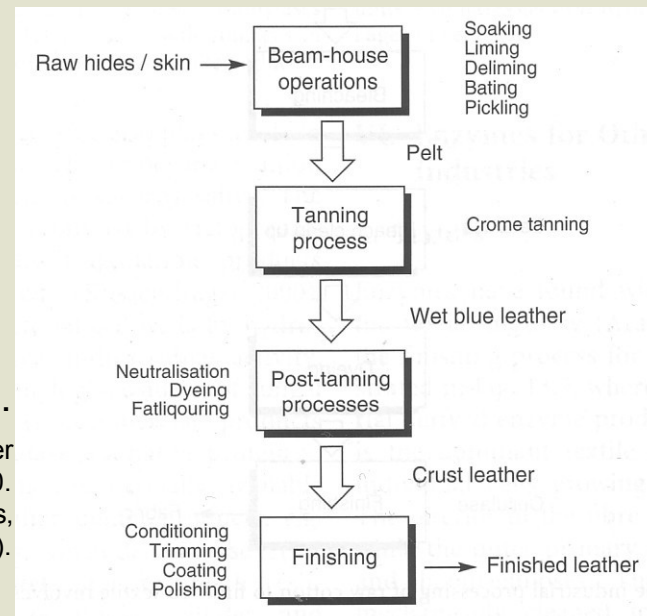


Fig. 17.4. Wild (A) and albino (B) *Ophiostoma piliferum* strains, and typical growth of the albino fungal strain through wood vessels as revealed by scanning electron microscopy (C; bar 10 μm); courtesy of R. Farrell

- Při výrobě **textilních vláken** dochází k odbourávání ne-celulózních složek (amylázy a pektinázy hlavně bakteriálního původu), bělení a čištění (katalázy z *Aspergillus*, *Scytalidium*, *Thermoascus*) a v konečné úpravě se uplatní celulózy (efektivní z *Trichoderma reesei*).

- **Zpracování kůže** zahrnuje přeměnu proteinů v procesech přípravy surové kůže, moření (aby byla poddajná), vydělávání a máčení; uplatňují se zejména proteázy rozkládající nekolagenní proteiny, procesy urychlují i lipázy rozrušující tukové látky.

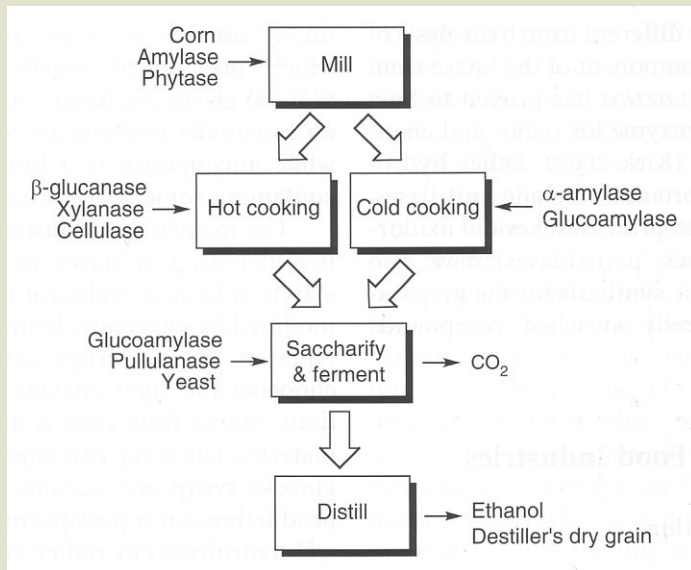
#### Zpracování kůže.



L.H. Østergaard, H.S. Olsen: Industrial applications of fungal enzymes. In: M. Hofrichter (ed.), *The Mycota X. Industrial applications* (2nd ed., Springer, 2010), pp. 269–290.  
 Upraveno podle Thanikaivelan et al.: Recent trends in leather making: processes, problems, and pathways. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 35: 37–79 (2005).

- Ve výrobě **detergentů (čisticích prostředků)**, rozkládajících látky typu proteinů, tuků a sacharidů (hlavně z potravy, v případě pracích prášků též produkty těla) na jednodušší rozpustné sloučeniny, se uplatňují hlavně bakterie, z produktů hub třeba lipázy *Thermomyces lanuginosus*.

- Ve výrobě **prostředků osobní hygieny**, hlavně v zubních pastách, se uplatní enzymy rozkládající cukry, jež jsou živnou půdou pro bakterie (*Streptococcus*, *Lactobacillus*), nebo lysozomy hydrolyzující buněčnou stěnu bakterií; doplňovat je mohou třeba lakázy z outkovek pro svěží dech. :o)



- Při výrobě **etanolu** (bioléh) a **paliv z biomasy** (je třeba hydrolýza škrobu na využitelné cukry) se využívá synergický efekt **glukoamyláz, α-amyláz a fytáz** (uvolňují vápník pro dobrou funkci amyláz), z uvolněných dextrinů pak fermentací (kvasinky) vzniká etanol. Moderní trend ve výrobě biopaliv je využití **celulolytických enzymů** (celulóza a příbuzné polysacharidy tvoří 75 % hmoty buněčné stěny).

Proces výroby etanolu s využitím suchého mletí.

L.H. Østergaard, H.S. Olsen: Industrial applications of fungal enzymes. In: M. Hofrichter (ed.), The Mycota X. Industrial applications, pp. 269–290.  
Upraveno podle Bothast et Schlicher: Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol. Appl. Microbiol. Biotechnol. 67: 19–25 (2005).

- Nakonec je možno zmínit zpracování **odpadních produktů**, enzymatický rozklad se může hodit v zahradnictví, lesnictví nebo při čištění vod (*viz dále v části Biodegradace, remediace*).



Nejdůležitější enzymy se uplatňují zejména takto:

- amylázy – hydrolýza škrobu (příprava adheziv, čištění rostlinných džusů);
- invertáza – katalýza rozkladu glukózy a fruktózy, příprava cukrovinek a sirupů; s využitím *Aspergillus niger* se získává [glukózový sirup](#) (97 % glukózy), s *A. oryzae* maltózový sirup (přes 50 % maltózy);
- celulózy – hydrolýza celulózy na celobiózu, výroba potravin;
- $\alpha$ -galaktosidáza – rozklad galaktózy, prevence proti nadýmání z fazolí nebo brukvovité zeleniny;
- peroxidáza – odbarvování látek;
- proteázy – měkčení kůže, čištění piva, ztekucování lepidel, produkce detergentů (v kyselém prostředí se uplatňují proteázy hub, v zásaditém proteázy bakterií);
- pektinázy – čištění džusů, macerace stonků při výrobě lněných vláken;
- lipázy – hydrolýza lipidů na glycerol a mastné kyseliny, zlepšování chuti potravin.

Tabulka 9.5. Příklady průmyslových enzymů získávaných z hub

Enzym	Využití	Produkční druh
$\alpha$ -amylasa	Výroba chleba	<i>Aspergillus niger</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. awamori</i>
Glukoamylasa	Výroba sladu	<i>A. niger</i> , <i>A. foetidus</i>
Laktasa	Přídavek do potravin	<i>A. oryzae</i> , <i>A. niger</i>
	Pomoc při zažívání	<i>Kluyveromyces lactis</i>
Invertasa	Konverze sacharózy	<i>A. oryzae</i> , <i>A. niger</i> , <i>S. cerevisiae</i>
$\alpha$ -galaktozidasa	Prevence proti nadýmání	<i>A. niger</i>
Pektinasy	Úprava ovoce	<i>A. niger</i> , <i>A. wentii</i> , <i>Rhizopus</i> sp.
Lipasy	Dodatek pro pankreatickou lipázu	<i>P. roquefortii</i> , <i>Rhizopus delemar</i> , <i>A. niger</i> , <i>Yarrowia</i>
Penicilín acylasy	Semisyntetický penicilín	<i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>A. ochraceus</i>
Kyselé proteasy	Výroba chleba, chladová úprava piva	<i>A. saitoi</i> , <i>A. niger</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>Rhizomucor pusilus</i>
Mikrobiální renin	Výroba sýrů	<i>Cryptonectria parasitica</i> , <i>Rhizomucor meihei</i> , <i>R. pusilus</i>
Celulasy	Výzkum	<i>Trichoderma viride</i> , <i>A. niger</i>

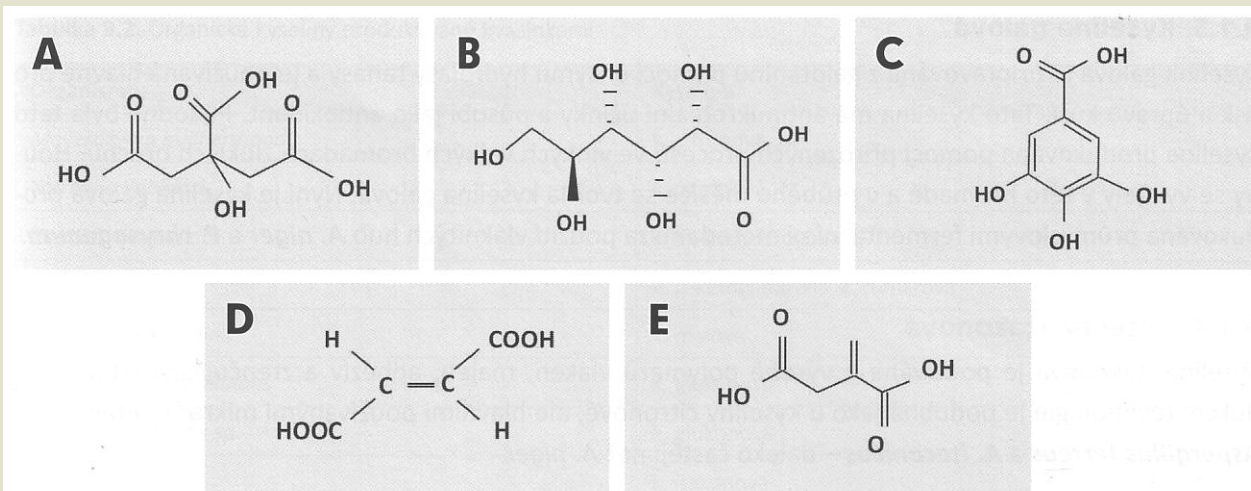
B. Mieslerová, M. Sedlářová, A. Lebeda: Praktické využití hub a houbám podobných organismů v potravinářství, zemědělství, lékařství a průmyslu.

Za využití druhů rodů *Aspergillus*, *Penicillium*, kvasinek a některých spájivých hub jsou vyráběny různé **organické kyseliny** (přírodním kmenům schopnost jejich produkce umožňuje růst při nízkém pH).

C. P. Kubicek, P. Punt, J. Visser:  
Production of organic acids by filamentous fungi. In: M. Hofrichter (ed.), *The Mycota X. Industrial applications*, pp. 215–234.

**Table 10.1.** Organic acids for which fungal production has been reported

Acid	Producing organism(s)	Application(s)
Citric	<i>Aspergillus niger</i> <i>Yarrowia lipolytica</i>	Many (see Table 10.2)
Gluconic	<i>Aspergillus niger</i>	Food additive Cleaning metal surfaces and glassware Therapeutic metal salts
Itaconic	<i>Aspergillus terreus</i> <i>Aspergillus itaconicus</i>	Co-polymer Detergents
Kojic	<i>Aspergillus oryzae</i> <i>Aspergillus flavus</i>	Skin whitening Precursor for food additives
Malic	<i>Aspergillus</i> spp. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Food additive Synthetic polymers
Fumaric	<i>Rhizopus oryzae</i>	Food additive Synthetic polymers
Lactic	<i>Rhizopus</i> spp.	Food additive Synthetic polymers
Gallic	<i>Aspergillus</i> spp.	Dyeing
Epoxy succinic	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Precursor for tartaric acid



**Obrázek 9.1.** Strukturální vzorce organických kyselin vyráběných pomocí hub: (A) kyselina citronová; (B) kyselina glukonová; (C) kyselina gallová; (D) kyselina itakonová; (E) kyselina fumarová. Překresleno: B. Mieslerová. Zdroj: Wikipedie.

**Tabulka 9.2.** Organické kyseliny produkované kvasinkami

Mieslerová et al.: *Praktické využití hub ...*

Organismus	Kyselina
<i>Meyerozyma guilliermondii</i>	k. citronová
<i>Yarrowia lipolytica</i>	k. citronová
<i>Candida catenulata</i>	k. L (+) isocitronová
<i>Candida blankii</i>	k. α-ketoglutarová, k. fumarová
<i>Cyberlindnera jadinii</i>	k. malová
<i>Aureobasidium pullulans</i>	k. glukonová
<i>Saccharomycopsis</i> sp.	k. glukonová
<i>Candida</i> sp.	k. itakonová
<i>Rhodotorula</i> sp.	k. itakonová

Table 10.2. Applications of citric acid

Application	Function/property
Food/beverage	pH adjustment, provides acidity, provides tart taste, enhances flavour, reduces sweetness, antioxidant (stabilises colour/taste/flavour), preservative (inactivates micro-organisms)
Pharmaceutical/cosmetic	pH adjustment, provides effervescence together with carbon dioxide, anticoagulant, antioxidant (e.g. in vitamin preparations), facilitates rapid dissolution of active ingredients
Technical	pH adjustment, removal of oxidation products from metal surfaces, complexing agent in textiles and oil well treatment, retards setting of concrete, hardener in adhesives

Široké uplatnění má **kyselina citronová**, a to nejen v potravinářství (složka jídel a nápojů), ale jako přísada do léků, kosmetických přípravků nebo k čištění kovů.

Tuto látku produkují prakticky všechny aerobní mikroorganismy v citrátovém cyklu, ale pro průmyslovou výrobu jsou využívány houby, které ji tvoří extracelulárně ve velké koncentraci – hlavně *Aspergillus niger*, dále *Aspergillus wentii* a v poslední době i kvasinky *Yarrowia lipolytica*. (Odhad roční produkce ve světě je 1,5 milionu tun, mezi 80-90 % všech organických kyselin.)

Christian P. Kubicek, Peter Punt, Jaap Visser:  
Production of organic acids by filamentous fungi.  
In: M. Hofrichter (ed.), The Mycota X. Industrial applications (2nd ed., 2010), pp. 215–234.

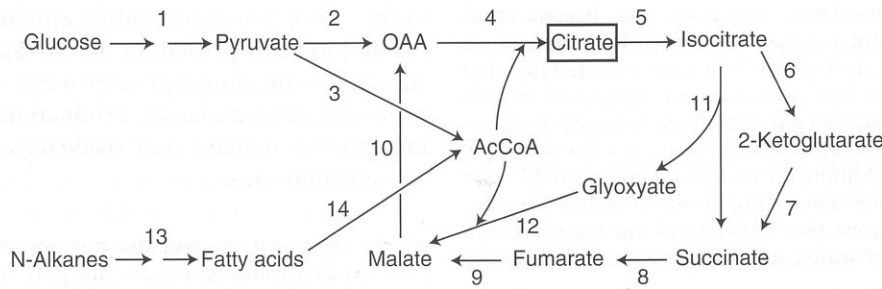


Fig. 10.2. Simplified scheme of the central metabolism involved in citric acid biosynthesis from glucose or *n*-alkanes by *Yarrowia lipolytica*. The following steps are depicted: 1 glycolysis, 2 pyruvate carboxylase, 3 pyruvate dehydrogenase, 4 citrate synthase, 5 aconitase, 6 isocitrate

dehydrogenase, 7 2-ketoglutarate dehydrogenase, 8 succinate dehydrogenase, 9 fumarase, 10 malate dehydrogenase, 11 isocitrate lyase, 12 malate synthase, 13 initial *n*-alkane catabolism, 14  $\beta$ -oxidation

Kyselina se vyrábí převážně submerzní fermentací.

Ta probíhá 4-6 dní za neustálého míchání (mechanického nebo probubláváním vzduchu), při vhodném pH (kolem 5 pro *Yarrowia*, pro *Aspergillus* i nižší) a teplotě kolem 30 °C v roztoku

sacharózy nebo dextrózového sirupu, kam jsou přidány další ...

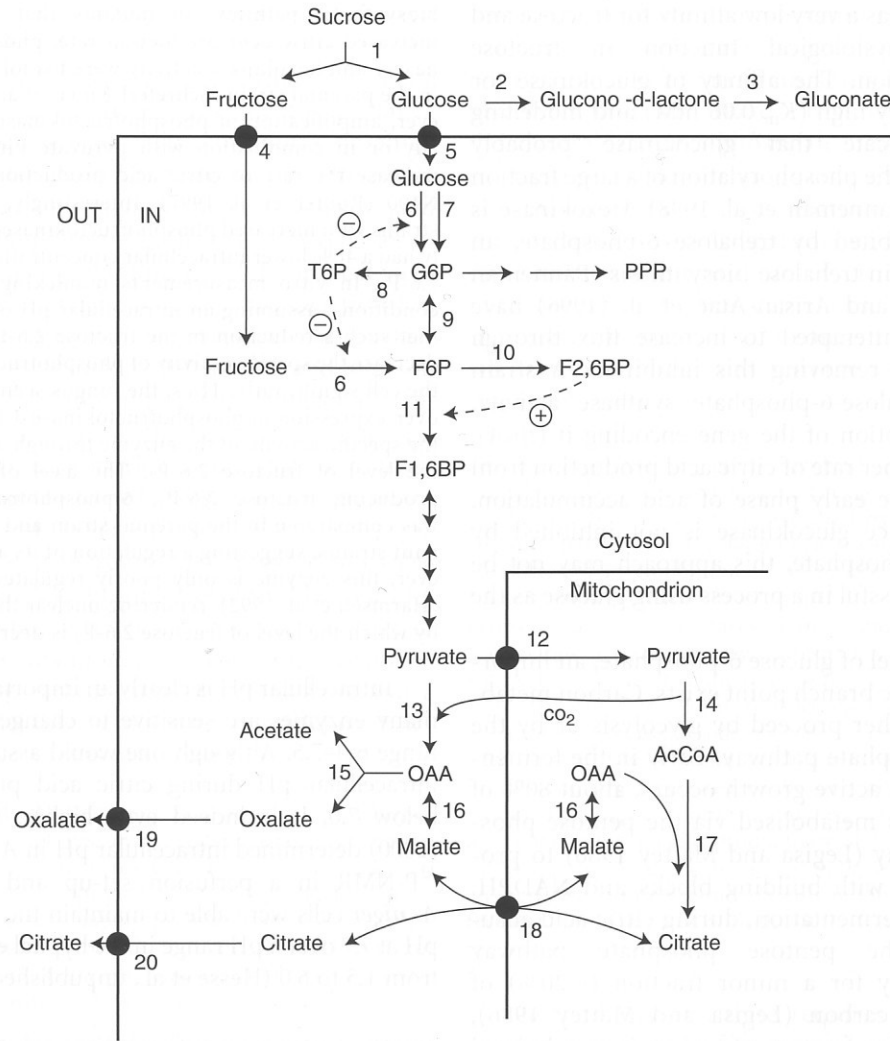


Fig. 10.1. Schematic representation of metabolic steps and some regulatory interactions in the biosynthesis of organic acids in *Aspergillus niger*. The following steps are depicted: 1 invertase, 2 glucose oxidase, 3 lactonase, 4 fructose transport, 5 glucose transport, 6 hexokinase, 7 glucokinase, 8 trehalose 6-phosphate synthase, 9 phosphoglucose isomerase, 10 6-phosphofructo-2-kinase, 11 6-phosphofructo-1-kinase (phosphofructokinase), 12 pyruvate trans-

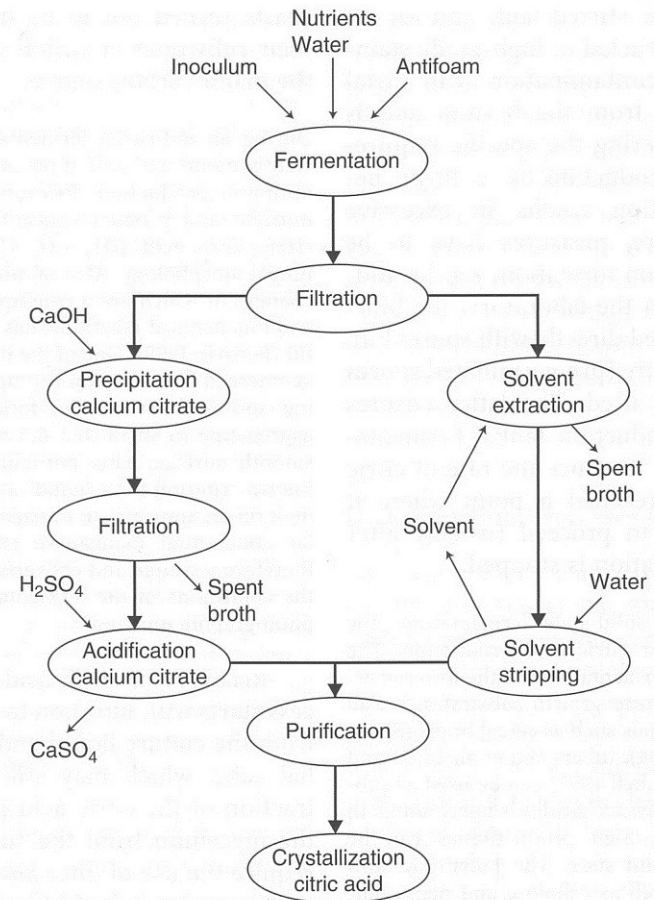
port, 13 pyruvate carboxylase, 14 pyruvate dehydrogenase, 15 oxaloacetate hydrolase, 16 malate dehydrogenase, 17 citrate synthase, 18 tricarboxylate carrier, 19 oxalate transport, 20 citrate transport. PPP Pentose phosphate pathway. Dashed arrows Regulatory interactions. For convenience, glycolytic metabolism from fructose 1,6-P<sub>2</sub> (F1,6BP) to pyruvate is not fully depicted. Acetate released by oxaloacetate hydrolase is reconsumed (Ruijter et al. 1999)

... potřebné živiny a inokulum ve formě pelet (kuliček). Největší množství kyseliny houba tvoří po vyčerpání některých základních živin: fosforu a dusíku (bývá dodáván hlavně ve formě amonných solí). Během jejich čerpání klesá v médiu pH, což napomáhá produkci právě kyseliny citronové (při nízkém pH *Aspergillus niger* málo tvoří jiné kyseliny, jako glukonovou nebo šťavelovou). Kladný vliv na fyziologické procesy hub ve vztahu k produkci kyseliny má i vhodné zastoupení stopových prvků (Mn, Fe, Zn, Cu) v médiu. Kritickým faktorem pro přeměnu sacharidů v kys. citronovou je dostatečný tlak rozpuštěného kyslíku (DOT = dissolved oxygen tension), proto je důležité stabilní provzdušňování.

Alternativou je povrchová kultivace na melasovém médiu, nad které je proudem vzduchu zanášeno inokulum (spory); po 8-12 dnech je z fermentátu odděleno mycelium a separovány kyseliny. Touto cestou je při nízkém pH (klesá na 3 až 2) možno získávat i další kyseliny (fumarovou, oxaloctovou), na druhou stranu jde o náročnější proces než v případě submerzní fermentace.

Ve východní Asii je využíván solid-state proces, při kterém kultivačním substrátem jsou otruby nebo zbytky ovoce (jde o odpad, výhodou jsou nízké vstupní náklady). Tento způsob fermentace je využíván pro *Aspergillus* (též označován „koji process“), zatímco kvasinky jsou pěstovány výhradně v submerzní kultuře.

Po skončení submerzní nebo povrchové fermentace v/na tekutém médiu následuje filtrace => separace mycelia z tekutiny s obsahem kys. citronové. Z pevného substrátu lze výsledný produkt dostat vysrážením (přidání vápna => vysrážení hydrogencitronanu vápenatého => filtrace => rozklad citrónanu kyselinou sírovou za vzniku kys. citronové) nebo extrakcí za pomoci rozpouštědla (nepotřebuje značné dodávky vápna a  $H_2SO_4$ ).



C. P. Kubicek, P. Punt, J. Visser: Production of organic acids by filamentous fungi.

In: M. Hofrichter (ed.), The Mycota X. Industrial applications, pp. 215–234.

Fig. 10.3. Flow diagram of citric acid fermentation and the recovery of citric acid. Two alternative procedures are shown for the downstream processing: the traditional precipitation method (left) and the solvent extraction process (right)

**Kyselina glukonová** je známá jako široce využívané aditivum v potravinách, její rozpustné soli s kovy (Ca, Cu, Zn) jsou obsaženy v doplňcích stravy. Mimoto může být i aditivem v cementu, využívá se k čištění kovových povrchů (skoro polovina celkové produkce, odhadované ve světě na 50-100 tisíc tun ročně) nebo je součástí léčiv kompenzujících nedostatek železa nebo vápníku.

Kyselinu glukonovou vyrábí *Aspergillus niger* (už od 30. let), méně se používá *Penicillium rubens* nebo bakterie rodů *Pseudomonas* a *Gluconobacter*, v poslední době též kvasinka *Aureobasidium pullulans*. Základem výrobního procesu je oxidace glukózy; optimální pH kolem 5 je udržováno přidáním bazických sloučenin ( $\text{CaCO}_3$  nebo NaOH) k neutralizaci vznikající kyseliny => výstupní produkt je nejčastěji ve formě glukonátu sodného, který je po odfiltrování mycelia vysrážen z roztoku.

**Kyselina itakonová** je mírně jedovatá, proto se s ní neseznamujeme v potravinách, ale slouží jako surovina k přípravě syntetických polymerů vláken, ztenčujících látek a adheziv.

Její výroba (70-80 tisíc tun ročně) probíhá submersní fermentací podobně jako u kys. citronové (katabolismus cukrů) s využitím *Aspergillus terreus* a *A. itaconicus*. V prostředí je optimální pH 2, teplota 35-42 °C a obsah stopových prvků Zn a Fe. Jelikož kyselina itakonová snadno krystalizuje, získává se z média přímou krystalizací.

Další organické kyseliny vyráběné pomocí hub:

- **kyselina galová** – antioxidant s antimikrobiálními účinky, využívá se pro úpravu kůží; dříve byla získávána ze žluklých ořechů, nyní fermentací *Aspergillus niger* a *Penicillium chrysogenum*;
- **kyselina fumarová** – potravinářské aditivum (stejně jako kys. jablečná) nebo zvlhčovač; vyrábí ji *Rhizopus oryzae*, případně druhy rodu *Mucor*, ale zatím se vyplatí spíše chemická výroba;
- **kyselina jablečná** se také vyrábí spíše chemicky (transformací kys. fumarové), případně může být získávána z cukerných substrátů s využitím druhů rodu *Aspergillus* nebo bakterií (*Brevibacterium flavum*);
- **kyselina kojová** (kojic acid) – prostředek k bělení kůže, méně využívána jako polotovar při výrobě dochucovadel; vyrábí ji *Aspergillus oryzae* a *A. flavus* přeměnou glukózy.

S pomocí druhů rodu *Aspergillus* jsou vyráběny i některé další kyseliny, jako vinná, šťavelová nebo mléčná (tu ale standardně vyrábějí hlavně bakterie mléčného kvašení). V menší míře jsou pro získávání organických kyselin využívány kvasinky.

Z **produkce alkoholů** je nejvýznamnější tvorba etanolu (*popsaná podrobně v kapitole Houby v potravinářství*). Průmyslový alkohol je využíván v různých oborech; mimo jiné bylo testováno jeho přidání do pohonných hmot (10-20 % etanolu vedle benzínu – tzv. gasohol), ale výrobní náklady byly vyšší než na výrobu samotného benzínu.

Tabulka 9.3. Produkce etanolu kvasinkami za použití potenciálních surovin

Organismus	Substrát (surovina)
<b>Produkční systémy</b>	
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	třtinová melasa, kukuřice a obilí
<b>Experimentální systémy</b>	
<i>Candida tropicalis</i>	hemicelulóza hydrolyzát
<i>Candida wickerhamii</i>	celobióza
<i>Kluyveromyces marxianus</i>	třtinový sirup
<i>Pachysolen tannophilus</i>	xylóza
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	syrovátkový hydrolyzát, xylóza, xylóza isomerasa

Kmeny různých kvasinek jsou využívány k produkci **polyhydrických alkoholů** – glycerolu, erythritolu, arabitolu, mannitolu, xylitolu.

Tabulka 9.4. Produkce polyhydrických alkoholů kvasinkami

Alkohol	Druh produkčního organismu
Glycerol	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Zygosaccharomyces bailii</i> , <i>Z. rouxii</i> , <i>Candida magnoliae</i>
Arabitol	<i>Saccharomycopsis capsularis</i> , <i>Hyphopichia burtonii</i>
Erythritol	<i>Candida zeylanoides</i> , <i>Trichosporonoides oedocephalis</i>
Manitol	<i>Yarrowia lipolytica</i>

Barbora Mieslerová, Michaela Sedlářová, Aleš Lebeda: Praktické využití hub a houbám podobných organismů v potravinářství, zemědělství, lékařství a průmyslu. UP Olomouc, 2015.



V potravinářství (ztužovací gely), lékařských a kosmetických přípravcích jsou užívány **polysacharidy**:

- značný průmyslový potenciál má **chitosan** (nerozpustný derivát chitinu), a to jako součást preparátů na hubnutí (váže tuky), lepidlo v chirurgii nebo při čištění splašků (váže těžké kovy); běžně je získáván deacetylací chitinu ze skořápek korýšů, ale téměř čistý chitosan lze extrahovat z hyf spájitvých hub (*Amylomyces rouxii* a *Absidia coerulea*, *Mucorales*).
- v gelech jsou využívány skleroglukany (*Sclerotium glaucanicum*, *S. rolfsii*);
- pululan (*Aureobasidium pullulans*) se využívá ke stabilizaci zubních past;
- fosfomanany (*Hansenula*) při výrobě gum rozpustných ve vodě; další kvasinky (*Hansenula*, *Pichia*, *Pachysolen*) produkují fosforylované manózy, odolné k rozkladu mikroby (zahušťovadlo a stabilizační látka);
- levany (produkují je bakterie, kvasinky i druhy rodu *Aspergillus*) mají široké využití v potravinářství, farmacii, kosmetice (zahušťovadla, průmyslové gumy, náhrada krevní plazmy);
- charakter polysacharidů mají i pleuran, lentinan a schizophylan (*viz cytostatika a imunostimulátory v kapitole Léčivé látky hub a využití ve farmacii*).

Jako **oleaginní** jsou označovány organismy, které ve větší míře produkují **tuky**. Jejich tvorby je dosahováno na médiích obsahujících bohaté zdroje uhlíku s limitním množstvím jiné živiny (obvykle N) – po jejím vyčerpání začne syntéza zásobních tuků.

Ne všechny organismy se ekonomicky vyplatí; pro průmyslovou produkci jsou využívány některé vláknité houby (širší spektrum lipidů a mastných kyselin) a kvasinky (*Candida curvata* je zdrojem tuku podobného kakaovému máslu).

Vzhledem k nízké ceně médií, rychlému růstu a nezávislosti na podmínkách prostředí (ve srovnání s planými houbami) jsou k produkci **houbových příchutí a aromat** využívány submezní kultury hub. Spektrum takto dostupných látek je docela široké - z různých druhů bylo získáno celkem 40 alkoholů, 11 aldehydů, 12 ketonů, 14 laktonů a 19 esterů.

Tabulka 9.7. Vonné a chuťové látky produkované houbami

Organismus	Vůně
<i>Alloascoidea hylecoeti</i>	Růže, ovoce
<i>Huntiella moniliformis</i>	Banán, broskev, hruška, růže
<i>Ceratocystis variopora</i>	Pelargonie
<i>Inocybe corydalina</i>	Jasmín, ovoce
<i>Penicillium decumbens</i>	Jablko, houby, růže, borovice
<i>Sporobolomyces odorus</i>	Broskev
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Med, růže, ovoce, anýz
<i>Trichoderma viride</i>	Kokos

Barbora Mieslerová, Michaela Sedlářová, Aleš Lebeda: Praktické využití hub a houbám podobných organismů v potravinářství, zemědělství, lékařství a průmyslu. UP Olomouc, 2015.

Na druhou stranu výtěžnost může být různá - dost látek obsahují myceliální pelety hlív (*Pleurotus florida*, *P. ostreatus*), naopak třeba *Fistulina hepatica* má v submerzní nebo povrchové kultuře vonných látek až o dva řády méně než v přírodních plodnicích.

Význam mají hlavně producenti specifických aromat - příkladem je hnízdovka *Nidula niveo-tomentosa*, syntetizující „malinové“ ketony a alkoholy (navíc bylo zjištěno výrazné zvýšení produkce při ozáření UV - zřejmě v souvislosti s indukcí

tvorby některých enzymů nebo proteinů tvořících se ve stresových podmínkách).

Jen pro zajímavost, kdyby se tyto látky měly získávat z malin, stálo by to řádově miliony dolarů na kilogram...

Marco A. Fraatz, Holger Zorn:  
Fungal flavours. In: M. Hofrichter (ed.),  
The Mycota X. Industrial applications  
(2nd ed., Springer Verlag, Berlin,  
Heidelberg, 2010), pp. 250–268.

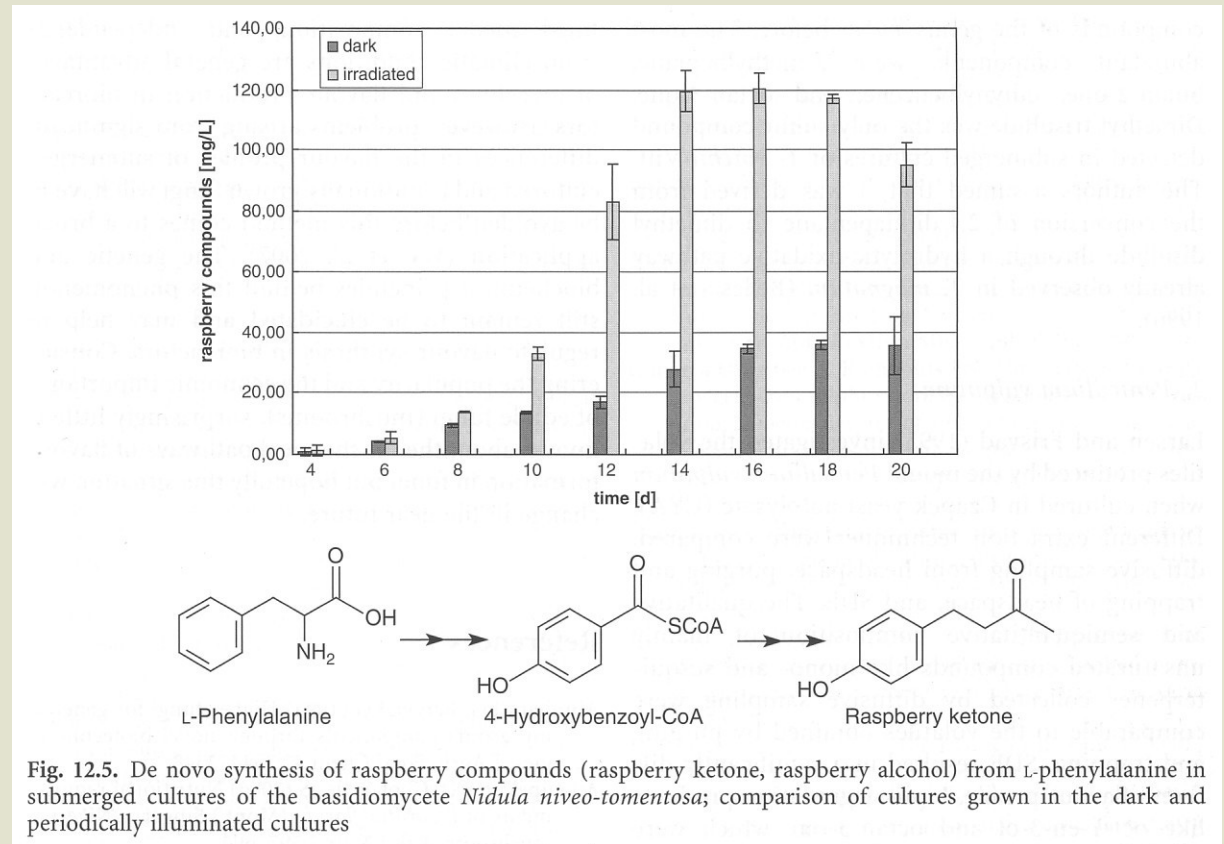


Fig. 12.5. De novo synthesis of raspberry compounds (raspberry ketone, raspberry alcohol) from L-phenylalanine in submerged cultures of the basidiomycete *Nidula niveo-tomentosa*; comparison of cultures grown in the dark and periodically illuminated cultures

Málokoho by možná napadlo využití hub v **parfumerii** – konkrétně jde o agarwood, vonné tmavé pryskyřičné jádrové dřevo stromů z rodu *Aquilaria*, napadené houbou *Phialoacremonium parasiticum* (= *Phialophora parasitica*, anamorfa z řádu *Diaporthales*), ze kterého jsou destilovány vonné oleje s obsahem unikátních látek (terpenoidy, chromony, anisylaceton). Spolu s dávným využitím v asijské medicíně je ovšem agarwood předmětem černého trhu a ilegálního kácení; naštěstí lze dnes stromy rodu *Aquilaria* pěstovat a houbou uměle infikovat.

V kosmetickém a potravinářském průmyslu je využívána řada dalších látek s výraznou chutí či vůní, produkovaných různými druhy vřeckatých i stopkovýtrusných hub.



Zejména v historii byly houby využívány také jako **zdroj barviv**. Ve středověku byly využívány zejména lišejníkové stélky jako zdroj hnědých, šedých či žlutých barviv, ale druhy jako *Rocella* nebo *Perusaria* umožnily získávat třeba i purpur, ve starém Římě vyhrazený pouze vládnoucí vrstvě. Éra "nezastupitelnosti" konkrétních druhů končí v 19. století s nástupem možností výroby syntetických barviv.

Omezení při získávání barviv z houbových nebo lišejníkových stélek představuje jednak jejich pomalý růst (zejména v případě lišejníků) a za druhé zdaleka ne všechny pestré barvy, které jsou houby schopny vytvořit, lze bez problémů extrahovat (dochází k barevným změnám nebo i úplné přeměně dotyčných sloučenin v prostředí mimo houbové pletivo, srovnatelné třeba s lakmusem).

Potravinářská barviva produkují např. *Monascus purpureus* (je využíván při výrobě červeného vína) nebo některé *Mucorales* (produkují  $\beta$ -karoten, viz výše).



Vlevo lišejník *Rocella phycopsis*.

<http://kmubserv.tg.fh-giessen.de/pm/page.cfm?PRID=20&CFID=86688&CFTOKEN=154363&PID=361>

Vpravo kultura *Monascus purpureus* na sladínovém agaru.

<http://www.vscht.cz/kch/galerie/obrazky/houby/slad-10.gif>

## VÝROBKY Z HOUBOVÉ BIOMASY

Zajímavostí je **výroba ručního papíru z hub**

(vlastně proč ne? jde vlastně jen o papír na chitinové bázi namísto celulózní):

nejlépe použít tuhé vláknité plodnice (choroš) => máčení i řadu týdnů (měnit vodu po 2–3 dnech), možno též přidat starý papír (pozor na noviny, výsledek by pak byl vždy zašedlý) => pomáčené houby nasekat, smísit s vodou a rozmixovat na stejnorodé "pyré" => vzniklou papírovinu nalít do mělké nádrže a důkladně rozmíchat => zarámované síto ponořit pod hladinu papíroviny a prudkým zvednutím nabrat směs na síto => rychlými náklony ze strany na stranu dosáhnout rovnoměrného pokrytí a nechat dostatečně odkapat přebytek vody zpět do nádrže => přehmátnout (palce dolů, prsty na svrchní stranu rámu) a prudce překlopit na připravenou savou látku (třeba ručníkovinu) => ještě houbičkou odsát přes síto přebytečnou vodu => opatrně zvednout síto (je-li už hmota moc suchá, může se trhat nebo zůstat přilepená na sítu – v tom případě zadržet a houbičkou skrz síto znovu navlhčit, dokud nepůjde dobře oddělit; čím tenčí papír vzniká, tím větší citlivost tento krok vyžaduje) => postupně vysušovat přikládáním listů novin nebo látek (možno urychlit žehlením, ale jen jemně a přes látku) => je-li papír už dost suchý, aby se s ním dalo manipulovat, je možno jej zavěsit a nechat doschnout (nebo, chceme-li zcela rovný papír, lisovat pod závažím, ale v tom případě nepřestat s vyměňováním odsávacích listů až do úplného vysušení).

Rozmáčené plátky tvrdých chorošovitých plodnic se používají v některých zemích (Karpaty, Balkán; u nás do druhé poloviny 20. století na Valašsku a Chodsku) k výrobě kabelek, klobouků, vest, rukavic – především jde o *Fomes fomentarius*, jehož plst'ovitá dužnina je označována „hubáň“.

Dnes jde spíš o suvenýry pro turisty, pevnost materiálu není vždy dostatečná pro každodenní používání.



Foto: Václav Michalička, Ivana Michaličková; <http://www.vmp.cz/cs/odborna-cinnost/tradicni-rukodelna-vyroba/cepice-a-klobouky-z-chorose/>

V současnosti jsou ale mycelia některých hub testována jako **zdroj textilních vláken** – díky obsahu chitinu a glukánů jsou sice křehké (pružnost je zlepšována ošetřením glycerolem), ale jejich výhodou je rychlý růst na odpadních substrátech; smícháním houbových vláken s dalšími materiály vzniká materiál podobný papíru.

Houbové textilie mohou být vyráběny chladovým schnutím a slisováním vrstvy vláken; materiál může být z různých skupin hub – *Neurospora crassa*, *Pisolithus arhizus*, *Antrodia oleracea* nebo dokonce oomycet *Saprolegnia ferax*. Dnes jsou tyto textilie testovány jako absorpční materiály (filtry, obvazy), ale nejvíce jsou používány k vychytávání kovových iontů (zlato, stříbro) z roztoků.

Moderním trendem je pak produkce **obalového materiálu** z přírodních surovin – vlhký lignocelulózní substrát (odpadní materiál ze zemědělských provozů) se naočkuje a nechá prorůst myceliem (např. hlívy *Pleurotus ostreatus*) => poté se vysuší a vytvaruje ve formách.

Vzniká kompaktní a pevná hmota, která je rovnocennou náhradou běžně užívaného polystyrenu (a přitom snadno rozložitelnou).

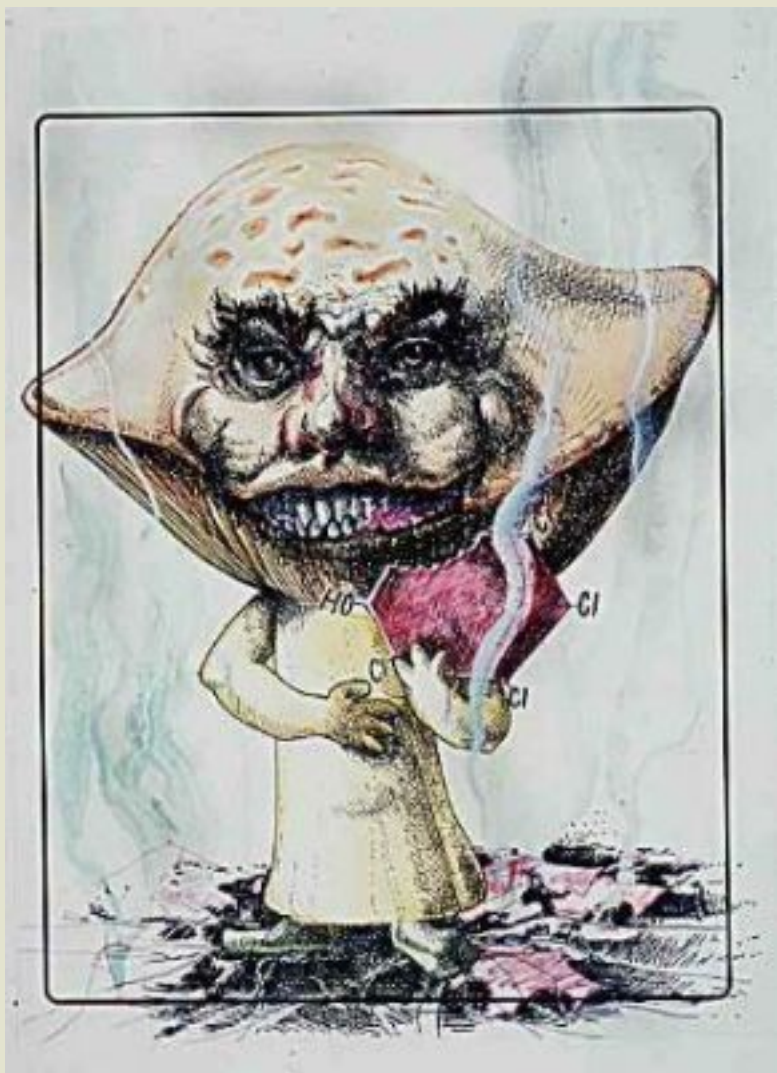
Orig. zdroj: Ecovative; převzato z <http://pozitivni-zpravy.cz/americka-firma-vyrabi-obaly-z-hub-vyuzivaji-je-i-velke-spolecnosti/>





## BIODEGRADACE, REMEDIACE

Mnohé vláknité houby se díky své enzymatické výbavě uplatňují v procesech **biotransformace** organických sloučenin (v užším pojetí je termín biotransformace určen pro děje uvnitř živé buňky, ale v biotechnologiích zahrnuje obecně reakce katalyzované enzymy v buňkách, extracelulárními i uvolněnými z odumřelých buněk). Výhodou těchto procesů (tzv. „green chemistry“) je průběh při nízkých teplotách (šetření energie), omezené používání rozpouštědel a minimalizace nebezpečného odpadu. Transformace organických molekul se využívá v různých odvětvích průmyslu, potravinářství (viz výše, *produkce enzymů*), farmacii (viz *kapitolu Léčivé látky hub*) a v neposlední řadě při zpracování odpadních látek.



Tom Volk, [http://botit.botany.wisc.edu/toms\\_fungi/may97.html](http://botit.botany.wisc.edu/toms_fungi/may97.html)

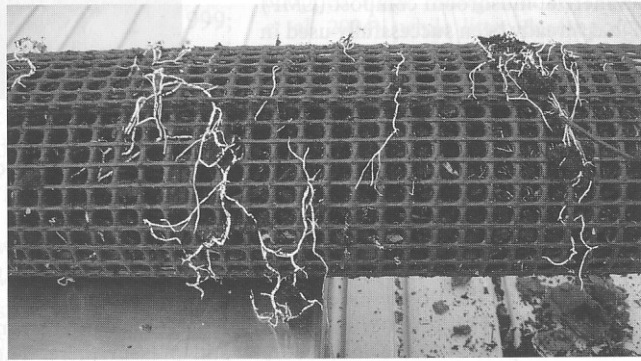
Zde hovoříme o procesech **remediace** (přeměny škodlivých látek), resp. **degradace** konkrétních sloučenin, zejména jedná-li se o látky toxické anebo perzistentní (pomalu rozložitelné). Většinou jde o rozklad organických polutantů, který může probíhat

- **ex situ** modifikovanou fermentací v bioreaktorech (odčerpání kontaminovaného substrátu a jeho předhození napěstovaným houbám) nebo
- **in situ** inokulací hub (nebo enzymů z nich izolovaných) na konkrétní plochy, případně využití druhů zde přirozeně rostoucích; v tom případě je výhodou, že není třeba dodávat nový (navíc cizorodý) organismus, ale zásadní je navození optimálních podmínek pro růst a metabolismus autochtonních druhů (každopádně důležité je, aby použité houby měly toleranci k polutantům, kterých může být v substrátu více typů s různými vlastnostmi).

V případě inokulace je vhodné inokulum přenést na pevném substrátu, který je zároveň zdrojem uhlíku, udrží vlhkost (alespoň po určitou dobu) a lze jej dobře smíchat s „cílovou“ půdou. Používají se lignocelulózní substráty - sláma, piliny, štěpka; pro houby, schopné růst na kůře, je kůra optimálním nosičem (pomalý rozklad => dlouhodobá zásoba uhlíku). Optimální je využití substrátu z pěstování hub (commercial mushroom compost, CMP) - je to „skoro zadarmo“ (odpadní materiál) a zároveň už obsahuje mycelium použitelných hub (zejména hlívy jsou vhodné pro remediaci, viz dále).

Jsou různé názory na to, jakým způsobem vpravit inokulum do kontaminované půdy (vhodné spíše pro půdu navezenou ex situ, na rozsáhlé zamořené plochy to může být technicky náročné) – promíchat s půdou nebo klást ve vrstvách nebo lze využít „mesh tubes“ (trubky, které mají místo stěny pletivo z plastové sítě, takže mycelium z nich volně prorůstá do okolní půdy).

Fig. 22.3. Completed fungal mesh tube with well-developed rhizomorphs of *Stropharia rugosoannulata*



Kari Steffen, Marja Tuomela: Fungal soil bioremediation: Developments towards large-scale applications. In: M. Hofrichter (ed.), *The Mycota X. Industrial applications* (2nd ed., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010), pp. 451–467.

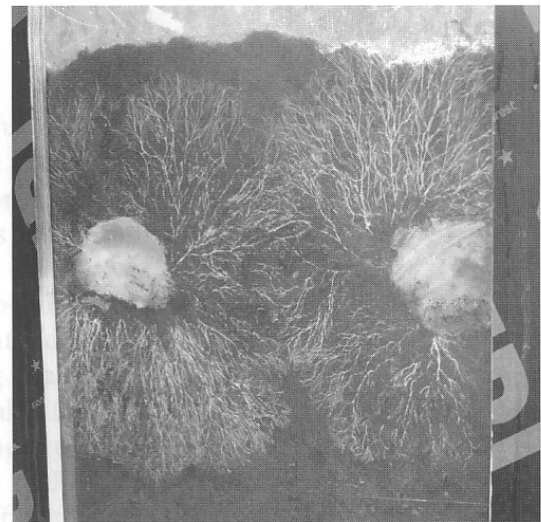


Fig. 22.4. Radial growth of *Stropharia rugosoannulata* from two mesh tubes into the surrounding soil (window width 40 cm)

Ukázka dekontaminace navezené  
půdy z pily – pro tento účel se  
ukázaly jako dobré stopkovýtrusné  
houby *Stropharia rugosoannulata*,  
*Phanerochaete velutina* a  
*Sphaerobolus stellatus*.

Kari Steffen, Marja Tuomela: Fungal soil  
bioremediation: Developments towards large-scale  
applications. In: M. Hofrichter (ed.), *The Mycota X. Industrial applications* (2nd ed., Springer Verlag, Berlin,  
Heidelberg, 2010), pp. 451–467.

Fig. 22.5. Pilot pile for the treatment of contaminated sawmill soil by the fungal tube technology. The pile works with a volume of  $12 \text{ m}^3$  ( $3 \times 4 \times 1 \text{ m}$ ) and finally contains 7 t of contaminated soil. Six fungal tubes are still visible, but are later covered with soil as well



Fig. 22.6. Spiral aeration system of a fungal pilot pile. It can be connected to a compressor for continuous active aeration

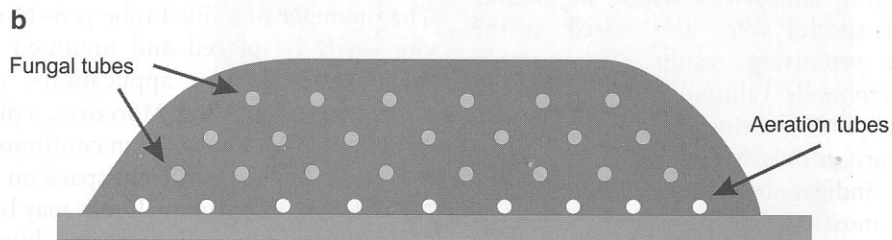
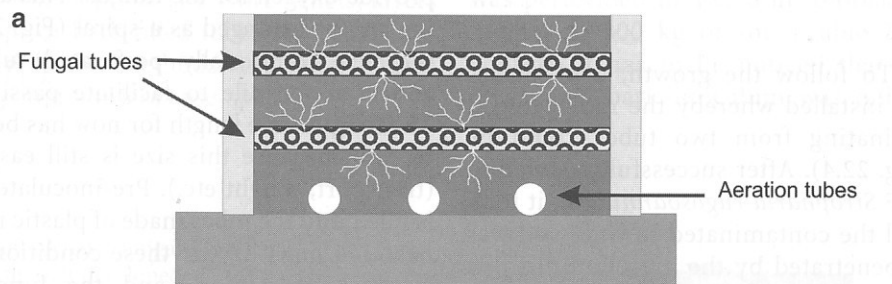


Fig. 22.7. Schematic cross-sections through a pile based on fungal tube technology

V remediačních procesech jsou využívány přirozené i geneticky modifikované organismy, a to zejména bakterie. Houby jsou využívány k degradaci sloučenin, na jejichž rozklad mají vytvořené enzymy, což splňují zejména saprotrofní druhy (WRF = white rot fungi, původci bílé hnilogy; LDF = litter decomposing fungi, rozkladači hrabanky). Potenciálním vedlejším efektem jejich působení může být tvorba (z pohledu člověka) nežádoucích metabolitů a alergické působení spor.

Využívány jsou k **likvidaci odpadů** z průmyslových i zemědělských provozů nebo **sanaci kontaminovaných území** (po ukončené výrobě nebo živelných pohromách). Substrátem pro bioremediaci je nejčastěji **půda, spodní** nebo **odpadní voda** (houby bývají součástí aktivovaného kalu v ČOV, i když zde hrají rozhodující úlohu bakterie).

Průmyslově jsou využívány enzymy hub rozkládajících **celulózu** (*Trichoderma*, *Fusarium*, *Penicillium*) nebo **lignin**; nejúčinnější enzymy mají houby způsobující bílou hnilobu (zásadní roli hrají oxidoreduktázy: lignin peroxidáza, mangan peroxidáza /+ systémy generující extracelulární  $H_2O_2$  pro funkci peroxidáz/ a především lakáza):

- *Pleurotus ostreatus*: hlíva se osvědčila k rozkladu řady organických polutantů, které mají podobnou strukturu jako celulóza a lignin (ropné produkty, pesticidy - ty mohou rozkládat různé houby /viz tabulku dále/, zejména ligninolytické);
- dostupnými druhy s potenciálem odbourávat polycyklické uhlovodíky jsou *Ceriporiopsis subvermispora*, *Trametes versicolor*, *Dichomitus squalens*, ...

**Tabulka 12.1.** Příklady hub s potenciálem pro degradaci pesticidů

Organismus	Organická látka nebo pesticid
<i>Aspergillus flavus</i>	DDT (dichlordifenyl trichloretan)
<i>Aspergillus niger</i>	2,4-D (kyselina dichlorfenolctová)
<i>Candida tropicalis</i>	Fenol
<i>Sporotrichum pulverulentum</i> (syn. <i>Chrysosporium lignorum</i> )	3,4-dichloroanilin
<i>Fusarium solani</i>	Acylamilid
<i>Fusarium oxysporum</i>	DDT
<i>Neoscytalidium dimidiatum</i> (syn. <i>Hendersonula toruloidea</i> )	2,4-D
<i>Mucor circinelloides</i> (syn. <i>M. alternans</i> )	DDT
<i>Penicillium</i> spp.	Acylamilid
<i>Penicillium megasporum</i>	2,4-D
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Polyaromatické uhlovodíky; 2,4,6-trinitrotoluen; pentachlorofenol; DDT; 2,4,5-T (kyselina trichlorfenyloctová) lindan
<i>Pleurotus ostreatus</i>	DDT
<i>Trametes versicolor</i>	DDT, dieldrin
<i>Aureobasidium</i> (syn. <i>Pullularia</i> )	Acylamilid
<i>Rhodotorula</i> spp.	Benzaldehyd
<i>Stereum hirsutum</i>	Fenanthren
<i>Trichoderma</i> spp.	Nitril
<i>Trichoderma viride</i>	DDT
<i>Trichosporon cutaneum</i>	Fenol
<i>Suillus variegatus</i> , <i>S. granulatus</i> , <i>S. luteus</i>	Mefluidid

Barbora Mieslerová, Michaela Sedlářová, Aleš Lebeda: Praktické využití hub a houbám podobných organismů v potravinářství, zemědělství, lékařství a průmyslu. UP Olomouc, 2015.

... a především *Phanerochaete chrysosporium*: tento kornatec produkuje enzymy s peroxidázovou aktivitou, polyfenoloxidázy a lakázu; kromě ligninu a jiných polyfenolů rozkládá **aromatické** a těžko odbouratelné **heterocyklické uhlovodíky** (zastoupení perzistentních

aromatických sloučenin má mimo jiné řada farmak, drogistických výrobků, kosmetiky, ale též barviva z textilního a kožedělného průmyslu).

**Polycyklické aromatické uhlovodíky** (z benzínu, nafty aj.) rozkládají i *Cunninghamella elegans* (*Mucorales*) a outkovky *Corioloopsis gallica* a *Trametes versicolor*.

**Monocyklické aromatické uhlovodíky** (benzen, toluen aj.) rozkládá *Cladosporium sphaerospermum* (*Capnodiales*) nebo *Cladophialophora* (*Chaetothyriales*).

Aromatické sloučeniny s **halogeny**, jako jsou dlouhodobě perzistentní chlorofenoly, polychlorované a polybromované bifenyly (PCB, PBB), dibenzo-p-dioxiny a -furany (PCDD/F), se vyskytují hlavně v půdách ze starých pil (dříve se používaly ke konzervaci dřeva); jako potenciální rozkladač se jeví *Phlebia brevispora*.

Z **nitroaromatických sloučenin** je v prostředí nejvíce TNT na vojenských cvičištích, v terénu je zkoušena dekontaminace s pomocí *Stropharia rugosoannulata*.

**Hormonálně aktivní látky** (endocrine disrupters) jsou hormony (např. estrogen) nebo hormony napodobující látky, které (dostanou-li se do těla) narušují funkce vlastních hormonů a už v malém množství představují ohrožení ekosystému; příkladem druhých je tributyltin (TBT, přítomný zejména v přístavech, vymývá se z nátěrů na lodích) a bisfenol A (BPA, změkčovač plastů, jenž se dostává do odpadních vod); tyto sloučeniny degradují houby bílé hniloby, ale i vodní hyfomycety.

Organické polutanty se ve znečištěném prostředí často vyskytují současně s těžkými kovy - o těch viz dále.

Obecně je ale nutno konstatovat, že ačkoli mykoremediační technologie jsou lákavé (a potenciálně mohou být i ekonomicky výhodné), dosud se na trhu neuchytily - důvodem je dlouhý a pracný vývoj těchto technologií (včetně všech testů nutných před uvedením do provozu), navíc kontaminanty v půdě jsou leckdy velmi heterogenní (je třeba testy v menším měřítku nalézt nejvhodnější druhy, neexistuje žádná „houba na všechno“) a půda sama nemusí představovat kompaktní substrát.

To je problém pro houby působící korozivní rozklad (obdoba bílé hniloby), protože k remediaci jsou využívány houby primárně lignikolní (zvyklé na kompaktní pletivo kmenů dřevin). Například

*Trametes versicolor* prokazuje ideální výsledky při kultivaci v bioreaktoru, ale podstatně pomalejší je rozklad při aplikaci (výsevem na slámě či pilinách) do půdy, kde navíc dochází ke kolísání podmínek a působí konkurence jiných organismů => zatím se to zkrátka nevyplatí.

Slibně by se mohly jevit houby stojící na pomezí mezi lignikolními a terestrickými saprotrofy, přirozeně rostoucí na drobných větvičkách až v hrabance (běžná *Gymnopilus penetrans* nebo pěstovaná *Stropharia rugosoannulata*).





Mycelium outkovek je též využíváno k „**odbarvení**“ **melasy** – odpadního produktu z výroby cukru, který je využíván jako fermentační surovina pro další procesy (viz *Houby v potravinářství*), hnojivo a krmivo. Je-li použita ve fermentačních procesech, vystupují z nich zabarvené odpadní látky, které je třeba odbourat („odbarvit“). Další průmyslové odpady lignocelulózního charakteru odbourává i *Phanerochaete chrysosporium*.

Výstupy z bioremediace **lignocelulózních odpadů** může být produkce buničiny (viz výše u produkce enzymů), krmiv pro zvířata nebo i složek potravy. Při **recyklaci papíru** se využívají amylázy (rozrušují škrobový potah, který dodává lesk a hladkost křídovému papíru) a celulázy (rozrušování fibril pomáhá odstraňovat tiskařské barvy).

Degradace lignocelulózních složek rostlinných těl může vést i k **produkci bioplynu**. V anaerobních podmínkách v bioreaktorech je využíváno působení celulolytických vřeckatých hub (*Curvularia*, *Penicillium*) na *Pennisetum purpureum* („elephant grass“) za vzniku směsi CO<sub>2</sub>, metanu a dalších uhlovodíků.

V bioreaktorech může probíhat i **rozpouštění hnědého uhlí** (na povrchu, na tekutém médiu s rozdrceným uhlím nebo na rozdrceném uhlí v submerzní kultuře) s využitím lakáz, jimiž disponují houby bílé hniloby (např. opět *Trametes versicolor*).

V **čistírnách odpadních vod** houby odbourávají fosfáty nebo dusíkaté látky ze splašků a průmyslových odpadů; používají se kvasinky *Dipodascus geotrichum* (= *Geotrichum candidum*; lipolýza odpadů z tučných potravin, olejů, mastných kyselin), *Cyberlindnera jadinii* (= *Hansenula jadinii*; fenoly, sulfitové výluhy), *Saccharomyces fragilis* (mléčný odpad) => výstupem procesu může být biomasa bohatá na „single cell“ proteiny, vhodné krmivo pro zvířata.

Krmivo bohaté na SCP je možno získat i z bramborového odpadu – *Saccharomycopsis fibuligera* produkuje amylázy a cukry vzniklé rozkladem škrobu pak využívají další kvasinky.

Na **odpad z výroby destilátů** se používají zejména kvasinky (*Candida*, *Torula*, *Debaryomyces*), případně vláknité imperfekty (*Aspergillus*, *Penicillium*); tyto organismy mohou být předkultivovány nebo přímo použity na fermentaci => pročištěním zbytků z destilace vzniká biomasa bohatá na bílkoviny a enzymy, případně i další látky – pululan (*Aureobasidium pullulans*) nebo chitosan (*Absidia atrospora*).

Vřeckaté houby (*Aspergillus niger*, *Chaetomium cupreum*) jsou schopné degradovat **taniny** – extrémně zásadité látky s obsahem iontů a sulfidů, toxické pro rostliny i živočichy, které jsou obsaženy v tekutých odpadech z koželužství.

V **petrochemickém průmyslu** jsou využívány ropné frakce (nafta, mazací oleje) jako substráty pro kvasinky *Yarrowia lipolytica* nebo *Saccharomyces cerevisiae*, které z těchto substrátů odstraňují alifatické uhlovodíky. Některé *Hypocreales* jsou schopné "vycucnout" z ropy síru a dusík, *Clonostachys rosea* (= *Gliocladium roseum*) naopak sama produkuje naftové výpary využitelné jako palivo.

"Houbová nafta" může být další nadějí pro biopaliva



Houba, která umí rostlinný odpad přeměnit přímo na pohonnou hmotu může umožnit výrobu biopaliv, která nekonkurují produkci potravin.

Jan Zikmund, <http://www.osel.cz/index.php?clanek=4060>

V listech jihoamerického stromu ulmo (*Eucryphia cordifolia*), jehož dřevo je ceněno pro svou trvanlivost, byla objevena houba, která produkuje naftové výpary. To je mimořádně mnohem výhodnější skupenství pro extrakci a čištění paliva než kapalina.

Gary Strobel z Montana State University in Bozeman identifikoval jako zdroj naftových par endofyt *Gliocladium Roseum*. Tato houba svými metabolity pravděpodobně likviduje ostatní houby, čímž způsobuje výjimečnou trvanlivost ulmového dřeva. Ve vyhledávací lze pod druhovým jménem *Gliocladium Roseum* rovněž najít mnoho aplikací na poli biologické ochrany rostlin před houbovými chorobami.



*Gliocladium roseum* - houba produkující iřkavé uhlovodíky. (Montana State University)

Dosud si ale asi nikdo nevšiml její "petrochemické" aktivity a podle Garyho Strobela zatím není znám jiný organizmus s podobnými vlastnostmi. Analýza výparů odhalila, že jsou bohaté na uhlovodíky nacházející se v pohonných hmotách, jako je oktan. Dále byly nalezeny lehké (nízkouhlikové?) alkoholy a estery, které jsou spalovány mnohem efektivněji a čistěji než klasická paliva.

Dalším nesporným bonusem je schopnost houby růst na celulóze, která obsahuje vysoké procento uhlovodíků, ale je velmi náročná ji na tyto uhlovodíky rozložit. Celulózy je všude dost a většinou je pouhým odpadem. Podle Strobela by mělo být

[Zvětšit obrázek](#)



Gary Strobel

"Pekelná houba" odstraňuje síru z ropy



Co by mohlo pomoci ropným společnostem levněji vyrobit takové palivo, aby splňovalo stále přísnější ekologické normy? Houby! Zní to možná divně, ale houby nedávno objevené v Iránu, rostou přirozeně v surové ropě a odstraňují z ní sloučeniny síry.

Ota Beran, <http://www.osel.cz/index.php?clanek=3994>

Vlády na celém světě stále zavádí přísnější a přísnější omezení toho, jaké množství sirných a dusíkatých sloučenin mohou paliva obsahovat. A producenti nafty hledají stále levnější a účinnější způsoby, jak odstranit síru a dusík z jejich produktů.

Standardní způsob odsíření surové ropy zahrnuje její reakci s vodíkem v doslova pekelném prostředí teploty 455 stupňů Celsia a až 204 násobku atmosférického tlaku (zhruba 21 milionů pascalů). A nedá se přitom vůbec říct, že by výsledkem bylo dokonalé odstranění zmiňovaných sloučenin.



Jalal Shayegan

Mikroorganismy, které jsou schopné metabolizovat síru, mají možnost dosáhnout stejného a možná kvalitnějšího výsledku, a to při „normálnějších“ podmínkách. V posledních letech se výzkumníkům podařilo izolovat mnohé takové bakterie potenciálně využitelné k odstranění sloučenin síry z různých substrátů.

Shayeganův tým se vydal pátrat do půd znečištěných ropou z Teheránské ropné rafinérie a ropných polí Kuhemond. Při průzkumu se jim povedlo izolovat spoustu nových kmenů mikroorganismů metabolizujících síru.

Nakonec se výzkumná cesta zvrhla v houbaření. Vědci totiž při průzkumu těchto vybraných lokalit objevili i zvláštní houbu, která překvapovala svým mimořádným apetitem na síru. Testy odhalily, že tento zástupce rodu *Stachybotrys* je mimořádně účinný při odstraňování síry z ropy. Je to první zástupce hub, u kterého byly zjištěny tyto schopnosti.

Kvasinky jsou též schopné odstraňovat látky typu **parafínů** a zároveň dochází k produkci proteinové biomasy (SCP). Jiné druhy jsou schopné korodovat látky typu polystyrenu – je potenciální možnost, že (přirozenou mutací nebo za pomoci genových manipulací) vzniknou kmeny hub schopné likvidovat takovýto odpad.

Mycelium hub má i silné absorpční schopnosti pro řadu látek, které je schopno akumulovat z prostředí – zejména jde o schopnost biosorpce kovových iontů.

Význam má především pro čištění vody - dostane-li se odpadní voda s obsahem nežádoucích kovů do prostředí, představuje ohrožení ekosystému i pitné vody pro člověka.

Barbora Mieslerová, Michaela Sedlářová, Aleš Lebeda: Praktické využití hub a houbám podobných organismů v potravinářství, zemědělství, lékařství a průmyslu. UP Olomouc, 2015.

Table 18.2. Heavy metal adsorption capacity by selected fungi

Metal	Fungus	Concentration (mg/g)	Reference
Arsenic	<i>Inonotus hispidus</i>	52	Sari and Tuzen (2009)
Cadmium	<i>Rhizopus oligosporus</i>	34	Aloysius et al. (1999)
	<i>A. niger</i>	92	Akthar et al. (1995)
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (live cells)	70	Volesky et al. (1992)
Chromium	<i>Trichoderma viride</i>	16	Bishnoi et al. (2007)
Copper	<i>A. niger</i>	108	Akthar et al. (1995)
Lead	<i>R. oligosporus</i>	126	Ariff et al. (1999)
	<i>S. cerevisiae</i>	127	Riordan and McHale (1998)
	<i>Candida albicans</i>	800	Baysal et al. (2009)
Nickel	<i>A. niger</i>	41	Akthar et al. (1995)
Silver	<i>A. niger</i>	100	Akthar et al. (1995)
Thorium	<i>A. fumigatus</i>	370	Bhainsa and D'Souza (2009)
Uranium	<i>S. cerevisiae</i>	275	Bustard et al. (1998)
	<i>Talaromyces emersonii</i>	280	Bengtsson et al. (1995)
	<i>A. fumigatus</i>	423	Bhainsa and D'Souza (1999)
Zinc	<i>Rhizopus arrhizus</i>	14	Zhou (1999)
	<i>A. niger</i>	67	Akthar et al. (1995)
Zirconium	<i>C. tropicalis</i>	180	Akhtar et al. (2008)

Martin Zimmermann, Klaus Wolf: Biosorption of metals. In: M. Hofrichter (ed.), *The Mycota X. Industrial applications* (2nd ed., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010), pp. 379–392.

Tabulka 12.2. Biosorpce kovů některými houbovými mikroorganismy

Organismus	Sorbovaný kov
<i>Rhizopus arrhizus</i>	Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb, Zn, Au, Ni, U, Th
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Ag, Co, Cu, U, Zn, Th
<i>Candida tropicalis</i>	Cd, Cr, Cu, Ni, Zn
<i>Kluyveromyces marxianus</i>	U
<i>Aspergillus niger</i>	Au, Cu, U
<i>Penicillium chrysogenum</i>	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Hg, U

Dobré je, že k absorpci lze využít levnou surovinu – houbovou biomasu předtím využitou k produkci jiných látek. Navíc mycelium je možné využít opakovaně – po absorpci v čištěném roztoku je zachyceno na filtrech (alternativou může být flotace v sérii bioreaktorů), následuje desorpce do „odpadního“ roztoku (nebo pro další využití kovových prvků) a mycelium je připraveno k opětovnému použití. Alternativním způsobem je odstranění kovů průchodem přes kolonu s chitinem z buněčných stěn hub.

Ke zvýšení účinnosti biosorpce může přispět „předpříprava“ houbového materiálu různými způsoby – zahřátí v kyselinách či zásadách, imobilizace v alginátu, někde zkoušeli i pulzy vysokého napětí. Je ale nutno zmínit, že i tak nemusí být biosorpce vždy ekonomicky výhodná ve srovnání s chemickým vysrážením nebo vyluhováním polutantů - její masové zavedení do průmyslových provozů je asi spíš hudbou budoucnosti.

Předmětem výzkumu je i využití hub v likvidaci zdrojů radioaktivních kovů – ovšem v tomto případě pak samozřejmě vyvstává problém "kam s ním", tedy kam uložit nebo jak likvidovat kontaminované mycelium.

## **BBC NEWS**

Zdroj: Fomina & Gadd 2008; převzato z [http://botany.natur.cuni.cz/koukol/ekologiehub/EkoHub\\_10.ppt](http://botany.natur.cuni.cz/koukol/ekologiehub/EkoHub_10.ppt)

### **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.

Naopak lze zmínit případy, kdy cílem sorpčního procesu je získat cenné kovy z prostředí. I když pro **vyluhování kovů z rud** jsou využívány zejména chemolitotrofní bakterie (nepotřebují uhlík v organické formě), lze najít i příklady využití hub k vyluhování kovových prvků, pokud mají souběžně dodávaný organický zdroj uhlíku; k rozpouštění rud dochází díky produkci kyselin (citronové, šťavelové) při pH pod 3. Druhy rodů *Aspergillus* a *Penicillium* uvolňují železo z železných rud, tyto houby a *Scopulariopsis* uvolňují mangan, druhy rodu *Penicillium* i nikl a jsou používány též k vymývání fosfátů z železných rud, zatímco kvasinky (s využitím kys. mléčné nebo octové) mohou vyluhovat zinek, měď a olovo z filtrovaných prachů rud.

Slibný je výzkum **remediačních schopností mykorrhizních hub** ve vztahu k těžkým kovům a organickým kontaminantům (aromatické sloučeniny, PCB, TNT aj., viz výše) s možným využitím v praxi především v těchto směrech:

- jak ovlivnit rostliny, aby vůbec rostly i na kontaminovaných stanovištích;
- jak ovlivnit rostliny, aby přijímaly z půdy co nejméně těžkých kovů;
- jak ovlivnit rostliny, aby naopak vysávaly z půdy co nejvíc těžkých kovů a akumulovaly v biomase => sklízení => likvidace (fytoremediace).

Různé studie prokazují, že mykorrhiza má pozitivní efekt na růst rostlin na půdách s vysokou koncentrací kovů, ale na druhou stranu koncentrace kovů ovlivňuje početnost mykorrhizních hub a diverzitu jejich společenstev (přiměřená koncentrace může diverzitu zvýšit, při vyšší se uplatní druhy s tolerancí ke kovům).

Rozhodující podíl na degradaci polutantů mají často bakterie; mykorrhiza v takových případech napomáhá vzniku biofilmu s těmito bakteriemi.

Bakterie, aktinomycety, protozoa, živočichové i houby se uplatňují při **kompostování** (viz též *saprotrofní houby v přednášce Ekologie hub*; houby se nejlépe uplatňují při nižším pH a nižším obsahu vody). V tomto procesu mohou být vedle běžné organické biomasy likvidovány i polycyklické aromatické uhlovodíky – je tak možné kompostování využít i k likvidaci ropných produktů, chlorovaných fenylů či pesticidů (viz výše). K remediaci kontaminované půdy je možno využít například odpadní substrát z pěstování žampionů.

Při nižší teplotě se uplatňují různé spájivé a imperfektní vřeckaté houby (*Absidia*, *Penicillium*, *Trichurus*, *Trichoderma*), s postupně rostoucí teplotou je střídají jiné druhy (při 45 °C *Rhizomucor pusillus*, *Aspergillus fumigatus*), nad 60 °C pak termofilní, resp. termotolerantní *Thermomyces lanuginosus*, *Scytalidium thermophilum* nebo *Paecilomyces variotii*. Uvedené mikromycety rozkládají hlavně jednodušší uhlíkaté látky a celulózu; složité látky typu ligninu degradují lignikolní *Basidiomycota*.