



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

VYUŽITÍ HUB V ZEMĚDĚLSTVÍ

SYMBIÓZY S HOUBAMI V PĚSTOVANÝCH KULTURÁCH

V jakékoli člověkem vytvořené kultuře (polní i lesní porosty) pěstované rostliny žijí ve vzájemných vztazích a neustálých interakcích s jinými organismy, tvořícími půdní společenstvo.

Jejich růst je ovlivňován i **saprotrofními houbami**, které s nimi nemusí být v přímém kontaktu, ale mít příznivý vliv na rostliny díky produkci hormonů, kompetiční eliminaci „škodlivých“ organismů a dekompoziční aktivitě, vedoucí k tvorbě minerálních látek nebo uvolňování organických živin. Nakonec i po odumření houbových těl dojde k obohacení půdy o živiny – toho je využíváno i v přípravě některých hnojiv (Biosol obsahuje zbytkovou biomasu *Penicillium chrysogenum* z výroby penicilínu).

Zásadní vliv mají ale symbiotické vztahy v rhizosféře, a to především s bakteriemi, aktinomycety a mykorrhizními houbami.

Přínosem **mykorhizní symbiózy** je kromě přímé výměny živin (využití organických zdrojů dusíku => nižší potřeba užívání hnojiv) též stimulace rozvoje dalších složek rhizosféry mikrobioty a jejich metabolické aktivity (projevující se především v produkci enzymů). Mimoto má růst mykorhizních hub v půdě význam pro její stabilizaci – nejde jen o mechanické zpevnění půdy, ale také o eliminaci eroze a vymývání živin.

Na různé druhy rostlin jsou aplikovány komerčně vyráběné preparáty (v ČR firma Symbiom), obsahující diaspory hub, produkované nesterilně (napěstované na rostlinách) nebo sterilně (na kořenech, které jsou samostatně pěstované na agaru díky vložení plazmidu *Ri* z *Agrobacterium rhizogenes*). Diaspory jsou v pevné formě aplikovány do výsadbových jamek nebo míchány do substrátů pro kultivaci, kde se musí během několika týdnů dostat do kontaktu s nově rostoucími kořeny. Alternativou jsou přípravky v gelové formě, do kterých je možné namočit prostokořennou sadbu nebo kořenové baly.

V kulturách dřevin (listnatých i jehličnatých), zejména v mírných pásech, se pro zvýšení rychlosti růstu a odolnosti k vlivům prostředí (abiotickým i biotickým) významně uplatňují **ektomykorhizní houby** (= ECM; u nás *Amanita rubescens*, *Inocybe lacera*, *Laccaria laccata* a *L. proxima*, *Hebeloma* spp., *Paxillus involutus*, *Suillus luteus*, *Pisolithus arhizus*, *Thelephora terrestris*, *Melanogaster ambiguus*).

Foto Josef Hlásek, http://www.hlasek.com/pisolithus_arhizus_bv6064.html



Laccaria laccata



Pisolithus arhizus



Thelephora terrestris

Foto Michal Juříček,

<http://www.sci.muni.cz/botany/mycology/laccaria-laccata.htm>

Foto Markéta Štreitová, <http://www.sci.muni.cz/botany/mycology/thelephora-terrestris.htm>

Ve světě je mykorhiza významným přínosem v (semi-)aridních oblastech (např. v Mediteránu mykorhizace *Pinus pinea*, *P. pinaster*, *Quercus ilex*); kromě výše uvedených hub jsou v některých oblastech pěstovány porosty dubů nebo lísek s lanýži nejen na jídlo, ale i jako „mykorhizní školky“ pro programy zalesňování odlesněných území.

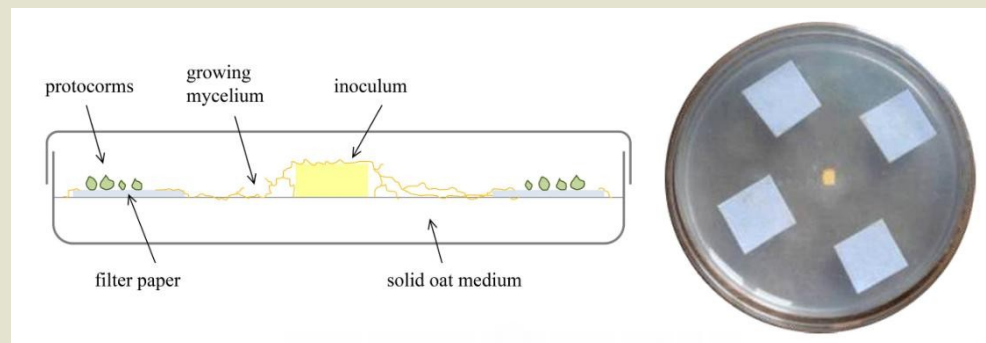
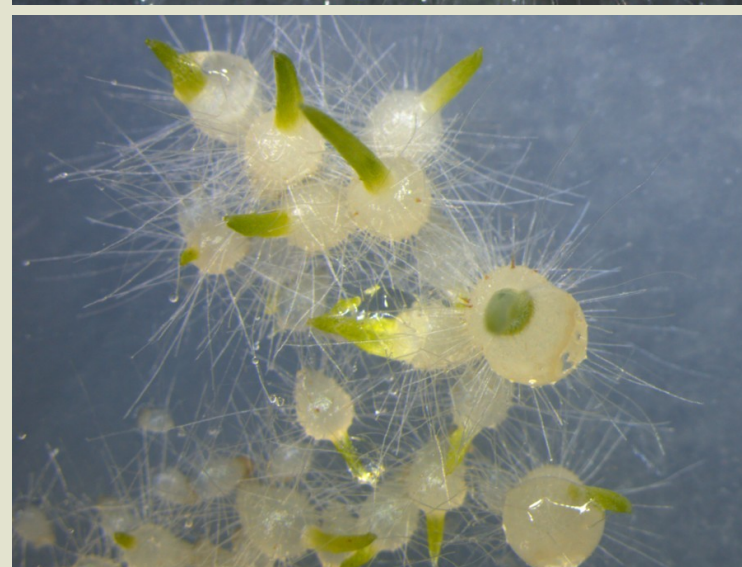
V praxi lze ECM houby napěstovat na pevných substrátech nebo tekutých médiích a následná umělá **mykorhizace semenáčků** je s úspěchem využívána zejména při zalesňování substrátů, kde chybí přirozená mykobiota – půd osidlovaných de novo (výsypky, spáleniště, zplanýrovaná místa) nebo narušených (např. v oblastech zasažených imisemi).

Důležité je, aby pro umělou mykorhizaci byly použity druhy hub (případně konkrétní kmeny) s dobrou schopností adaptace na cílové půdě (zejména je-li zalesňování spojeno s potřebou remediace po ukončení těžby nebo průmyslové výroby). Umělá mykorhizace má šanci na úspěch (přežití dřevin i hub s následnou sukcesí v dalších letech) zejména při vysazení do půd, kde přirozená mykobiota chybí; naopak v půdách se zavedeným společenstvem ECM hub nebo velkým množstvím přirozeného inokula se „nové“ houby nemusejí kompetičně prosadit. Opačným extrémem může být invazní šíření nově zavedeného symbionta – z obou těchto důvodů lze doporučit užití hub, které se přirozeně vyskytují na daných půdách.

Endomykorhizní houby (*Glomeromycota* tvořící arbuskulární mykorhizu) mohou být napěstovány na kořenech rostlin a vytvořené chlamydospory pak aplikovány v kulturách jako biohnojivo. Přínos těchto hub je dvojitý: podporují zakořenění rostlin a přispívají k jejich výživě, ale též zvyšují jejich odolnost vůči suchu a díky produkci glomalinu se podílejí na zpevnění půdy.

Stopkovýtrusné houby z rodů *Rhizoctonia*, *Tulasnella*, *Sebacina* nebo *Ceratobasidium* jsou nezbytné pro **klíčení rostlin z čeledi *Orchidaceae***. Obalení semen hmotou s napěstovaným inokulem je využíváno při množení vstavačovitých a jejich vysazování do přirozených podmínek.

Zdroj: Enrico Ercole, Michele Rodda, Mariangela Girlanda, Silvia Perotto: Establishment of a Symbiotic in vitro System between a Green Meadow Orchid and a *Rhizoctonia*-like Fungus; <http://www.bio-protocol.org/e1482>



"BIOLOGICKÝ BOJ" PROTI ROSTLINNÝM "ŠKŮDCŮM"

Termínem "biologický boj" bývá označována snaha o potlačení organismů, které z lidského pohledu představují "škůdce". Velký význam v tomto případě mají druhy využitelné při regulaci celých populací hostitelů.

Jako **mykoherbicity** pro **eliminaci plevelů** v porostech kulturních plodin lze využít fytopatogenní houby – obvykle nezlikvidují plevelné druhy úplně (tím by si zároveň zrušily hostitele), ale oslabí je nebo omezí v růstu => kompetiční síla plevelů je oslabena na úroveň, která již není pro pěstované plodiny nebezpečná.

Vedle plevelů v pěstovaných kulturách je ještě jedna „ekologická skupina“ rostlin, jejíž eliminace je v různých částech světa žádoucí – **invazní rostliny**. Lze předpokládat, že v souvislosti s klimatickými změnami mohou nepůvodní rostliny nalézat vhodné podmínky v nových oblastech a vytlačovat původní vegetaci.

(Příklad ze světa: když původní společenstva dřevin /C3 rostliny/ v Jižní Americe nahradí invazní trávy z Afriky, mohou být i samy nositeli dalších změn klimatu.)

Rostliny zavlečené (nebo přirozeně se šířící) do nových oblastí navíc mohou být ještě silnější (mít vyšší fitness) než „doma“, pokud v nové oblasti nemají své přirozené patogeny. V tom případě ani nevadí, že často při šíření „ztratí“ i své přirozené endofyty – ty v původních podmínkách působí i jako „bodyguardi“ (schopní eliminovat patogenní houby a tím „chránit“ svou hostitelskou rostlinu), při absenci patogenů již v tomto ohledu nejsou potřební a pro rostlinu je vlastně „výhra“, že už se s nimi nemusí dělit o živiny.

Klasický „biologický boj“ (**CBC = classical biological control**) spočívá v **dovozu a vysazení přirozených „nepřátel“** cílových rostlin z oblastí jejich původního výskytu. (Můžeme se též setkat s pojmem „intelligent introduction of counter-pests“, vyjadřujícím, že jde o protiklad k aplikaci generalistů – patogenů nebo predátorů, kteří v cílovém ekosystému mohou způsobit víc škody než užitku.) Získání takových hub nemusí být jednoduché – pokud plevelé nebo invazní rostliny ve své domovině nemají ekologický nebo ekonomický význam, kolikrát chybějí informace o jejich patogenech.

Navazující proces testování patogenity a specificity potenciálních „biocontrol agents“ může probíhat v jejich domovské oblasti nebo v cílové zemi – v tom případě testování vyžaduje přísná karanténní opatření; tato práce je časově nejnáročnější a nejnákladnější. Je-li patogen shledán dostatečně specifickým (bez rizika pro rostliny příbuzné těm „cílovým“) v laboratorních podmínkách, pokusných kulturách i v terénu, může pro něj být vydáno „vyhodnocení rizik“ (PRA = pest risk assessment), shrnující získané poznatky. Na základě tohoto dokumentu může být následně „vypuštěn“ do přírody (cílových porostů nebo kultur); celý proces může mít různý průběh v různých zemích dle lokální legislativy.

Ideální herbicidní patogen vykazuje značnou hostitelskou specifitu, schopnost tvořit velké množství spor (nejlépe roznášených větrem => plošné rozšíření) i stadium schopné přežít vymizení hostitele. Lze tak využít zejména **biotrofní parazity** (případně hemibiotrofní); zřejmě nejvhodnějšími houbami pro tento účel jsou rzi.

Pokud jde o CBC a její legislativní rámec, Evropa spíše zaostává, resp. využití houbových patogenů se těžkopádně prosazuje (tento „biologický boj“ spadá v direktivě EU pod regulaci chemických pesticidů).

„Vlajkovou lodí“ je výzkum možností eliminace křídlatky *Reynoutria japonica* (dnes je rod vřazen do rodu *Fallopia* – opletka); neosvědčily se heteroecické rzi z Japonska, ale vhodnými patogeny by mohly být hemibiotrofní houby z rodu *Mycosphaerella* (*Capnodiales*).

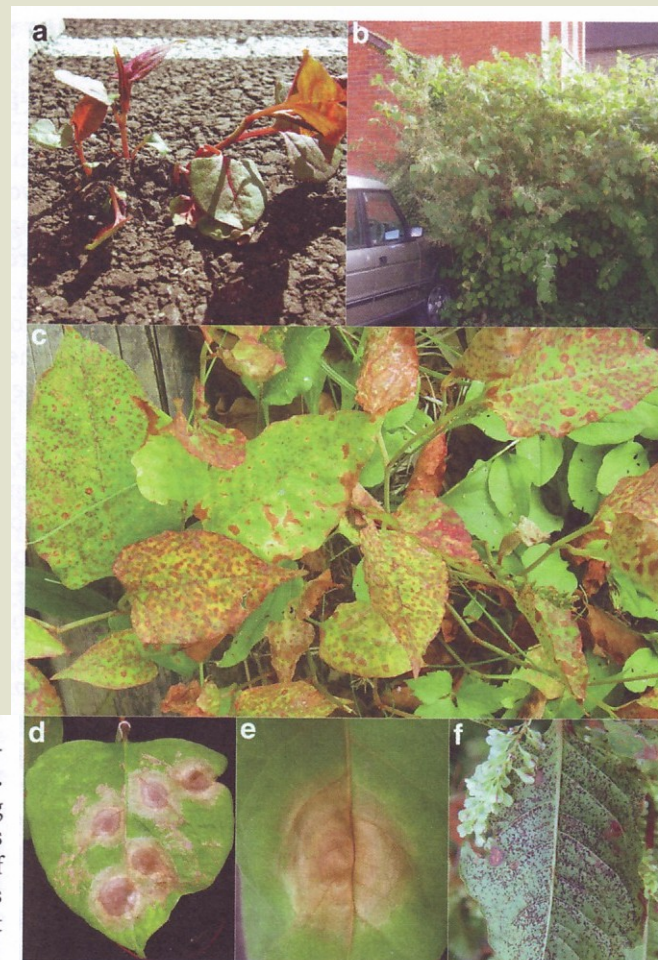


Fig. 6.3. (a) Japanese knotweed, *Fallopia japonica*, pushing through tarmac from overwintering rhizome, in early spring (Surrey, South-east England). (b) Same site in late summer, in full flower—effectively, the plant is clonal in the UK, since the flowers never set viable seed in the absence of male plants. (c) Japanese knotweed heavily attacked by *Mycosphaerella polygوني-cuspidati* (Kyushu Island, Southern Japan), showing leaf chlorosis

and necrosis. (d) Plant in quarantine (CABI, UK) following inoculation with mycelium of *M. polygوني-cuspidati*. (e) Detail of lesion showing central rings of developing spermogonia—ascomata develop later, and the fungus cycles only through ascospores in the field. (f) Detail of infection by a *Puccinia* rust (Kyushu Island), that was rejected as a classical biological control agent because it proved to be heteroecious

Zajímavou historií má „biologický boj“ proti netýkavce *Impatiens glandulifera* na britských ostrovech: v herbáři v Kew se nacházela položka netýkavky z Himálaje (z poloviny 19. století), hostící rez (*Puccinia* cf. *komarovii*) => ta byla i recentně potvrzena jako parazit netýkavky v domovské oblasti, probíhají testy hostitelské specifity (výběr vhodných patotypů, resp. formae speciales) a možná tato rez bude první houbou, povolenou v Evropě k biokontrolě invazních rostlin.

Ve světě jsou využívány:

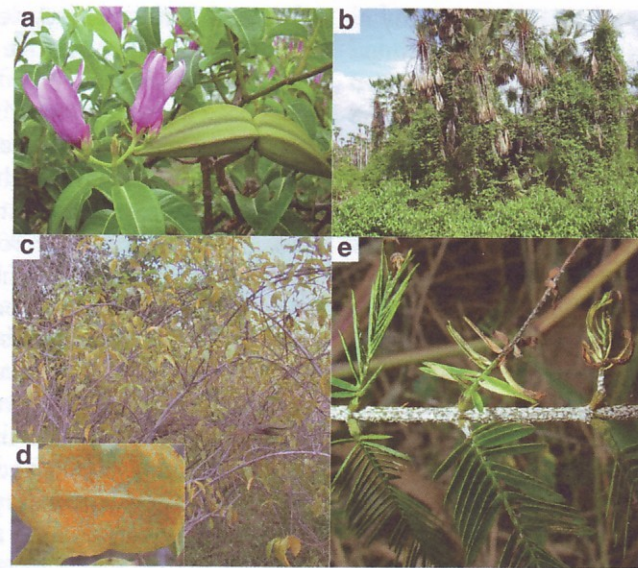
- *Puccinia chondrillina* (*Pucciniales*) v Austrálii a na západě USA; hostitelem je *Chondrilla juncea* (česky radyk), hvězdnicovitá rostlina rostoucí jako plevel v porostech pšenice (rez ale napadá jen jeden biotyp rostliny, další jsou rezistentní);

- *Entyloma ageratinae* (*Entylomatales*, *Exobasidiomycetes*), parazit *Ageratina riparia*, hvězdnicovité rostliny invazní na Havaji a Srí Lance (zatímco „doma“ v Mexiku je habitat-restricted a takřka ohroženým druhem; invazní není ani na Jamajce, kam byla zavlečena, ale roste tam přirozeně i *Entyloma*);

- *Phragmidium violaceum* (*Pucciniales*), parazit ostružiníků, které zarůstají pastviny v Chile;

- naopak využití *Sporisurium ophiuri* (*Ustilaginales*) proti *Rottboelia cochinchinensis* (invazní trávě, zarůstající zemědělské kultury) v Kostarice bylo zastaveno v závěrečné fázi implementace;

- *Maravalia cryptostegiae* (*Pucciniales*), parazit klejichovitých rostlin z rodu *Cryptostegia*, invazních plevelch v Austrálii (zde dlouhodobé studie vyčíslily úspory na 230 milionů AUD, tedy 108x víc než vložené náklady :o), Mexiku, Brazílii a na Nizozemských Antilách;



Harry C. Evans: Biological control of weeds of fungi.
In: Frank Kempken (ed.): The Mycota XI. Agricultural applications (2nd ed., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013), pp. 145–172.

Fig. 6.1. (a) Flowers and fruit of rubber-vine weed (*Cryptostegia madagascariensis*), Ceará State, NE Brazil—note the ‘clean’, pest-free foliage. (b) Rubber-vine weed forming dense stands under and growing over the endemic ‘carnaúba’ palm, *Copernicia prunifera*—an ecologically and economically important plant in the region. (c) Impact of the biotrophic rust *Maravalia cryptostegiae* on rubber-vine weed (*Cryptostegia grandiflora*) in

northern Queensland (Australia), shortly after its release. (d) Inset of the rust forming uredinial pustules on the lower leaf surface. (e) White asexual fruiting structures (acervuli) of the hemibiotrophic ascomycete, *Sphaerulina (Phloeospora) mimosae-pigrae*, on the giant sensitive plant, *Mimosa pigra* in its native Mexican range—the fungus has since been released in the Northern Territory of Australia

- *Diabole cubensis* (*Pucciniales*) a *Sphaerulina mimosae-pigrae* (*Capnodiales*) jsou parazity *Mimosa pigra*, dřeviny původně americké (od USA po Argentinu) šířící se v severní Austrálii, jižní Asii a jižní Africe (podle australských studií se jejich užití dlouho jevílo jako neúspěšné – potřebují snad parazité delší čas na adaptaci nebo naopak recentní rozšíření představuje jen náhodný úspěch v příznivých klimatických podmínkách?);

- v jižní Africe jsou pro změnu užívány houbové a hmyzí „biocontrol agents“ k omezení šíření australských akácií;

- *Puccinia spegazzinii* a příbuzné rzi z rodu *Dietelia* (*Pucciniales*) jsou parazity hvězdnicovité *Mikania micrantha*, zarůstající přirozené biotopy i čajové plantáže v Indii.

Harry C. Evans: Biological control of weeds of fungi.
In: Frank Kempken (ed.): The Mycota XI. Agricultural applications (2nd ed., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013), pp. 145–172.

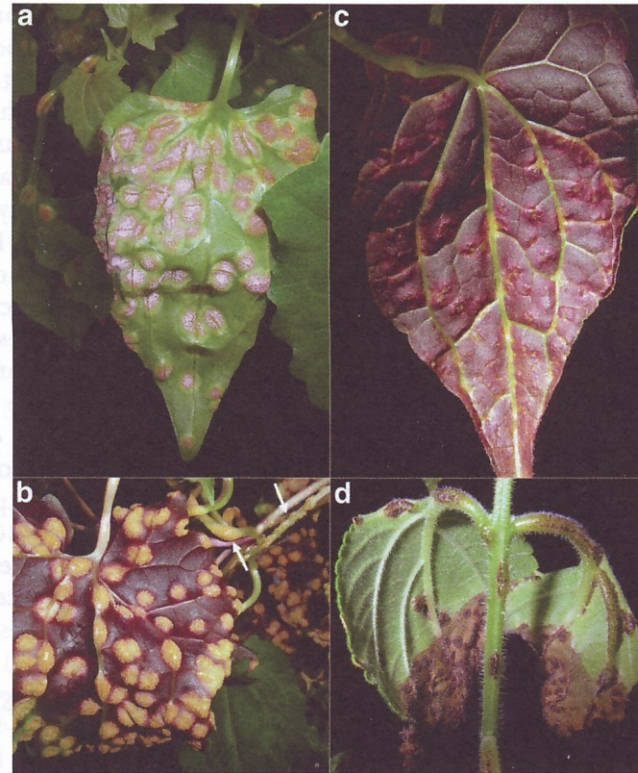


Fig. 6.2. (a) Pustules (telia) of the microcyclic rust, *Puccinia spegazzinii*, forming on the underside of leaves of *Mikania micrantha*—rust pathotype ex Trinidad, weed biotype ex SW India—the white areas indicate where teliospores have germinated to produce the infective basidiospores. (b) Telial pustules of rust pathotype ex Ecuador forming on and causing hypertrophy on petioles and stems (arrows), leading to

leaf/plant death. (c) Incompatible reaction of rust pathotype ex Trinidad against weed biotype ex NE India, showing abortive pustules. (d) The microcyclic rust, *Puccinia lantanae*, forming telial pustules on a biotype of *Lantana camara* from Australia—this promising pathotype from Peru induces growth disorders on both leaves and stems, leading to die-back

Pro „biologický boj“ lze využít i některé zástupce skupiny *Chytridiomycota*:

- *Synchytrium solstitiale* (*Chytridiales*), „nepravá rez“ na *Centaurea solstitialis* (chrpa žlutá, původem z Mediteránu, polní plevel na západě USA);
- *Rhizidium microcystidis* (*Chytridiales*) je specifickým parazitem planktonní sinice *Microcystis aeruginosa*.

Alternativou je využití **indigenních patogenů**, jejich masová produkce a rozšíření na porosty cílových rostlin (**IBC = inundative biological control**); někdy je pojem „bioherbicid“ v užším pojetí používán právě pro IBC, případně pro využití patogena s omezeným rozšířením k lokální eliminaci konkrétního plevelu.

Pro úspěšný vývoj takového bioherbicidu je třeba poznat životní cyklus použitého patogena a genetickou variabilitu cílové rostliny => vybrat nejlepší kmeny z přirozených populací => vyhodnotit jejich účinnost a environmentální dopad => rozjet „výrobu“ (zapojit nový produkt do stávající nabídky, průběžně kontrolovat jeho čistotu a bezpečnost, držet náklady tak, aby se vše vyplatilo, a na základě zkušeností z terénu se třeba snažit o další zdokonalení...).

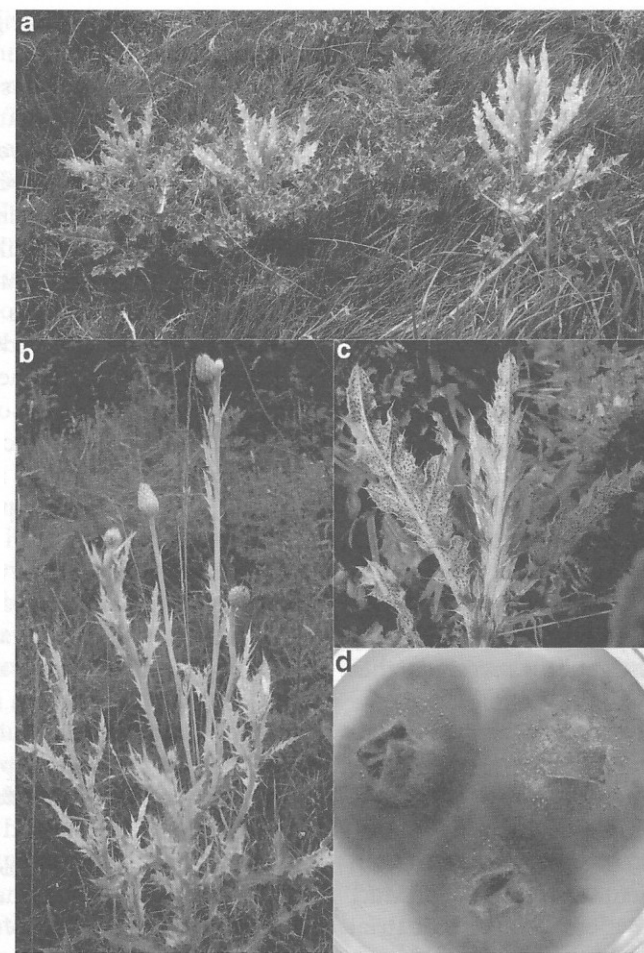
Environmentální výhoda inundativní biokontroly (úzké zaměření na konkrétní druhy plevelů => šetrnost k okolnímu prostředí) se však stává nevýhodou na trhu (viz níže), kde jsou žádoucí produkty se širokým záběrem, takže IBC se uplatní spíš v malém měřítku (zahrádky apod.).

- Z tohoto důvodu byl po několika letech stažen z trhu v Kanadě přípravek proti plevelnému slézu *Malva pusilla*, založený na *Colletotrichum gloeosporioides* (*Hypocreomycetidae*).
- V jižních státech USA je využívána *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *aeschynomene* k eliminaci *Aeschynomene virginica* (Northern jointvetch, *Fabaceae*), ale i zde poptávka kolísá.
- *Sclerotinia minor* je v Kanadě užívána k eliminaci pampelišek v trávníku (působí na dvouděložné rostliny, travám nevadí).

- Řada patogenů (rzi i vřeckaté houby) byla zkoušena na eliminaci *Cirsium arvense* (u nás běžný pcháč je invazní v Severní Americe a na Novém Zélandu), ale vždy se očekávání ukázala spíše přehnaná; recentně se nadějně jeví určité toxinogenní kmeny *Phoma macrostoma* (*Pleosporales*; jinak spíše nespecifický patogen dřevin), jejichž využití je zkoušeno i proti jiným bylinám v polích, trávnících i lesních školkách.

Fig. 6.4. White tip disease of *Cirsium arvense* (creeping or Canada thistle) in southern England, caused by a strain of *Phoma macrostoma* that produces novel plant toxins (macrocidins). (a) Early stage with characteristic bleaching of the vegetative shoots. (b) Later stage with bleaching of the inflorescence. (c) Bleached leaves also

infected by the systemic rust, *Puccinia punctiformis*. (d) Surface-sterilised, white-tip leaf pieces on agar plate, showing consistent isolation of *Phoma macrostoma*, typified by a red pigment in the mycelium and pycnidia with prominent ostioles



Harry C. Evans: Biological control of weeds of fungi. In: Frank Kempken (ed.): The Mycota XI. Agricultural applications (2nd ed., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013), pp. 145–172.

- Naopak americkým druhem invazním v Evropě je střemcha *Prunus serotina*, proti které byl v Nizozemí používán přípravek s pevníkem *Chondrostereum purpureum* (primárně však prodáváný spíše jako přípravek napomáhající rozkladu dřeva).

- V subsaharské Africe jsou vážnými plevely v polích kukuřice, prosa a čiroku druhy rodů *Striga* a *Orobanche* (parazité z čeledi *Orobanchaceae*, tvořící velké množství semen s dlouhodobým přežíváním v půdě); růst těchto rostlin eliminují specifické kmeny *Fusarium oxysporum* (případně *Fusarium solani*), jejichž metabolity též inhibují klíčení semen zázrazovitých rostlin.

Virulenci biocontrol agents lze zvýšit i cestou **genetických modifikací** => cílem může být produkce specifických aminokyselin (inhibujících cílové rostliny) nebo sloučenin ovlivňujících metabolismus rostlin (etylen, kyselina abscisová, kyselina šťavelová, gibereliny, ...); vhodné geny mohou zlepšit i možnost přežívání žádoucího patogena v prostředí.

Dalším krokem může být zjištění konkrétních aminokyselin (jejichž nadprodukce má na svědomí vyšší virulenci konkrétních formae speciales), jejich získání a přímá aplikace v cílovém porostu – jde o přesně cílenou metodu, jež s sebou nese minimální nebezpečí pro prostředí.

V neposlední řadě je možné objevit biocontrol agents šířící se v půdě, kde mohou efektivně napadat semennou banku plevelných rostlin.

Užití mykoherbicidů má přece jen určitá omezení:

- přežívání spor (delší převoz může vést ke ztrátě viability, potažmo virulence) a nároky na klíčení (teplota, vlhkost); lepší možností přenosu do nových oblastí může být dovezení infikovaných rostlin;
 - genetická variabilita hostitelů (včetně rezistentních odrůd); z případových studií (*Marabalia*, *Diabole*, viz výše) vyplývá, že aby se patogenicita plně projevila v přírodě, musí se vhodný patotyp houby (typicky rzi) setkat s příhodným biotypem „cílové“ rostliny (je dost možné že ve výše uvedeném případě *Diabole* /*Sphaerulina* vs. *Mimosa pigra* se vhodné typy nesešly, podobně různé patotypy rzí z Ameriky nebyly účinné na *Micania micrantha* v Indii);
 - měnící se podmínky prostředí a možné interakce s jinými organismy ve fylopláně;
 - v případě průmyslové výroby zajištění stabilní účinnosti při různé době skladování inokula
- => důsledkem je, že ne vždy se jejich aplikace ekonomicky vyplatí.

Ve srovnání s „bojem“ proti hmyzím škůdcům jsou finančně „podhodnoceny“ i výzkumy parazitů plevelných rostlin; náklady strmě navyšuje hledání vhodných kombinací patotypu s biotypem hostitele (testy v cílové zemi + nutná karanténní opatření). Legislativním problémem je v některých zemích boj proti „bio-pirátství“, omezující (až znemožňující) vývoz druhů z dané země do jiných oblastí (toto je dost „volné“ v Latinské Americe, zatímco třeba v Indii byl problém i s vývozem rostlin rodu *Miconia* ke studiu). K tomu přistupuje určitá „patofobie“, již lze zaznamenat u vědců, veřejnosti i odpovědných orgánů – zkrátka strach vypustit do svého prostředí patogenní houbu (odkudsi z ciziny v případě CBC), která se sama množí, šíří, může se vymknout kontrole...

A tak zatímco biofungicidy a bioinsekticidy (viz dále) jsou často založeny na houbách i ve světovém měřítku, bioherbicidy zatím neprorazily a trhu dále vládnou herbicidy chemické. Negativní zkušenosti s komerčním neúspěchem specifických patogenů povedou spíše ke snaze vyrábět prostředky založené na indigenních zdrojích, obsahující houby s širším záběrem (zde se nejspíš uplatní lignikolní patogeni dřevin, jako jsou invazní pěnišníky v Evropě, *Morus papyrifera* v Africe, chininovník na Galapágách, ...), nebo využití toxinogenních hub (*Phoma macrostoma*, viz výše), které mohou konkurovat běžným herbicidům rychlostí a účinností likvidace cílových rostlin.

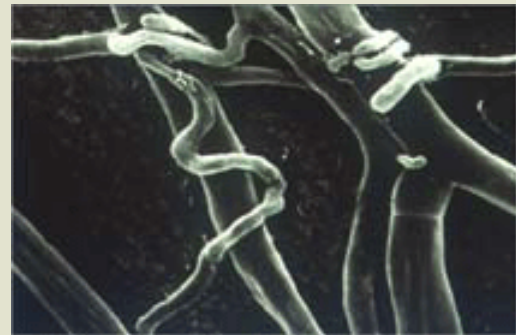
"BIOLOGICKÝ BOJ" PROTI HOUBOVÝM "ŠKŮDCŮM"

Jiné druhy hub je možno využít pro **eliminaci houbových patogenů** – buď jde o přímou likvidaci (mykoparazitismus, antibiotické interakce) nebo kompetici o živiny.

Použití biotrofních parazitů je limitováno hostitelskou specificitou, nemožností je uměle pěstovat a tím i obtížnou distribucí. Spíše jsou využíváni mykoparazité nekrotrofní, zejména druhy s širokým spektrem hostitelů – např. druhy rodu ***Trichoderma*** (*Hypocreales*; jsou známy i jako endofyté v tělech rostlin) mají za hostitele zástupce rodů *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, *Fusarium*, *Verticillium*, dokonce i oomycety *Pythium* a *Phytophthora*. Působí buď přímo paraziticky (rozrušují buněčné stěny v pletivech napadených hub) nebo antibioticky (produkcí sekundárních metabolitů, působících toxicky na různé skupiny eukaryot a prokaryot). Komerčně jsou využívány druhy *Trichoderma harzianum*, *T. viride* a *T. hamatum*, které kromě negativního účinku na jiné houby (ať už parazitismem nebo kompeticí spojenou s antibiózou) mohou i stimulovat u rostlin rezistenci nebo přispívat k inaktivaci enzymů patogenních hub. Přípravky z těchto hub jsou aplikovány do půdy, máčením semen nebo postřikem listů (jsou schopné eliminovat i *Botrytis cinerea*).

Hyfy *Trichoderma* sp. ovíjející se kolem hyf *Rhizoctonia solani*.

http://www.weizmann.ac.il/Biological_Chemistry/scientist/Chet/Chet.html



Ampelomyces quisqualis (*Pleosporales*) je hyperparazit, napadající padlí. Jeho výhodou je, že specificky napadá právě houby z řádu *Erysiphales*, ale v rámci tohoto řádu napadá široké spektrum hostitelů. Při opakované aplikaci a za dostatečné vlhkosti může u padlí redukovat tvorbu spor a v krajním případě i hostitele usmrtit.

V Británii, Švýcarsku a Skandinávii je aplikována umělá inokulace jehličnanů suspenzí spor ***Phlebiopsis gigantea*** (= *Peniophora gigantea*, *Polyporales*). Hyfy této houby působí antagonisticky na *Heterobasidion annosum* – při styku dochází k rozpadu hyf tohoto vážného fytopatogena (tzv. hyfové interference – viz *Vzájemné působení mycelií v přednášce Ekologie hub*).



Vlevo *Ampelomyces quisqualis*, konidie uvolňované z pyknidy.

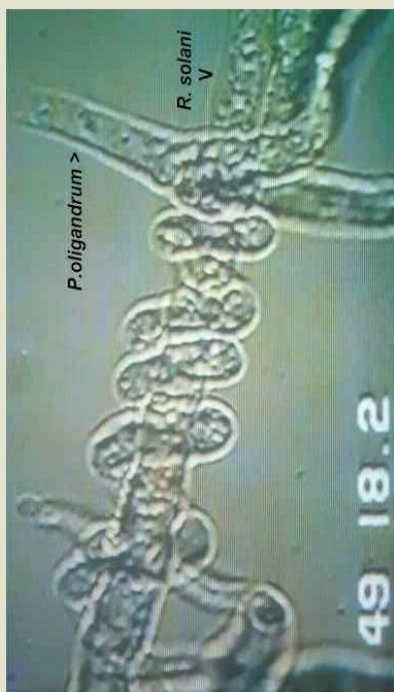
Foto David Gadoury, <http://www.biocontrol.entomology.cornell.edu/pathogens/ampelomyces.php>

Vpravo rozlité plodnice *Phlebiopsis gigantea* na borovém kmeni.

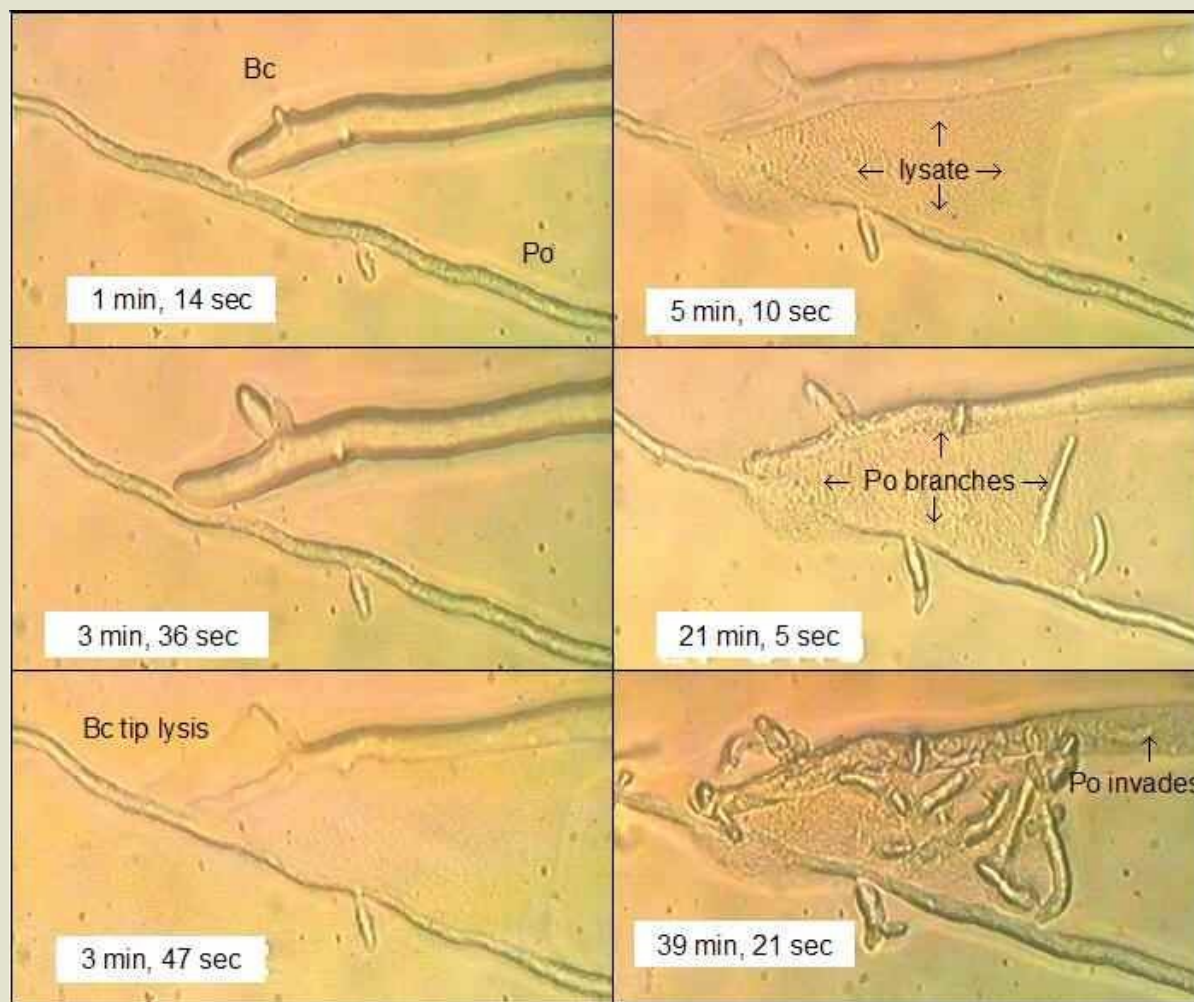
Foto Lucie Zíbarová, http://www.mykologie.net/index.php/houby/podle-morfologie/korticie/item/1237-phlebiopsis_gigantea

Jako „chytrá houba“ je prezentováno ***Pythium oligandrum*** – oomycet, který působí antagonisticky proti řadě půdních hub (enzymaticky rozkládá mycelia a sklerocia, může být i přímým mykoparazitem) a v interakci s kořeny rostlin produkuje protein oligandrin – ten v rostlinách indukuje rezistenci i proti houbám napadajícím nadzemní části.

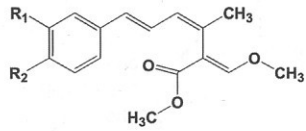
Foto Jim Deacon,
http://archive.bio.ed.ac.uk/jdeacon/FungalBiology/chap12_2.htm



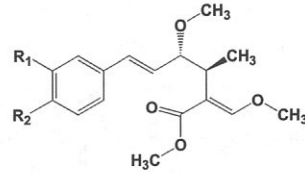
Kontakty hyf *Pythium oligandrum*: vpravo s *Botrytis cinerea*, vlevo obtáčí hyfy *Rhizoctonia solani*.



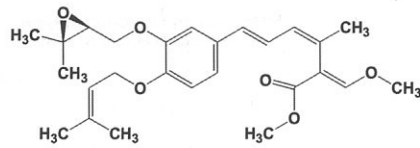
Významné ve světovém měřítku (v současnosti 1/5 celosvětové výroby fungicidů!) jsou **strobiluriny** a **oudemansiny** (viz též *Antibiotika*), objevené v různých *Agaricales* (ale třeba i ve vřeckaté houbě *Bolinia lutea*), rostoucích od tropických po mírné pásy různých kontinentů. Výhodou těchto látek je vysoce selektivní působení na určité houby i oomycety (jsou používány například k eliminaci *Botrytis*, padlí nebo *Peronosporales*).



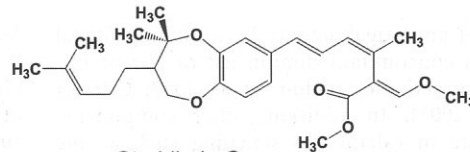
Strobilurin A: $R_1 = R_2 = H$
 Strobilurin B: $R_1 = OCH_3$; $R_2 = Cl$
 Strobilurin C: $R_1 = OCH_2-CH=C(CH_3)_2$
 $R_2 = H$



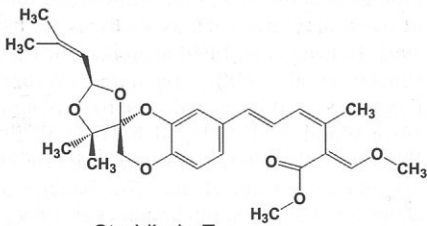
Oudemansin A: $R_1 = R_2 = H$
 Oudemansin B: $R_1 = OCH_3$; $R_2 = Cl$
 Oudemansin X: $R_1 = H$; $R_2 = OCH_3$



Strobilurin D



Strobilurin G



Strobilurin E

Fig. 6.12. Structures of some strobilurins and oudemansins

Gerhard Erkel: Non- β -lactam antibiotics. In: Martin Hofrichter (ed.), *The Mycota X. Industrial applications* (2nd ed., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010), pp. 123–149.

V současnosti je intenzivně zkoumáno parazitické i antibiotické působení ***Clonostachys rosea*** (= *Gliocladium roseum*, *Hypocreales*) proti houbám, živočichům i bakteriím.

Lze uvést i další příklady hub působících proti jiným houbám: *Chaetomium* => *Venturia*; *Coniothyrium* => *Sclerotinia*; *Cladosporium* => *Botrytis*; *Penicillium* => *Rhizoctonia*; *Sclerotinia*, *Fusarium*, *Verticilium* => *Puccinia*.

Saprotrofní houby působící antibioticky je možno aplikovat i preventivně, například jimi ošetřit semena nebo semenáčky rostlin. Aplikace nepatogenních kmenů určitého druhu může eliminovat následnou infekci patogenními kmeny téhož druhu (*Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum*).

Na druhou stranu některé druhy mají omezenou životnost (jsou schopny kolonizovat půdu, eliminovat některé patogeny, ale po čase obvykle podlehnou kompetičně silnějším druhům) => jsou dobré pro ošetření semenáčků, ale nezajistí dlouhodobou ochranu v polní půdě.

Omezená využitelnost kompetice mezi různými druhy tkví v tom, že vede k potlačení klíčení, rozrůstání hyf a šíření "slabších" druhů, ale nemá vliv na přežívání stadia (neeliminuje tedy množství inokula v prostředí a potenciál vyvolat nákazu v budoucnu).

Obecně vzato je aplikace hub proti jiným houbám účinná v laboratořích nebo ve sklenicích, ale omezeně v polních kulturách.

| Biocontrol agent | Disease | References |
|--|---|---|
| <i>Candida guilliermondii</i> | Blue mould (<i>Penicillium expansum</i>) | McLaughlin et al. (1990) |
| | Grey mould (<i>Botrytis cinerea</i>) | McLaughlin et al. (1992) |
| <i>Candida oleophila</i> | <i>Penicillium</i> rot (<i>Penicillium expansum</i>) | El-Neshawy & Wilson (1997) |
| | Grey mould (<i>Botrytis cinerea</i>) | Mercier & Wilson (1994) |
| <i>Candida saitoana</i> | Grey mould of apple (<i>Botrytis cinerea</i>) | El-Ghaouth et al. (2003) |
| <i>Candida sake</i> | <i>Penicillium</i> rot (<i>Penicillium expansum</i>) | Viñas et al. (1996) |
| | Grey mould (<i>Botrytis cinerea</i>) | Viñas et al. (1998) |
| | <i>Rhizopus</i> rot (<i>Rhizopus nigricans</i>) | Viñas et al. (1998) |
| | <i>Botrytis</i> bunch rot (<i>Botrytis cinerea</i>) | Calvo-Garrido et al. (2013) |
| <i>Clonostachys rosea</i> | <i>Fusarium</i> dry rot (<i>Fusarium avenaceum</i> , <i>Fusarium caeruleum</i>) | Jima (2013) |
| | Grey mould (<i>Botrytis cinerea</i>) | Reeh (2012) |
| <i>Cryptococcus albidus</i> | <i>Mucor</i> rot (<i>Mucor piriformis</i>) | Roberts (1990b) |
| | Grey mould (<i>Botrytis cinerea</i>) | Fan & Tian (2001) |
| | Blue mould (<i>Penicillium expansum</i>) | Chand-Goyal & Spotts (1996), Calvo et al. (2003) |
| <i>Cryptococcus flavus</i> | <i>Mucor</i> rot (<i>Mucor piriformis</i>) | Roberts (1990b) |
| <i>Cryptococcus laurentii</i> | Bitter rot (<i>Glomerella cingulata</i>) | Blum et al. (2004) |
| | <i>Mucor</i> rot (<i>Mucor piriformis</i>) | Roberts (1990b) |
| | Grey mould (<i>Botrytis cinerea</i>) | Chand-Goyal & Spotts (1997), Zhang et al. (2005), Zhang et al. (2007) |
| | Blue mould (<i>Penicillium expansum</i>) | Zhang et al. (2003), Zhang et al. (2007) |
| | <i>Rhizopus</i> rot (<i>Rhizopus stolonifer</i>) | Zhang et al. (2007) |
| <i>Cystofilobasidium infirmominiatum</i> | <i>Penicillium</i> rot of apple (<i>Penicillium expansum</i>) | Liu et al. (2011b) |
| <i>Epicoccum nigrum</i> | Brown rot of stone fruits (<i>Monilinia laxa</i>) | Madrigal et al. (1994), Poschi et al. (1995) |
| <i>Kloeckera apiculata</i> | Grey mould (<i>Botrytis cinerea</i>) | McLaughlin et al. (1992) |
| | <i>Rhizopus</i> rot (<i>Rhizopus stolonifer</i>) | McLaughlin et al. (1992), Qing & Shiping (2000) |
| <i>Leucosporidium scottii</i> | Blue mould of apple (<i>Penicillium expansum</i>) | Vero et al. (2013) |
| | Grey mould of apple (<i>Botrytis cinerea</i>) | Vero et al. (2013) |
| <i>Metschnikowia fructicola</i> | Apple rot (<i>Penicillium expansum</i>) | Liu et al. (2011a) |
| <i>Metschnikowia pulcherrima</i> | Blue mould (<i>Penicillium expansum</i>) | Spadaro et al. (2002), Janisiewicz et al. (2001) |
| | Grey mould (<i>Botrytis cinerea</i>) | Spadaro et al. (2002) |
| <i>Penicillium roqueforti</i> and <i>Penicillium viridicatum</i> | Black rot disease (<i>Aspergillus niger</i>) | Khokhar et al. (2013) |
| <i>Pichia caribbica</i> | <i>Rhizopus</i> rot of peach (<i>Rhizopus stolonifer</i>) | Xu et al. (2013) |
| <i>Pichia fermentans</i> | Apple and peach decay (<i>Monilinia fructicola</i> and <i>Botrytis cinerea</i>) | Fiori et al. (2012) |

| Biocontrol agent | Disease | References |
|-----------------------------------|---|---|
| <i>Pichia guilliermondii</i> | Grey mould (<i>Botrytis cinerea</i>) | Wisniewski et al. (1991a) |
| <i>Pichia membranifaciens</i> | <i>Penicillium expansum</i> (peach) | Chan et al. (2007) |
| | Apple fruit decay (<i>Penicillium expansum</i> , <i>Monilinia fructicola</i> , <i>Rhizopus stolonifer</i>) | Chan & Tian (2005) |
| <i>Rhodosporidium paludigenum</i> | Pear fruit decay (<i>Alternaria alternata</i> , <i>Penicillium expansum</i>) | Wang et al. (2010a) |
| <i>Rhodotorula glutinis</i> | Apple fruit decay (<i>Penicillium expansum</i> , <i>Botrytis cinerea</i>) | Zhang et al. (2009) |
| <i>Trichoderma atroviride</i> | <i>Phomopsis</i> sp. | Das et al. (2014) |
| <i>Trichoderma hamatum</i> | Fungal diseases (<i>Phytophthora palmivora</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Fusarium</i> spp., <i>Sclerotium rolfsii</i> , <i>Pythium</i> sp.) | Ha (2010), Ngullie et al. (2010) |
| <i>Trichoderma harzianum</i> | Grey mould (<i>Botrytis cinerea</i>) | Batta (1999, 2003) |
| | Blue mould (<i>Penicillium expansum</i>) | Batta (2004) |
| <i>Trichoderma koningii</i> | <i>Alternaria</i> diseases (<i>Alternaria alternata</i>) | Odeh (2006), Shaikh & Nasreen (2013) |
| <i>Trichoderma pseudokoningii</i> | Brown rot (<i>Monilinia laxa</i>) | Tronsmo & Raa (1977) |
| <i>Trichoderma viride</i> | Fruit rots (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>) | Ngullie et al. (2010), Jagtap et al. (2013) |

Shazia Parveen, Abdul Hamid Wani, Mohd Yaqub Bhat, Jahangir Abdullah Koka: (2016): Biological control of postharvest fungal rots of rosaceous fruits using microbial antagonists and plant extracts. – Czech Mycol. 68(1): 41–66.

Různé druhy kvasinkovitých (*Candida*, *Cryptococcus*, *Metschnikowia*, *Pichia*) i vláknitých hub (zejména z rodu *Trichoderma*) jsou aplikovány jako antagonisté hub napadajících sklizené plody během skladování a transportu (viz *Hospodářské škody, hniloby a plesnivění*).

"BIOLOGICKÝ BOJ" PROTI ŽIVOČIŠNÝM "ŠKŮDCŮM"

Jako **insekticidní houby** jsou nejvíce využívány anamorfy některých hub z řádu *Hypocreales* – *Beauveria*, *Metarhizium*, *Lecanicillium*.

Ekologicky jde o saproparazity, schopné střídat patogenní působení v živých hostitelích s růstem na mrtvém těle nebo i v půdě (*Metarhizium*).

Na hmyzu houba vyklíčí, vytvoří apresorium a pronikne kutikulou (s využitím proteáz a chitináz) nebo vyklíčí v těle (je-li pozřena), rozrůstá se v myceliální formě nebo přejde v kvasinkovitou formu (blastospory nebo hyfová tělíska) a je roznášena hemolymfou => smrt hmyzu způsobí buď přímé působení houby (roزرůstání hyf v tělní dutině, vyčerpání tělních cukrů nebo přímé „trávení“ obsahu těla), nebo s přispěním toxických metabolitů (beauvericin, cyklické peptidy) => houba prorůstá na povrch těla a uvolňuje konidie.

Houby přežívající v půdě mohou být parazity půdních larev; výhodou jejich působení je určitá "samoregulace" (pomnožení larev => větší šance že na sebe nabalí spory => rozšíření zoopatogenní houby => redukce stavu larev => opětný pokles výskytu houby) a tím malý negativní vliv na přírodní prostředí.



Dnes jsou z těchto hub vyráběny komerční přípravky proti různým skupinám hmyzu. Saproparazitický způsob života umožňuje jejich napěstování na umělých půdách (lze je tak namnožit i uchovávat po několik měsíců) a následnou aplikaci postřikem suspenze konidií v patričné koncentraci. (Omezenou účinnost může mít jejich aplikace v případě společenského hmyzu, který při zjištění nebezpečí opustí hnízdo => jádro kolonie s královnou je tak uchráněno před nákazou.)

Foto: Aplikace suspenze se spory *Beauveria bassiana* na kávovníky v Chiapasu (Mexiko).

http://www.trevorwilliams.info/natural_enemies.htm

Beauveria bassiana je houbou odedávna likvidující chovy bource v Číně, ale po rozpoznání původce choroby začala být šířeji používána proti různým druhům motýlů. Jde o anamorfu rodu *Cordyceps* s širokým záběrem hostitelů (kromě motýlů napadá též molice, mšice, termity, rovnokřídlé, brouky nebo mravence) – díky tomu je ovšem neselektivní, při aplikaci v přírodě může likvidovat i „užitečný“ hmyz. V zemědělství jsou proto aplikovány konkrétní kmeny (je mnoho kmenů tohoto druhu, které se liší patogenitou, virulencí i spektrem hostitelů), např. kmen GHA proti rovnokřídlým.

Beauveria bassiana na *Pityogenes chalcographus* (nahore)
a *Pantorhytes plutus* (dole).

C. Prior, http://www.dropdata.org/cocoa/cocoa_biological.htm



Specifické kmeny ***Metarhizium anisopliae***

(pro zjednodušení hovoříme o tomto druhu, i když mnohé kmeny jsou dnes popsány jako jiné druhy) jsou aplikovány v teplých oblastech proti termitům nebo komárům (přenašečům malárie).

Lecanicillium lecanii (dříve *Verticillium lecanii*, dnes rozlišováno více druhů v rodu *Lecanicillium*) též patří mezi anamorfy rodu *Cordyceps*. Napadá červce, mšice a molice v tropických oblastech; v našich podmínkách může být *Lecanicillium* používáno ve sklenících. Jeho chitinázy jsou schopné rozrušovat i stěny spor hub, pročež je testováno možné použití k eliminaci rzí nebo padlí.

„Růžové“ a „zelené“ stadium *Metarhizium* sp. na nymfách sarančat.

<http://www.daff.gov.au/animal-plant-health/locusts/aplc-activities/research/biological>

Z anamorf housenic je dále využívána *Isaria farinosa* (= *Paecilomyces farinosus*) proti housenkám bekyně velkohlavé; naopak další entomopatogenní druhy rodů *Cordyceps*, resp. *Ophiocordyceps* nejsou v „biologickém boji“ využívány pro nesnadnou kultivaci.

Lecanicillium lecanii na kněžici



<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/seibut/bcg/bcg00110.html>



Dalšími patogeny hmyzu, potenciálně využitelnými k biologické kontrole, jsou spájivé houby z řádu **Entomophthorales**. Jde o agresivní parazity, kteří pronikají do těla hmyzu mezi segmenty (nemají chitinázy), ale v těle se rychle rozšíří (hemolymfou, kterou zároveň „tráví“), hmyz hyne během několika dní a opět mezi segmenty pak vyrůstají sporangia (nepřesně „konidie“), která jsou uvolňována do okolí.

Entomophthora muscae je nejznámější parazit dvoukřídlých, *Entomophthora grylli* (jde o komplex druhů) cizopasí na rovnokřídlých (sarančata, kobylky), další druhy rodů *Entomophthora* a *Erynia* napadají též mšice nebo různé housenky. Nevýhodou, která zatím nedovoluje využití v praxi, je nemožnost umělé kultivace a masového napěstování těchto hub.

Foto Howard Ensign Evans, Colorado State University, Bugwood.org;
<http://www.forestryimages.org/browse/subimages.cfm?sub=18552>

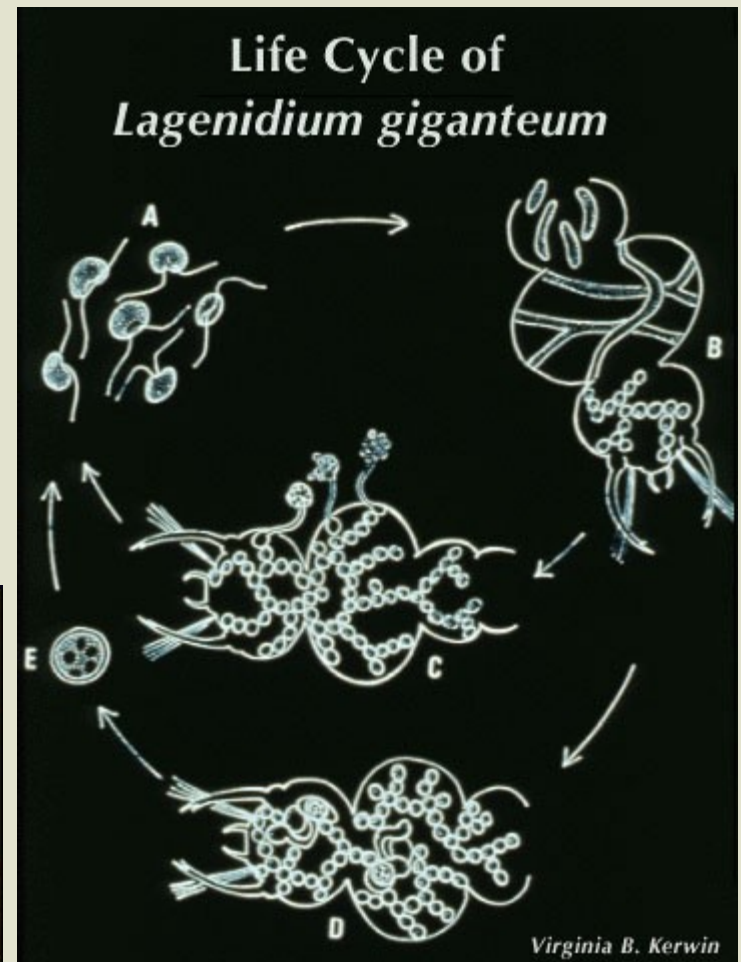


Na larvách komárů cizopasí oomycet („vodní plíseň“) ***Lagenidium giganteum*** – jde o saproparazita, jeho zoospory specificky rozpoznávají své hostitele, parazit pak kompletně proroste napadené larvy a na povrchu vytvoří bělavý povlak. Je to jeden ze dvou organismů používaných k biokontrolu komárů (druhým je *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*), který je díky své hostitelské specifitě bezpečný pro okolní prostředí.

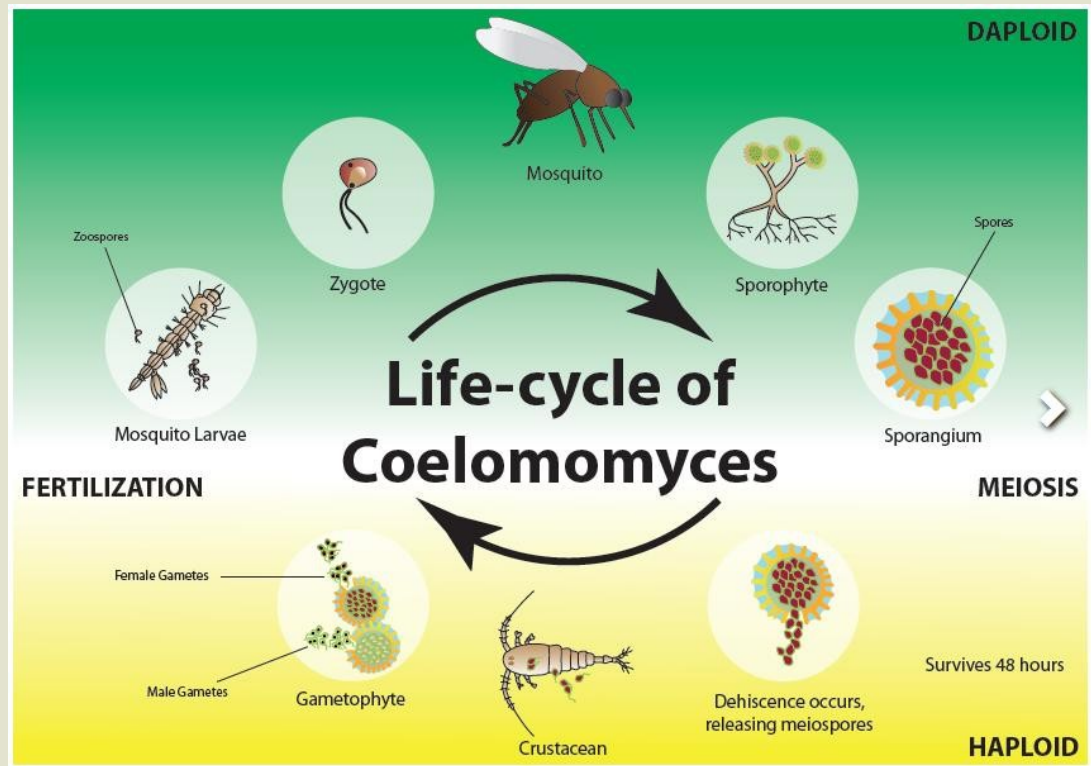
Lagenidium giganteum je možno pěstovat na umělých médiích, zejména v USA jde o masovou kultivaci ve fermentačních tancích. Následně jsou spory rozprašovány letecky na rýžová pole, ale též na útočiště tažných ptáků, kteří je pak roznášejí dále.

Larva komára *Culex tarsalis* napadená *Lagenidium giganteum*

Foto James L. Kerwin; <http://www.biocontrol.entomology.cornell.edu/pathogens/lagenidium.php>



Druhy rodu **Coelomomyces** (*Blastocladales*) cizopasí na larvách dvojkřídlého hmyzu a planktonních koryšů (řada druhů střídá v životním cyklu hostitele, jeden z řádu *Diptera*, druhý patří mezi *Copepoda* nebo *Ostracoda*). Významná je možnost využití i těchto hub k redukci stavu moskytů, i když je zde omezení v tom, že jde o obligátní parazity (nelze je napěstovat bez hostitelů) a rozsah nákazy může dost kolísat v závislosti na průběhu počasí v dané sezóně.



Zdroj: joshchangdesigns.wordpress.com;

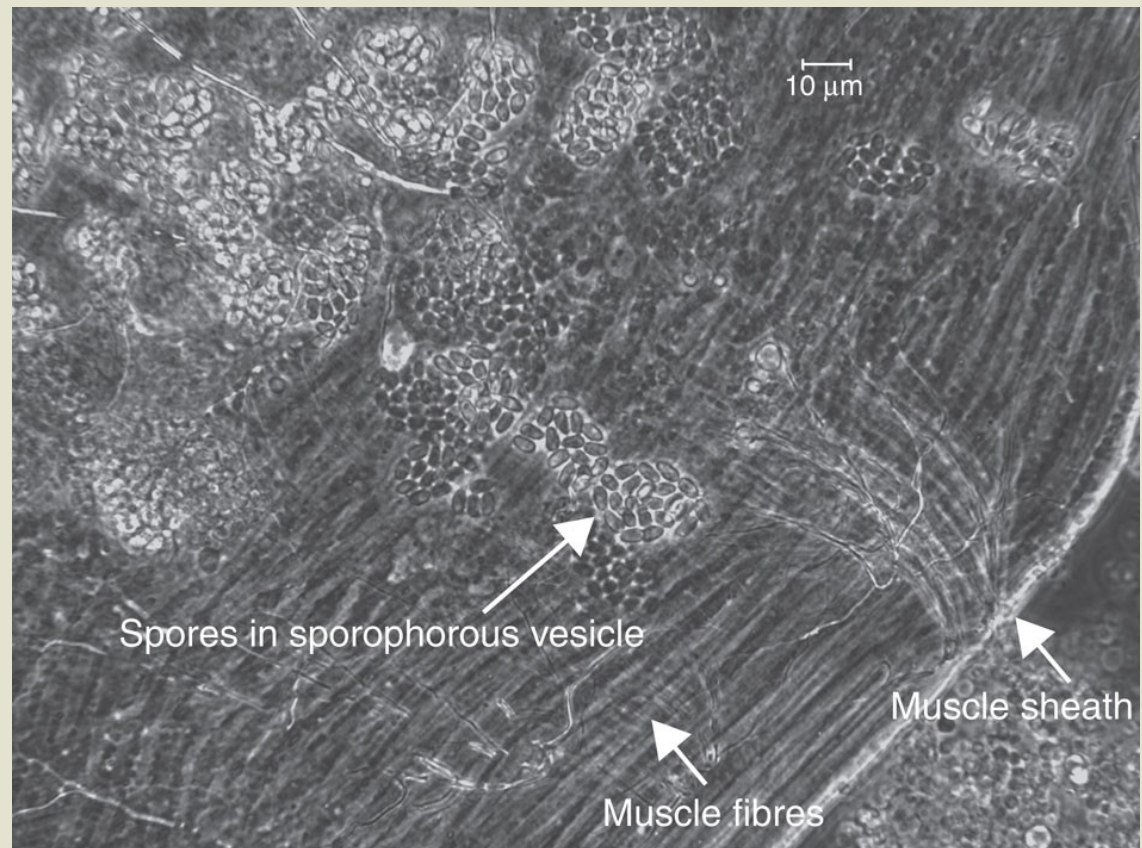
http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Coelomomyces&lang=1

Naopak v kulturách pěstovat lze druhy rodu **Catenaria** (též *Blastocladales*), též s potenciálem pro kontrolu stavů populací komářích larev (v přírodě se tak děje).

Potenciálně insekticidními organismy jsou i **mikrosporidie**, známé spíše jako škůdci v chovech hmyzu. Jejich užití je omezeno přenosem (hmyz musí pozřít sporonty, aby došlo k nákaze) a v těle působí relativně pomalu, ale i tak má omezující vliv na životaschopnost (hůře snáší nepříznivé vlivy prostředí) a reprodukci hostitele. Významné je využití druhu *Vavraia culicis* k redukci malárie - infekce komárů (*Anopheles gambiae*) negativně ovlivňuje i vývoj parazita *Plasmodium falciparum* v jejich tělech.

Spory *Vavraia culicis*
ve svalu komára
Anopheles quadrimaculatus.

Zdroj: [Christopher A. Desjardins](#), [Neil D. Sanscrainte](#), [Jonathan M. Goldberg](#), [David Heiman](#), [Sarah Young](#), [Qiandong Zeng](#), [Hiten D. Madhani](#), [James J. Becnel](#), [Christina A. Cuomo](#): [Contrasting host–pathogen interactions and genome evolution in two generalist and specialist microsporidian pathogens of mosquitoes](#). Nature Communications 6, Article number 7121, doi:10.1038/ncomms8121; http://www.nature.com/ncomms/2015/150513/ncomms8121/fig_tab/ncomms8121_F5.html

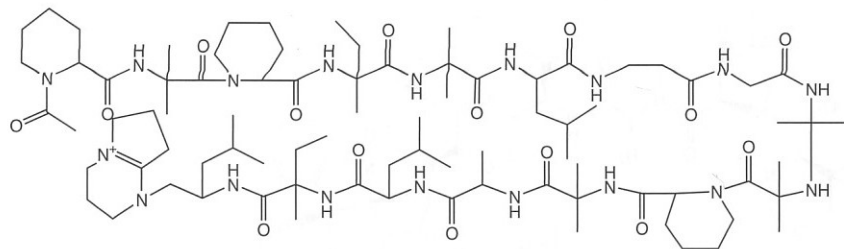


Insekticidně působí též některé **sekundární metabolity hub**, např. kyselina kojová (kojic acid; *Aspergillus flavus*, *A. oryzae*), omphalotin (*Omphalotus olearius*) nebo **muscazon** (*Amanita muscaria*). Z muchomůrky červené jsou též získávány derivát **muscimolu** (pesticid) a **kyselina ibotenová** (v potravinářství je alternativou konzervačního činidla glutamanu sodného). Účinné metabolity insekticidních a nematocidních hub (*Beauveria*, *Verticillium*, *Paecilomyces*, *Cordyceps* aj.) jsou především charakteru cyklických nebo lineárních **peptidů**; řada těchto látek je v současné době vyráběna i chemicky.

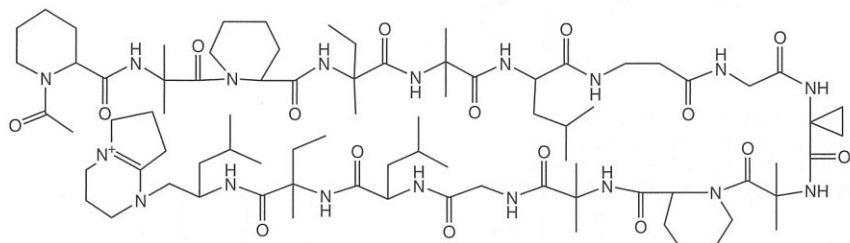
Heidrun Anke: Insecticidal and nematocidal metabolites from fungi. In: Martin Hofrichter (ed.), The Mycota X. Industrial applications (2nd ed., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010), pp. 151–163.

Table 7.1. Examples of insecticidal and nematocidal compounds reported lately. The structures are given in Figs. 7.1–7.5

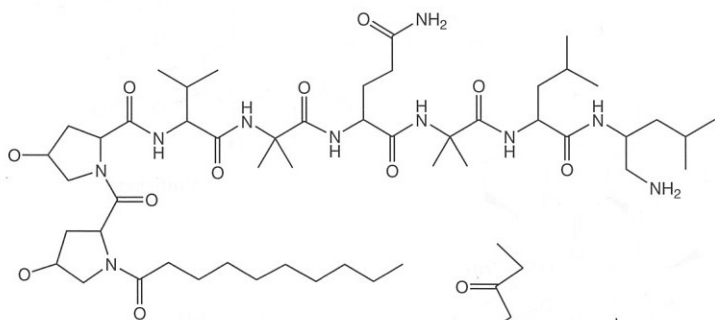
| Producing fungus | Compound | Structure | References |
|-----------------------------------|---|-----------|---------------------------|
| <i>Geotrichum candidium</i> | Neofrapeptin A | Fig. 7.1 | Fredenhagen et al. (2006) |
| Marine isolate | Efrapeptin G | Fig. 7.1 | Nagaraj et al. (2001) |
| <i>Cordyceps heteropoda</i> | Cicadapeptin I | Fig. 7.1 | Krasnoff et al. (2005) |
| <i>Paecilomyces lilacinus</i> | Leucinostatin B | Fig. 7.1 | Park et al. (2004) |
| <i>Omphalotus olearius</i> | Omphalontins E–I | Fig. 7.2 | Liermann et al. (2009) |
| <i>Nigrosabulum globosum</i> | Pseudodestruxin A | Fig. 7.2 | Che et al. (2000) |
| <i>Beauveria bassiana</i> | Beauverolide N | Fig. 7.2 | Kuzma et al. (2003) |
| <i>Verticillium</i> sp. FKI-1033 | Verticilide | Fig. 7.2 | Momna et al. (2006) |
| <i>Gliocladium</i> sp. FTD-0668 | Argifin | Fig. 7.3 | Arai et al. (2000) |
| <i>Laeptosphaeria maculans</i> | Sirodesmin PL | Fig. 7.3 | Boudart (1989) |
| <i>Metarhizium anisopliae</i> | Serinocyclin | Fig. 7.3 | Krasnoff et al. (2007) |
| <i>Epichloe typhina</i> | Epichlicin | Fig. 7.3 | Seto et al. (2007) |
| <i>Fusarium</i> sp. | Apicidin | Fig. 7.3 | Singh et al. (2002) |
| <i>Penicillium cluniae</i> | Paraherquamides H, I | Fig. 7.4 | López-Gresa et al. (2006) |
| <i>Galiella rufa</i> | Pregaliellalactone | Fig. 7.4 | Köpcke et al. (2002a, b) |
| <i>Penicillium</i> sp. FKI-2140 | Quinololone B, yaequinolones D, F | Fig. 7.4 | Uchida et al. (2006a, b) |
| <i>Penicillium bilaiae</i> | Penipratynolene, 2, 6-pyridinedicarboxylic acid | Fig. 7.4 | Nakahara et al. (2004) |
| <i>Penicillium citrinum</i> | Quinolactacide | Fig. 7.4 | Abe et al. (2005) |
| <i>Penicillium simplicissimum</i> | Peniprequinolone | Fig. 7.4 | Kusano et al. (2000) |
| <i>Aspergillus niger</i> | Nafuredin- γ | Fig. 7.4 | Omura et al. (2001) |
| <i>Nodulisporium</i> sp. | Nodulisporic acids B ₂ , C | Fig. 7.5 | Onydeyka et al. (2003) |
| <i>Coronophora gregaria</i> | MK7924 | Fig. 7.5 | Kumazawa et al. (2003) |
| <i>Penicillium expansum</i> | Communesins C, D, E | Fig. 7.5 | Hayashi et al. (2004) |



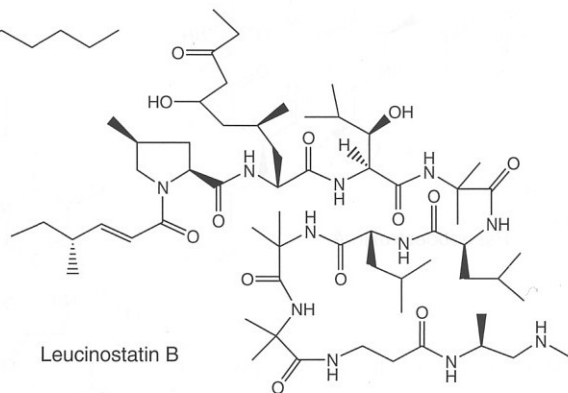
Efrapeptin G



Neofrapeptin A

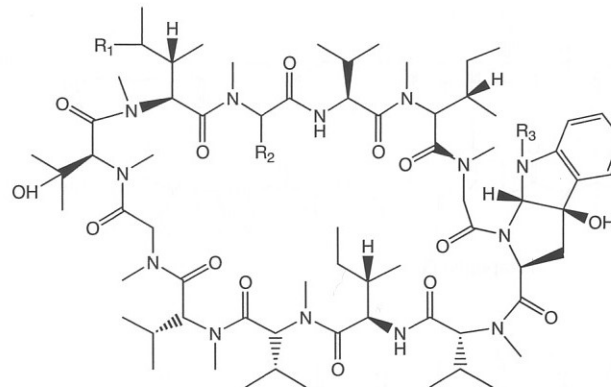


Cicadapeptin I



Leucinoctatin B

Houby produkující
tyto látky viz v tab. 7.1
(zde je vlevo fig. 7.1,
vpravo fig. 7.2).

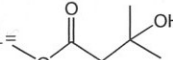


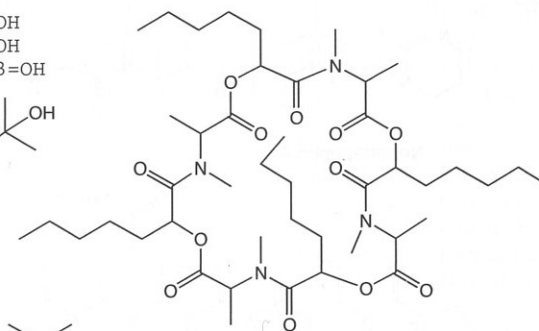
Omphalotin E: R₁, R₂, R₃=H

Omphalotin F: R₁, R₂=H, R₃=OH

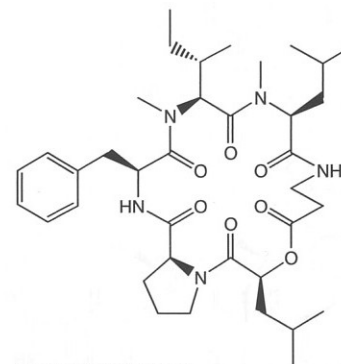
Omphalotin G: R₁=H, R₂, R₃=OH

Omphalotin H: R₁, R₂=OAc, R₃=OH

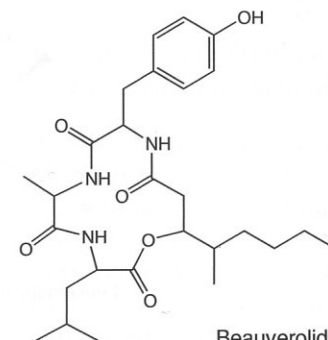
Omphalotin I: R₁=
R₂=OAc, R₃=OH



Verticillide



Pseudodestruxin A

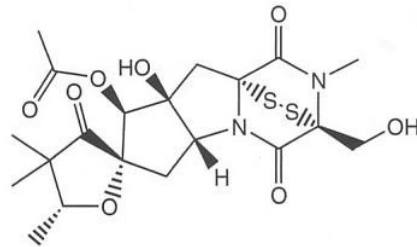


Beauverolide N

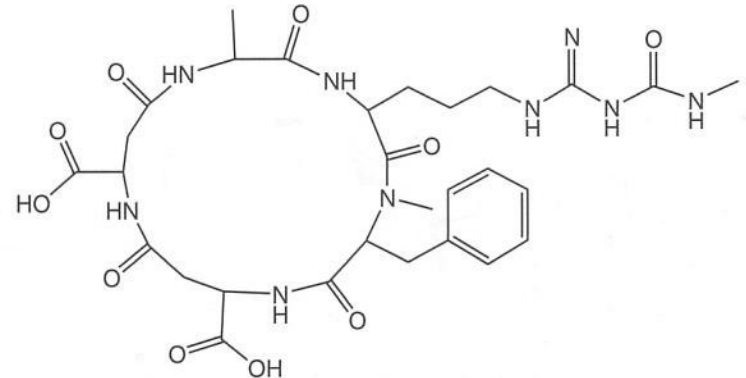
Heidrun Anke:
Insecticidal and
nematicidal
metabolites from
fungi. In: Martin
Hofrichter (ed.),
The Mycota X.
Industrial
applications
(2nd ed., Springer
Verlag, Berlin,
Heidelberg, 2010),
pp. 151–163.

Některé látky působí i na jiné skupiny organismů – sirodesmin PL (*Leptosphaeria maculans*) má fytotoxické, antibakteriální i insekticidní účinky; argifin a argadin (*Clonostachys / Gliocladium* spp.) inhibují chitinázu produkovanou bakterií *Serratia marcescens*, efrapeptiny mají insekticidní i antiprotozoální účinky (možná antimalarika).

Heidrun Anke: Insecticidal and nematocidal metabolites from fungi. In: Martin Hofrichter (ed.), *The Mycota X. Industrial applications* (2nd ed., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010), pp. 151–163.



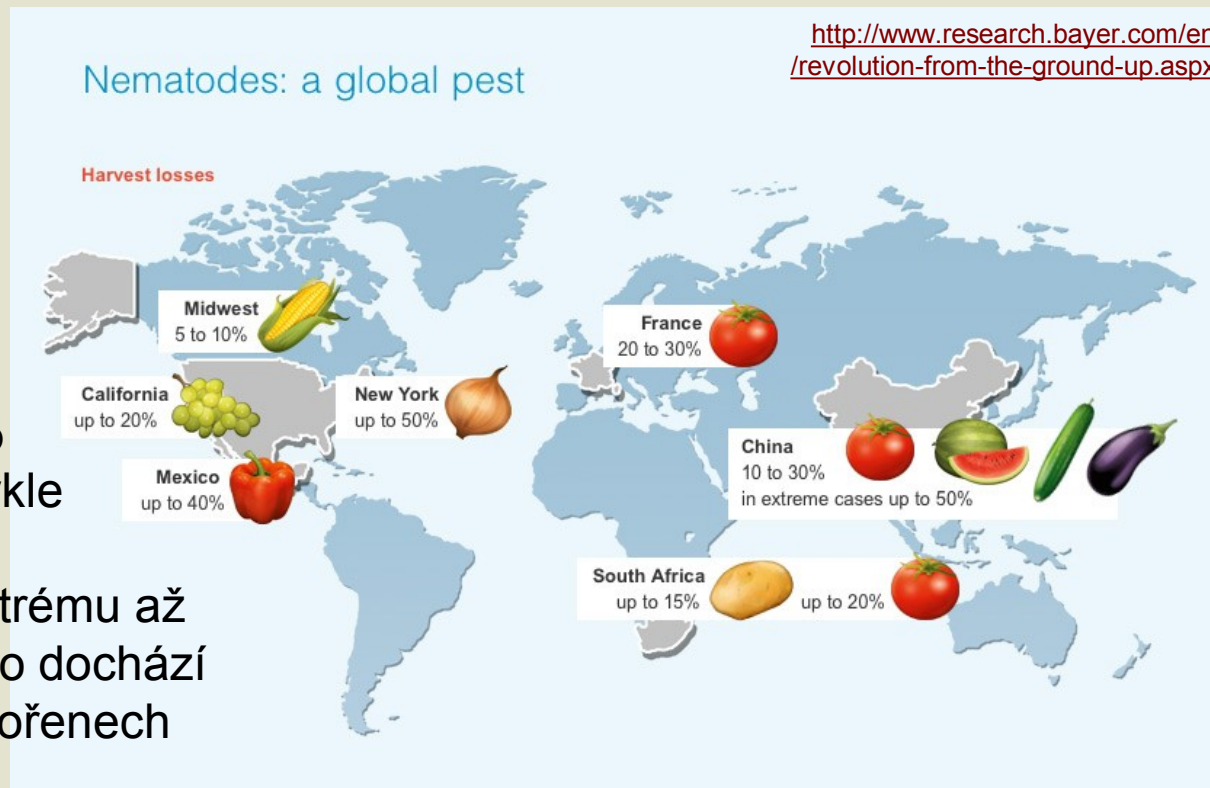
Sirodesmin PL



Argifin

V posledních letech jsou předmětem výzkumu možnosti využití působení vyšší koncentrace **lolinů** (alkaloidy endofytických hub z rodů *Epichloë* / *Neotyphodium*) na mšice, brouky a hlísty; působí i jako inhibitory růstu fytopatogenních hub (*Cladosporium*, *Leptosphaeria*, *Fusarium*).

Další skupinou, proti které člověk "vede boj", jsou parazitická **hlísti v tělech živočichů** (obvykle jejich vajíčka vyjdou ven s trusem a larvy jsou pak zase spaseny s trávou) **nebo na rostlinách** – ty obvykle přímo nelikvidují, ale omezují jejich růst (v extrému až žloutnutí a vadnutí) nebo dochází k tvorbě novotvarů na kořenech i nadzemních částech.



Nematicidní účinky mají sloučeniny některých endofytických hub – ve veterinární medicíně je využíván emodepsid, semisyntetický peptid odvozený z látky produkované xylarioidními endofyty rostoucími v *Camellia japonica*; dále jsou využívány paraherquamidy (z *Penicillium* spp.) na intestinální parazity, nafuredin (*Aspergillus niger*) na *Haemonchus contortus* v žaludku ovcí nebo hydroxylované omphalotiny na *Meloidogyne incognita* (parazit kořenů rostlin).

V přírodě má nematicidní (podobně jako insekticidní) účinky často kombinace různých metabolitů, působících v synergickém efektu.

Ideálními houbami pro **redukci stavu hlístů** jsou endoparazitické houby s vysokou hostitelskou specificitou – právě ta je však na druhou stranu příčinou jejich omezené použitelnosti, neboť je prakticky nemožné si je "napěstovat" mimo těla hostitelů.

Příliš použitelné pro tyto účely nejsou ani "dravé houby" (*více viz kapitolu Parazitismus v přednášce Ekologie hub*), sice schopné žít i volně v půdě, ale druhově nespecifické (mohou "lovit" škodlivé i užitečné hlísty); nejvíce je aktuálně testován *Arthrobotrys oligospora*. Možnost redukce stavu zoopatogenních hlístů představuje inokulace "dravých hub" do trusu (ideální způsob je napojit zvířata vodou s inokulem, které vyklíčí po průchodu trávicím traktem) => vyklíčivší houba pak napadá líhnoucí se larvy.

Šanci na úspěch má použití hub, které v dané oblasti přirozeně cizopasí na místních hlístech. Ideální je jejich získání z půdy, kultivace, selekce druhů adaptovaných na místní podmínky a nežádoucí druhy hlístů => následné použití v případě jejich zvýšeného výskytu. Z druhu *Purpureocillium lilacinum* (= *Paecilomyces lilacinus* s širokým spektrem hostitelů) byly získány hostitelsky specifické kultury, napadající v půdě cysty a vajíčka háďátek, podobně jako *Pochonia chlamydospora* (= *Verticillium chlamydosporium*).

Zajímavostí je australský příklad vzájemných vztahů rostliny, hlísta, houby a bakterie: Na jílku *Lolium rigidum* (běžný druh tamních pastvin) se vyskytuje bakterie *Rathayibacter toxicus*, jejíž metabolity činí trávu jedovatou. Tato bakterie se nevyskytuje v přítomnosti slabě fytopatogenní houby *Dilophospora alopecuri*. Na jílku též parazituje hlíst *Anguina funesta* (přežívá v semenech do další generace), který na svém těle může přenášet bakterii nebo houbu. Přítomnost hlísta a houby tak sice znamená napadení rostliny, ale na druhou stranu redukuje jedovaté bakterie.

Je-li houby možno využít jako prostředek "boje" proti jiným organismům, pak to jde samosebou i proti lidem – v USA byly zkoušeny jako **biologické zbraně** trichotheceny a zřejmě i aflatoxiny (s potenciální aplikací prostřednictvím rozprašování z letadel).