



MASARYKOVA UNIVERZITA

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

ÚSTAV EXPERIMENTÁLNÍ BIOLOGIE

ČESKÁ SBÍRKA MIKROORGANISMŮ

<http://www.sci.muni.cz/ccm>



Mikroskopické houby (Bi6620)

Výživa hub

Ekologie hub



<http://en.wikipedia.org/wiki/Mycorrhiza>

<http://abys-mal.tumblr.com/post/34723991202/frontal-cortex-it-all-started-with-cordyceps>

Výživa hub a houbových organizmů

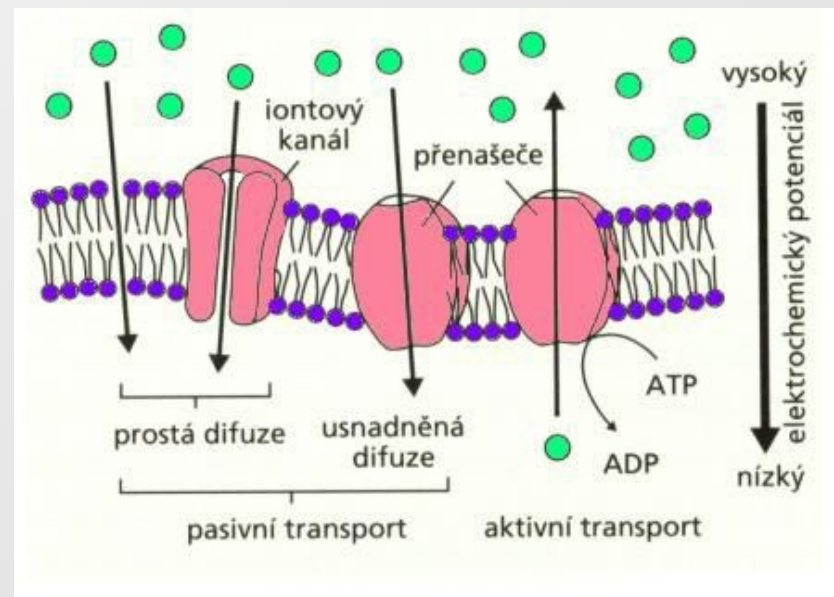
Příjem živin

- způsob výživy **heterotrofní**
- příjem organických látek živočišného a rostlinného původu
- **fagocytóza** – pohlcování buněk nebo potravních částic typická pro myxaméby hlenek
- získávají živiny nejjednodušší cestou – nejprve jsou využity rozpustné cukry a aminokyseliny => poté škrob => pak celulóza a pektiny => nakonec lignin a tuky
- příjem pouze nízkomolekulárních látek (jednoduché cukry – mono- a disacharidy, aminokyseliny, mastné kyseliny, steroly, vitamíny)
- **buněčná stěna** – má porézní strukturu, propouští vodu s drobnými molekulami. Její funkce je hlavně strukturní, ale může na sebe vázat ionty.
- **plazmatická membrána** – má mechanismy pro selektivní příjem dalších látek

Výživa houbových organismů

Transport živin

- **pasivní difúze** – velmi pomalá, vyrovnávání koncentrace látky uvnitř a vně buňky
- **usnadněná difúze** – rychlejší proces přes přenašeč nebo proteinový kanál
- **aktivní transport** za účasti specifických přenašečů (permeáz) lokalizovaných na membráně – tento proces vyžaduje přísun energie (ATP).



Výživa houbových organismů

Transport živin

- přijímané látky se šíří hyfami díky perforovaným přehrádkám, které umožňují propojení protoplazmy celé houby
- přenos látek probíhá na úrovni mikrometrů až po "dálkovou dopravu" v řádu desítek metrů (a možná stovek či kilometrů...?)



Výživa houbových organismů

Způsob získávání živin

- ☒ složitější látky (polysacharidy, pektiny, proteiny, lignin) jsou rozkládány vně buněk za pomoci **extracelulárních enzymů**
- ☒ často se jedná o hydrolytické enzymy vytvářené poblíž růstového vrcholu hyfy a přes plazmatickou membránu dochází k jejich exkreci
- ☒ produkty štěpení vstupují do buněk kde jsou dále zpracovány **intracelulárními enzymy** a začleněny do metabolismu
- ☒ proces ztrátový, náročný na výrobu enzymů

Extracelulární enzymy

škrob	=>	α -amyláza
celulóza	=>	endoceluláza, exoceluláza, β -glukozidáza
pektin	=>	pektinesteráza, polymethyl galakturonáza
proteiny	=>	exopeptidázy (α -aminoacylpeptidáza), endopeptidázy (serin proteináza)

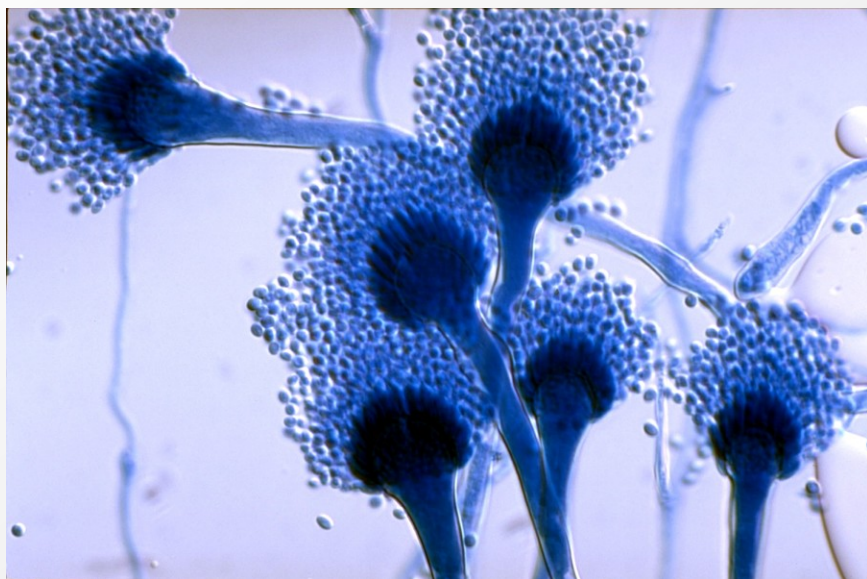
Výživa houbových organismů



Zdroje:

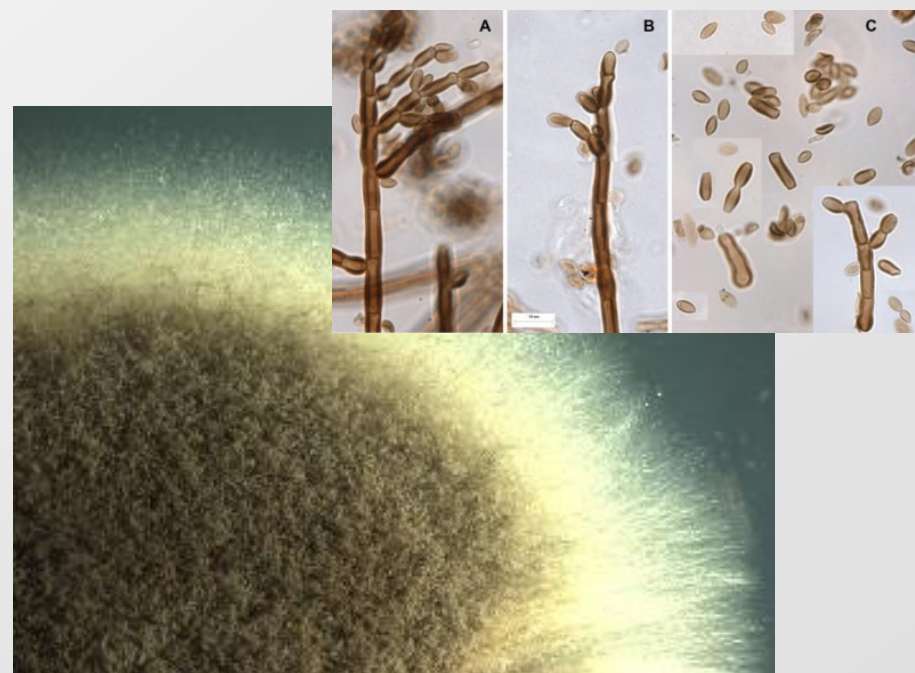
- ❑ alkoholy vícesytné (glycerol) i jednosytné (ethanol, methanol)
- ❑ uhlovodíky (*Hormoconis resiniae*, *Aspergillus fumigatus* rostou v nádržích s kerosinem)

Aspergillus fumigatus



<http://www.pfdb.net/html/species/s11.htm>

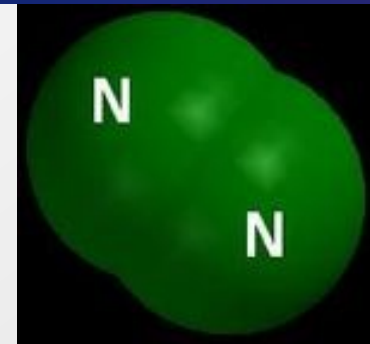
Hormoconis resiniae



<http://genome.jgi.doe.gov/Amore1/Amore1.home.html>
https://openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img=PMC2104743_235fig3&req=4

Výživa houbových organismů

Dusík



Zdroje:

- ❏ **bílkoviny** získávané z živých (parazitě, „dravé houby“) nebo mrtvých živočichů
- ❏ proteolytickými enzymy (proteináza) rozštěpeny na aminokyseliny – **proteolytické** houby
- ❏ **chitin** rozkládán chitinázou (*Chytriomycetes spp.* rovněž *Mortierella*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Humicola*, *Verticillium*) - **chitinolytické** houby
- ❏ **lignin** (peroxidázy) - **ligninolytické** houby
- ❏ **močovina** (ve velkém množství toxická)
- ❏ **puriny** při rozkladu DNA
- ❏ **keratin** (*Chytridiomycota*, askomycety z řádu *Onygenales*) **keratinofilní** houby
- ❏ **solí dusičnanů** (hnojivo), **amoniak** (uvolňujícího se při rozkladu rostlinných nebo živočišných zbytků)
- ❏ **houby nedokáží fixovat N₂**

Výživa houbových organismů

Stopové prvky

Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, Ni

- transport nejčastěji pomocí siderophorů (uvolněny ven z buňky → navážou kovový iont → přenašečem dovnitř buňky)

Měď

- nutná ve stopovém množství, ale toxická ve vyšších koncentracích
- úplně prvním fungicidním přípravkem (bordeauxská jícha z dílny Pierre-Marie-Alexise Millardeta)



Výživa houbových organismů

Energetické procesy

oxidace

- ☒ dýchání, v aerobních podmínkách, uvolňuje se CO_2 a voda

fermentace

- ☒ kvašení, v anaerobních podmínkách
- ☒ vzniká etanol (alkoholová fermentace) – *Zygomycota*, *Ascomycota*
- ☒ kyselina mléčná (mléčná fermentace) – *Chytridiomycota*, *Oomycota*



Výživa houbových organismů

Kyslík

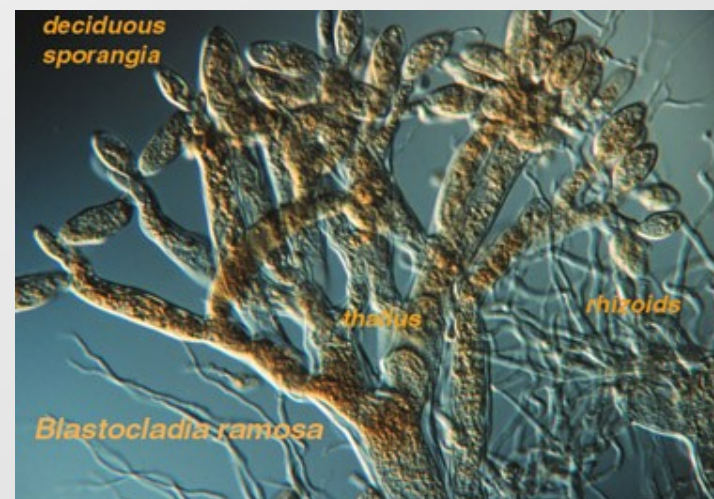
Obligátní aerobové

- O₂ nutně potřebují – **obligátně oxidativní**

Fakultativní anaerobové (většina hub)

- dokáží žít v podmínkách s i bez O₂, v aerobních podmínkách lepší růst - **fakultativně fermentativní** (většina hub)

- snášejí přítomnost O₂, vyžadují vysoké koncentrace CO₂ (5-20%), *Blastocladia* - **obligátně fermentativní**

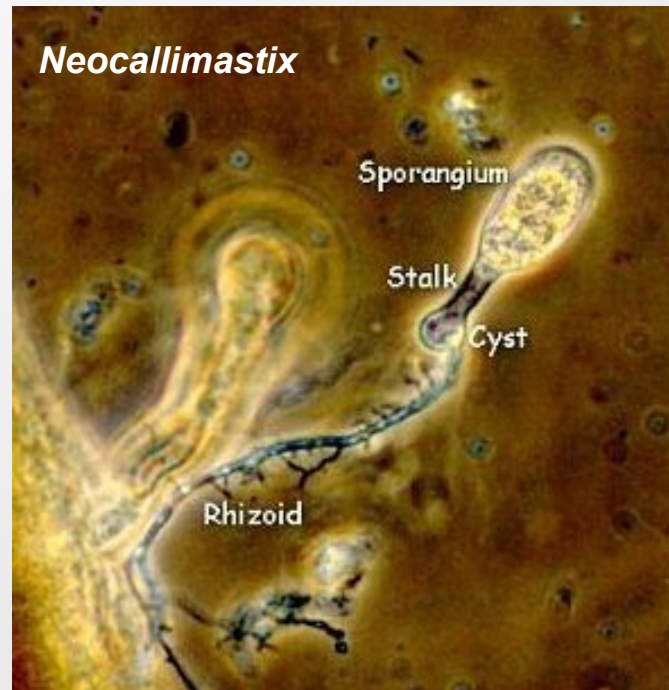


Výživa houbových organismů

Kyslík

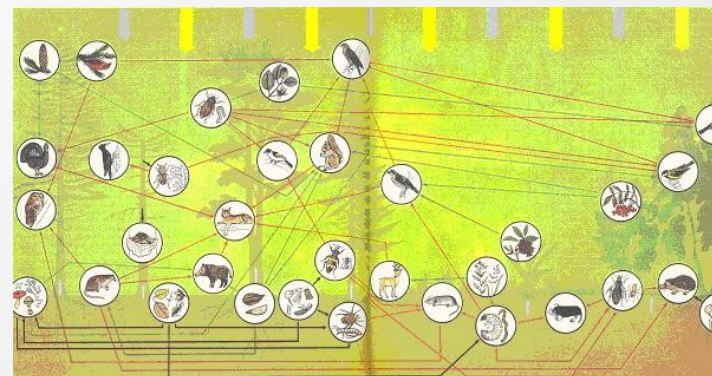
obligátní anaerobové

- žijí pouze v podmínkách bez O_2 , O_2 je pro ně toxický, *Neocallimastix* - anaerobní saprobionti v zažívacím traktu býložravců - **obligátně fermentativní**



Ekologie hub

Význam hub v prostředí



Obr. : Zjednodušené schéma potravní sítě ve smíšeném lese: sluneční záření (žluté šipky), koloběh vody (modré šipky), půda (hnědá vrstva), ovzduší s O₂ a CO₂ (zelená vrstva), přenos energie od producentů ke konzumentům (zelené šipky), přenos energie (potraviny) od konzumentů ke konzumentům vyšších řádů (červené šipky), přenos potravy od odumřelých zbytků (černé šipky) (Podle Jerávka, 1986).

http://www.uel.cz/download/Multimedialni_ucebni_text/yznam_zivisne_slozky.htm

- rozklad (**dekompozice**) organické hmoty na anorganické složky (minerální látky, CO₂ - **mineralizace**), které tak vrací zpět do půdy a ovzduší
- zásadní význam v **koloběhu uhlíku**, který získávají zejména rozkladem polysacharidů (celulózy, ligninu aj.), ale i tuků a jiných látek – jejich rozklad finálně vede až k CO₂
- význam v **koloběhu dusíku**, který rozkládají na NH₃, po uvolnění do půdy je amoniak oxidován na NO₂⁻ nebo NO₃⁻, případně denitrifikačními bakteriemi převeden na N₂
- **humifikace** – z organických látek rozložených jen do určitého stupně jsou syntetizovány látky humusové

Ekologie hub

Autekologie

- ☒ zkoumá ekologické vztahy jednotlivých organizmů
 - specificitu habitatu
 - geografickou distribuci
 - fyziologické charakteristiky
 - interakce s ostatními organismy
 - „chování druhu“ (růst, reprodukce, adaptace)
 - zahrnuje laboratorní pokusy/pozorování a práci v terénu

Výstupem autekologické studie je důkladná znalost fyziologických vlastností, nároků a růstových parametrů jednotlivých hub (resp. jejich vybraných kmenů), často za zjednodušených a optimálních laboratorních podmínek



Ekologie hub

Synekologie

- ☞ studuje vztahy společenstev organismů k prostředí
 - celkové počty druhů zvolené synuzie (skupina druhů organismů téže životní formy žijící na společném stanovišti)
 - relativní frekvenci druhů (četnost)
 - zahrnuje izolace, sběry z terénu a mnohorozměrné analýzy

Výsledky synekologické studie poskytnou znalost společenstva, spektra druhů, sukcese, četnosti vybraných druhů.

VÝSLEDKY MYKOLOGICKÉHO ROZBORU

Přehled všech identifikovaných druhů a jejich procentický výskyt vztažený k celkovému počtu analyzovaných vzorků.

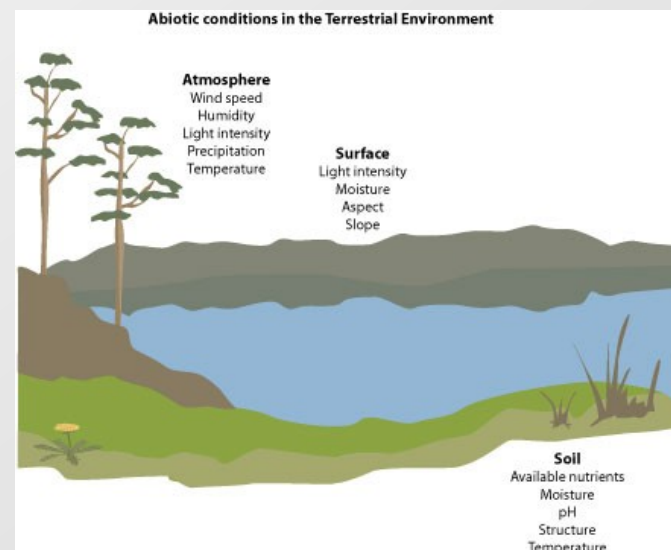
Druh	%	Druh	%
<i>Acremonium bacillisporum</i>	1,5	<i>Mortierella antarctica</i>	1,5
<i>Acremonium butyri</i>	3	<i>Mortierella sp.</i>	19,4
<i>Acremonium sp.</i>	1,5	<i>Onychophora sp.</i>	3
<i>Acrodontium crateriforme</i>	4,5	<i>Penicillium aurantiogriseum</i>	1,5
<i>Arthrinium sp.</i>	1,5	<i>Penicillium brevicompactum</i>	6
<i>Aspergillus versicolor</i>	1,5	<i>Penicillium chrysogenum</i>	1,5
<i>Beauveria bassiana</i>	6	<i>Penicillium spinulosum</i>	1,5
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	3	<i>Penicillium miczynskii</i>	3
<i>Cladosporium herbarum</i>	7,5	<i>Penicillium roqueforti</i>	1,5
<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	1,5	<i>Penicillium sp.</i>	1,5
<i>Cladosporium sp.</i>	10,5	<i>Phoma herbarum</i>	25,4
<i>Engyodontium album</i>	1,5	<i>Rhizoctonia solani</i>	1,5
<i>Engyodontium rectidentatum</i>	3	<i>Spiniger meineckellus</i>	1,5
<i>Fusarium cf. sporotrichioides</i>	1,5	<i>Thalabothus microsporus</i>	10,5
<i>Geomyces pannorum var. pannorum</i>	38,8	<i>Verticillium leptobactrum</i>	6
<i>Isaria farinosa</i>	1,5	černé meristematické houby	7,5

Ekologie hub

Faktory prostředí

Faktory ovlivňující výskyt a růst hub na různých stanovištích:

- ❑ **klimatické:** srážky a vlhkost, teplota, vzduch a jeho pohyb, světlo
- ❑ **edafické:** skladba substrátu, jeho fyzikální a chemické vlastnosti
- ❑ **topografické:** poloha stanoviště – nadmořská výška, orientace, reliéf terénu
- ❑ **biotické:** vzájemné ovlivňování živých organismů v rámci biotopu
- ❑ **antropické:** přímé či nepřímé působení člověka

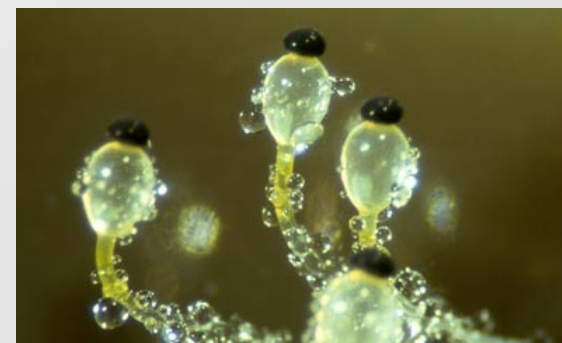
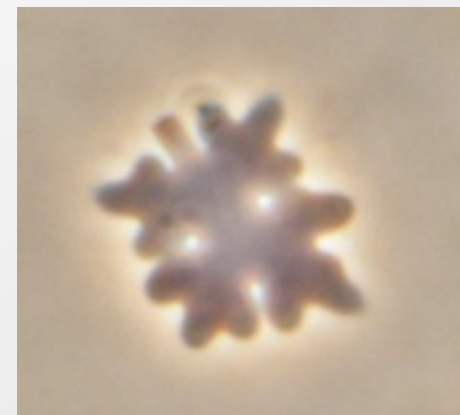
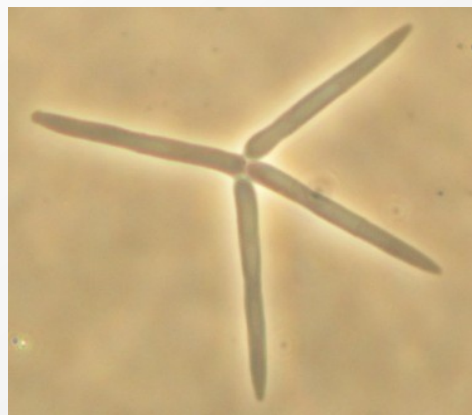


Ekologie hub

Klimatické faktory

Voda

- ❑ **životní prostředí** pro některé zástupce (*Chytridiomycota* nebo vodní hyfomycety)
- ❑ půdní voda a voda na povrchu rostlin umožňuje **šíření zoospor** (parazitické houby)
- ❑ přítomnost vody v substrátu, relativní vzdušná vlhkost
- ❑ přítomnost vodní kapky se uplatňuje při uvolňování spor i celých sporangií (*Pilobolus*)



Ekologie hub

Klimatické faktory

Voda

xerofilní houby (osmofilní) - optimum růstu v koncentrovaných roztocích či v suchých podmínkách. Schopné růst při vodní aktivitě 0,85 a nižší a zároveň by měly růst rychleji v podmínkách s vodní aktivitou nižší než 1

xerotolerantní (osmotolerantní) - rostou při vyšším potenciálu, ale snáší i nižší daný vysokou koncentrací rozpuštěných, osmoticky aktivních, organických i anorganických látek. Rostou pouze v rozmezí vodní aktivity od 1 do 0,85 nebo tolerují i nižší vodní aktivitu než 0,85, ale jejich růst je nejrychlejší při nejvyšší vodní aktivitě

Zdroj: substráty s nízkou vodní aktivitou (0,6 a nižší), s vysokým obsahem cukrů 20-50% nebo solí (sušené potraviny, marmeláda, čokoláda ...), aridní oblasti, hypersalinní vody

Zástupci řádu *Eurotiales* (*Emericella*, *Eurotium*, *Neosartorya*, *Talaromyces*.....), bazidiomyceta *Wallemia sebi*



<http://www.sci.muni.cz/ueb/mik/MiniAtlas/wal.htm>



Ekologie hub

Klimatické faktory

Voda

hygrofilní – druhy rostoucí i fruktifikující na substrátech (detrit, dřevo) ponořeném ve vodě (vodní hyfomycety *Anguillospora*, *Articulospora*, *Flagellospora*, *Lunulospora*, *Tetracladium*

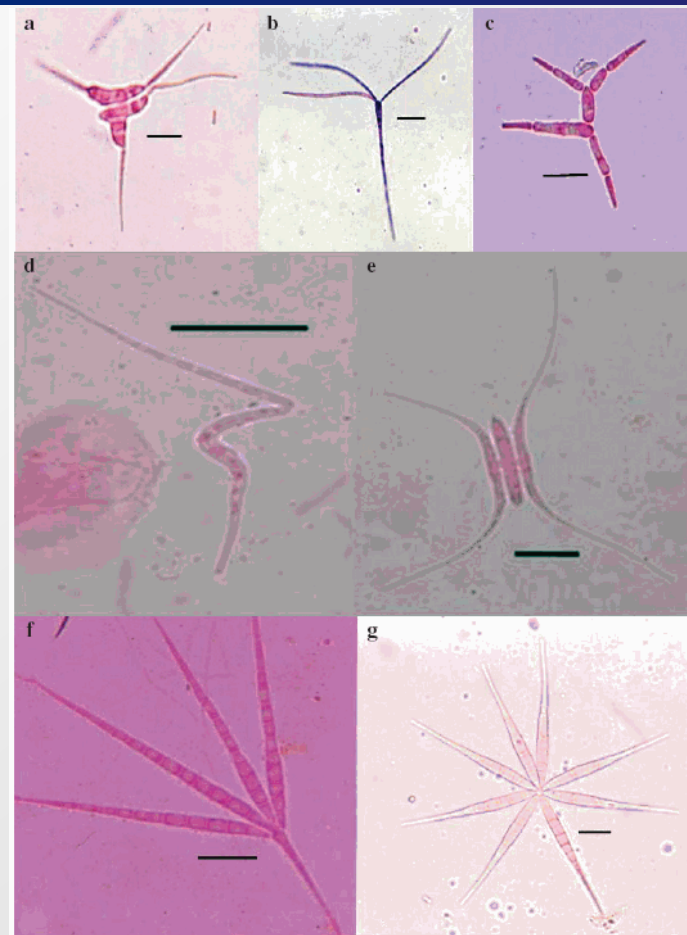


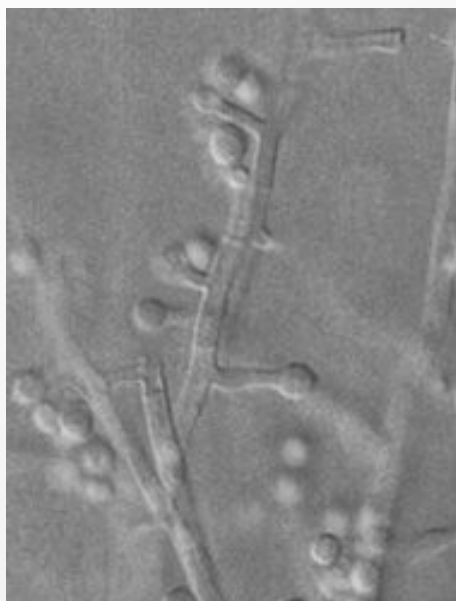
Fig. 1. Conidia of some of the hyphomycetes studied. a. *Campylospora chaetocladia* from Río Tocomo. b. *Clavatospora tentacula*. c. *Phalangispora nawawi* from Río Los Castillos. d. *Condylospora flexuosa* from Quebrada Guatopo. e. *Hydrometrospora symmetrica* from Quebrada Guatopo. f. *Isthmotricladia gombakiensis* from Quebrada Martinera. g. *Flabellospora verticillata* from Río Tocomo. Scale = 10 µm.

Ekologie hub

Klimatické faktory

Voda

halofilní – rostou při nízkém potenciálu daném anorganickými ionty (druhy mořské, slaništní) *Basipetospora halophila* – obligátní halofil



http://old.fooddata.nl/Fooddata/index/microorganismen.asp?MOKlasse=KL0010&MOCcode=MO_6150&Stap=3



<http://www.vyletnik.cz/images/vylet/uzivatele/michellin/soos-53e.jpg>

Ekologie hub

pH

- ❑ ovlivňuje aktivity enzymů nebo funkce membrán
- ❑ ovlivnění dostupnosti živin; při nízkém pH jsou uvolňovány a dostupné ionty Al^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , zatímco při vysokém pH jsou kovy nerozpustné, mohou chybět např. Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}
- ❑ optimum **pH 5 - 6,5** (tolerují rozsah pH 4 – 7)
- ❑ uvnitř hyf **pH 7**
- ❑ oproti bakteriím houby dominují v kyselejších půdách
- ❑ v laboratorních podmínkách byl zjištěn růst při pH blízkém 0 *Trichosporon cerebriae*, pH 1,5 *Candida krusei*, *Rhodotorula mucilaginosa* i pH 9 *Saccharomyces fragilis*
- ❑ v přírodních podmínkách je rozmezí užší



Rhodotorula mucilaginosa

Ekologie hub

Teplota

- ❑ různé druhy hub mají různá teplotní minima, optima a maxima
- ❑ překročením mezních hodnot se zastavuje činnost buněk následkem denaturace klíčových enzymů nebo zhroucení regulačních mechanismů metabolismu
- ❑ výkyvy teplot snáší trvalé útvary (např. sklerocia, chlamydospory, konidie, spory), citlivé je zejména mycelium
- ❑ optimální teplota nemusí být stejná pro vegetativní růst a pro fruktifikaci
- ❑ v laboratorních podmínkách je rychlost růstu a metabolické pochody nejrychlejší při optimální teplotě, v přírodních podmínkách je růst ovlivněn konkurenčními vztahy jiných organismů

Ekologie hub

Teplota

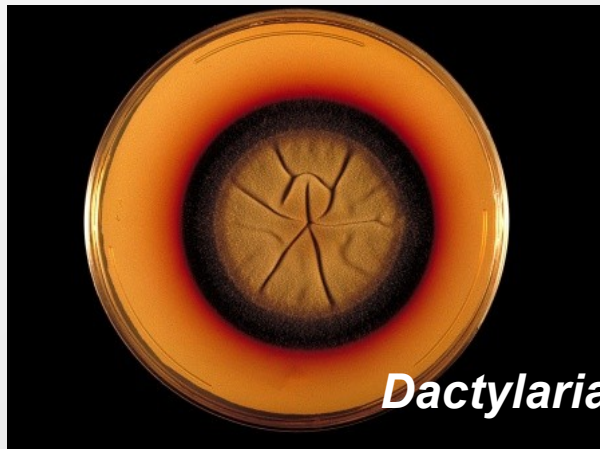
- ❏ **psychofilní druhy** - neschopné růstu nad 20 °C optimum pod 15°C
- ❏ **psychrotolerantní druhy** - rostou i při nízkých teplotách, optimum mají kolem ± 20 °C
- ❏ **mezofilní druhy** - většina druhů dokáže růst 4 - 30°C, optimum 20 - 25°C
- ❏ **termotolerantní druhy** - optimum 20°C, dokáží růst i při 50°C
- ❏ **termofilní druhy** - neschopné růstu pod 20 °C, maximum ± 55 °C

Ekologie hub

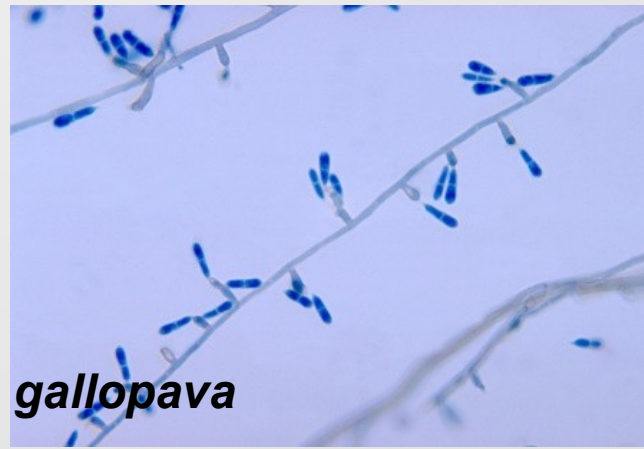
Teplota

Termofilní druhy

- nejvyšší teplota pro růst 61,5°C, *Dactylaria gallopava* (termální vývěry)
- na pouštích mikrokoloniální druhy (*Lichenothelia*)
- termofilní druhy v kompostech, hnízdech ptáků, krokodýlů, ...



Dactylaria gallopava



<http://bioinfo.bact.wisc.edu/themicrobialworld/LAHT/b10.html>

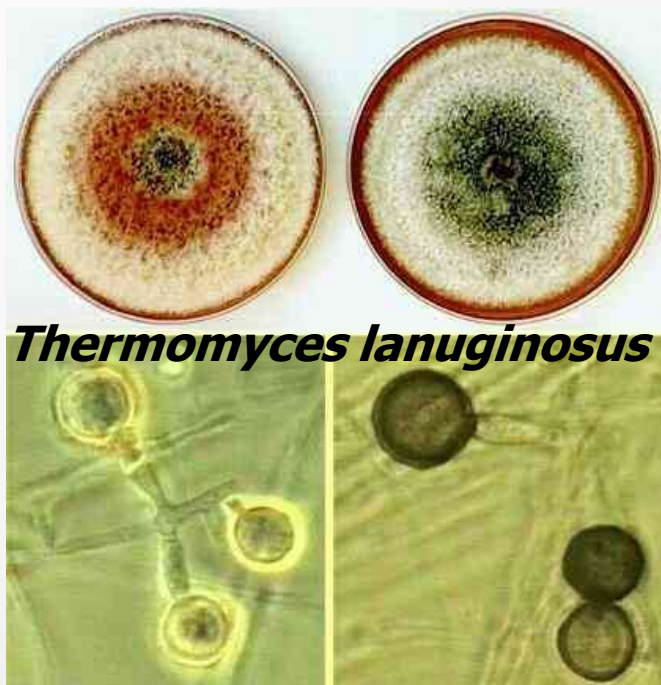
<http://totallyfreeimages.com/120406/These-are-conidia-on-conidiophores-of-Ochroconis-gallopavum,-for>

Ekologie hub

Teplota

Termotolerantní druhy

termotolerantní druhy: *Mucor pusillus*, *Chaetomium thermophile*, *Thermomyces lanuginosus*, *Thermoascus aurantiacus* ...



Thermomyces lanuginosus



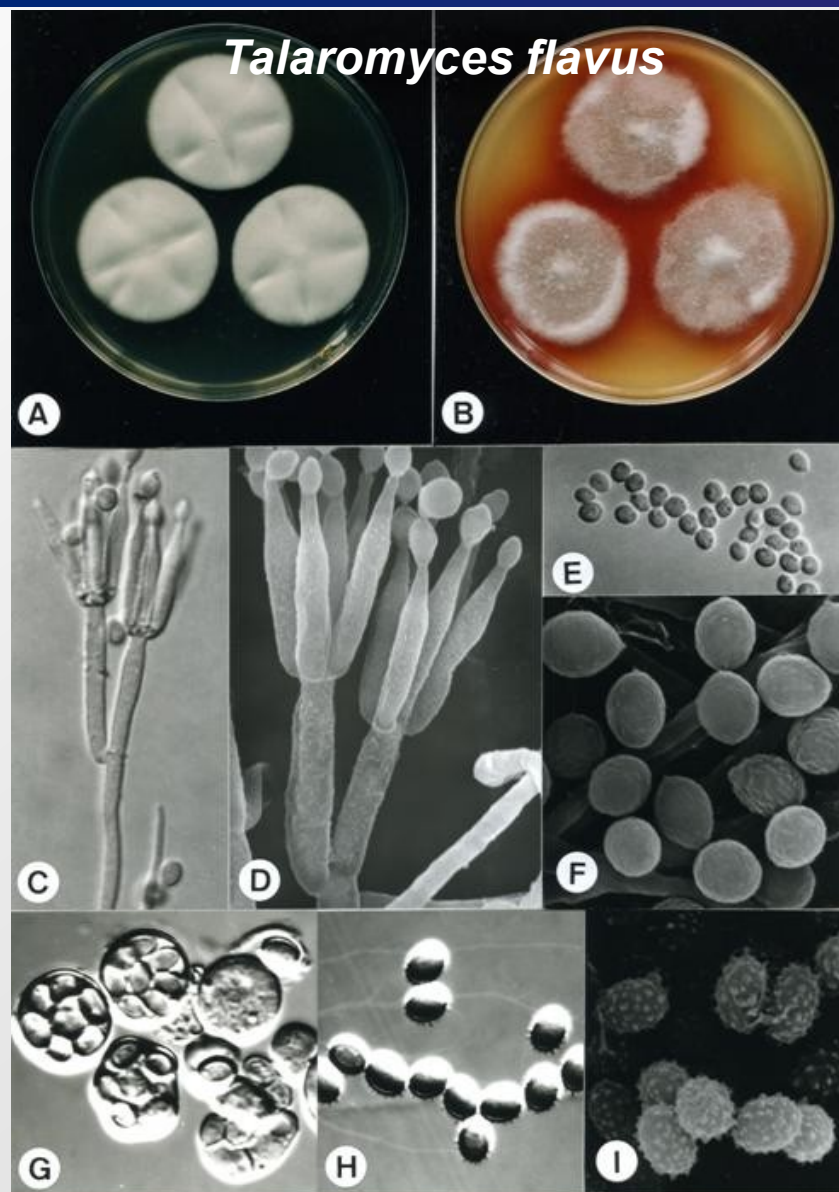
Thermoascus aurantiacus - kleistothecia

Ekologie hub

Teplota

druhy přežívající (nerostou) teploty **+70°C**, je ale nutné **sucho**

- **askospory** *Talaromyces flavus* přežijí i 80°C
- **konidie** čeledi *Trichocomaceae* přežijí i požár (exp. přežily 105°C, izolovány i z borky po požáru)



Ekologie hub

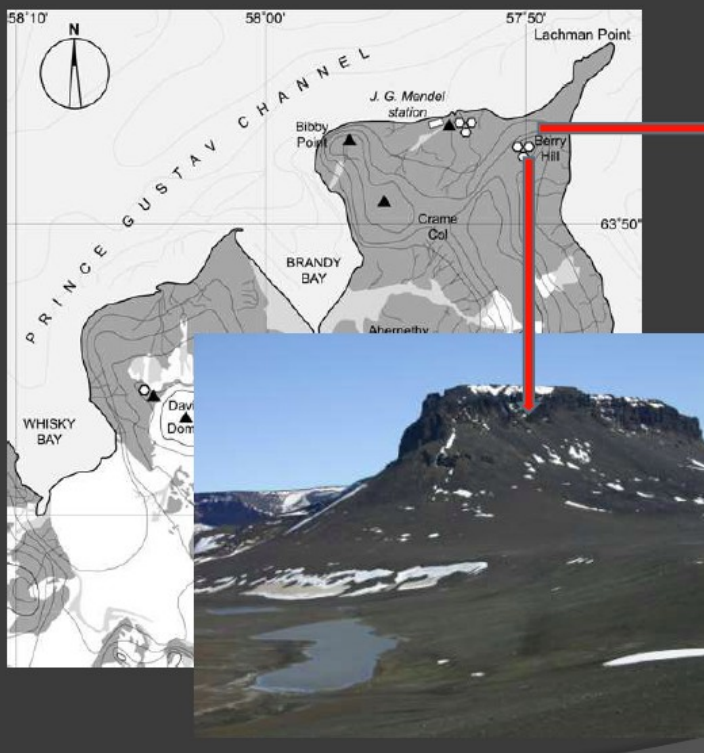
Teplota

psychrotolerantní kmeny mezofilních druhů – Antarktida

ODBĚR VZO

VÝSLEDKY MYKOLOGICKÉHO ROZBORU

Přehled všech identifikovaných druhů a jejich procentuální výskyt vztahený k celkovému počtu analyzovaných vzorků.



Jižně a severně exponované svahy

Druh	%	Druh	%
<i>Acremonium bacillisporum</i>	1,5	<i>Mortierella antarctica</i>	1,5
<i>Acremonium butyri</i>	3	<i>Mortierella sp.</i>	19,4
<i>Acremonium sp.</i>	1,5	<i>Onychophora sp.</i>	3
<i>Acrodontium crateriforme</i>	4,5	<i>Penicillium aurantiogriseum</i>	1,5
<i>Arthrinium sp.</i>	1,5	<i>Penicillium brevicompactum</i>	6
<i>Aspergillus versicolor</i>	1,5	<i>Penicillium chrysogenum</i>	1,5
<i>Beauveria bassiana</i>	6	<i>Penicillium spinulosum</i>	1,5
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	3	<i>Penicillium miczynskii</i>	3
<i>Cladosporium herbarum</i>	7,5	<i>Penicillium roqueforti</i>	1,5
<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	1,5	<i>Penicillium sp.</i>	1,5
<i>Cladosporium sp.</i>	10,5	<i>Phoma herbarum</i>	25,4
<i>Engyodontium album</i>	1,5	<i>Rhizoctonia solani</i>	1,5
<i>Engyodontium rectidentatum</i>	3	<i>Spiniger meineckellus</i>	1,5
<i>Fusarium cf. sporotrichioides</i>	1,5	<i>Thelebolus microsporus</i>	10,5
<i>Geomyces pannorum var. pannorum</i>	38,8	<i>Verticillium leptobactrum</i>	6
<i>Isaria farinosa</i>	1,5	černé meristematické houby	7,5

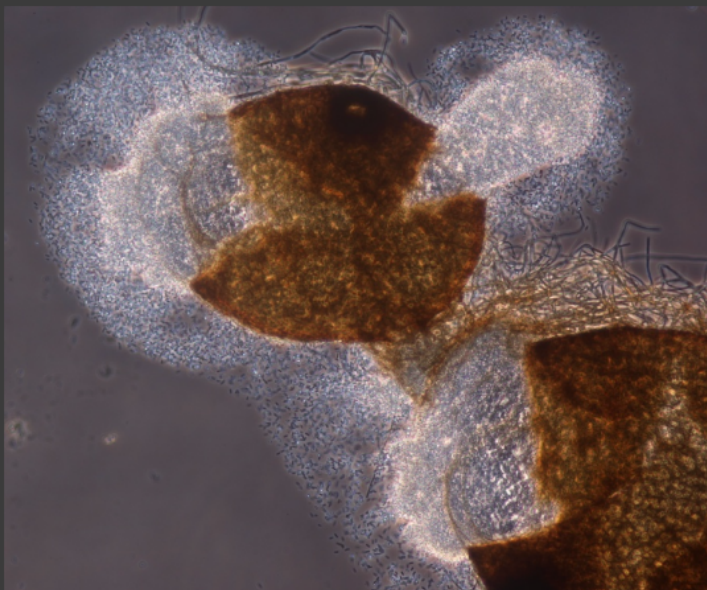
Ekologie hub

Teplota

psychrotolerantní kmeny mezofilních druhů – Antarktida

Phoma herbarum Westend. 1852

Fungi, Anamorphic fungi, Phoma



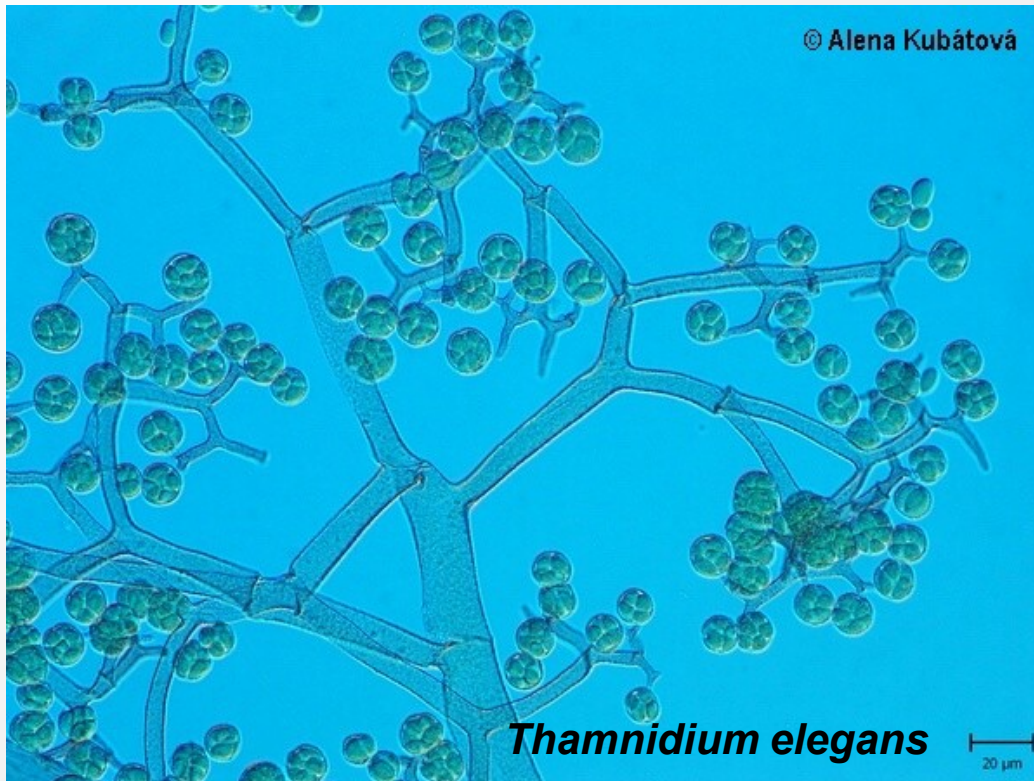
Ekologie: půda, vzduch, kal a další substráty
Antarktida: mechy, půda

Rozšíření:
Evropa, Austrálie, východní Afrika,
jihovýchodní Asie, Papua-Nová Guinea,
Barbados, Trinidad

Ekologie hub

Teplota

psychrotolerantní druhy - uskladněné maso
(*Thamnidium*, *Mucor*, *Cladosporium*, *Penicillium*)



Ekologie hub

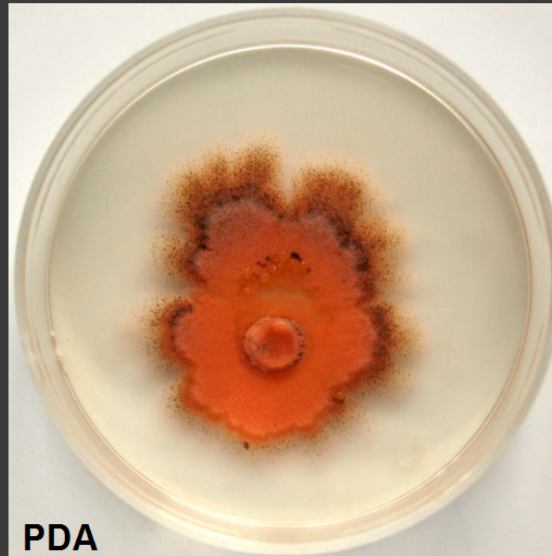
Teplota

psychrofilní druhy
- Antarktida

Thelebolus microsporus (Berk. & Broome) Kimbr. 1967

Fungi, Ascomycota, Pezizomycotina, Leotiomycetes, Leotiomycetidae, Thelebolales, Thelebolaceae, Thelebolus

- vzorky půdy odebrané uprostřed ptačí kolonie
- psychrofilní
- rozšiřován savci a ptáky



PDA

Ekologie:

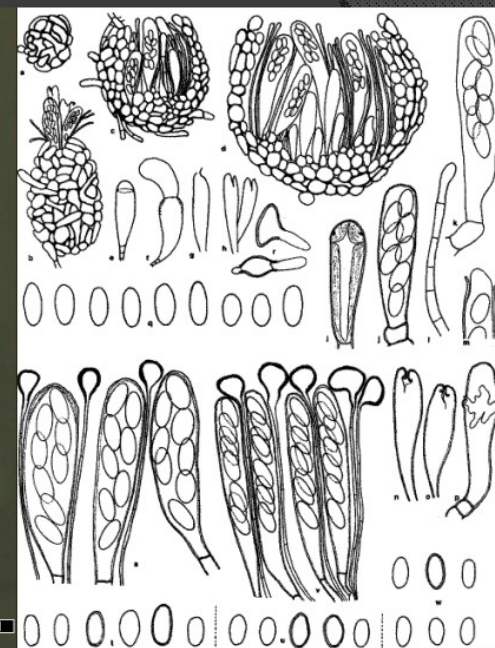
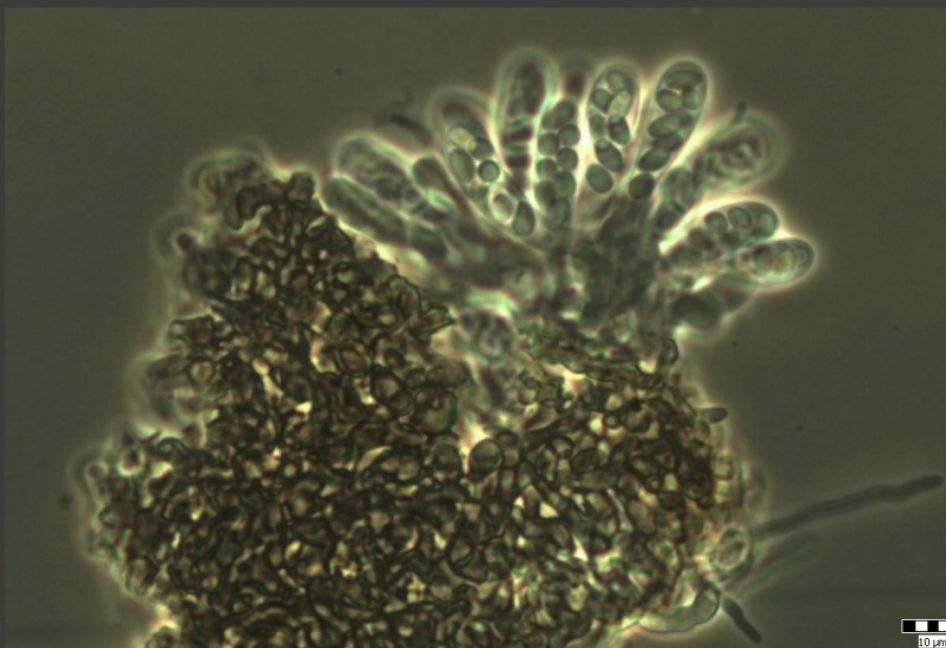
- exkrementy krav, koňů, ovcí, vysoké zvěře, losů, sobů, psů, králíků, tetřívka obecného a lidských exkrementů
- půda znečištěná trusem chaluh
- trávící trakt a peří ptáků žijících v Antarktadě
- organická masa z jezer Antarktidy

Rozšíření:

Evropa, Severní Amerika a Antarktida, zejména v chladných oblastech.

Ekologie

Thelebolus microsporus (Berk. & Broome) Kimbr. 1967



10 μm

G.S. de Hoog *et. al.* 2005. Evolution, taxonomy and ecology of the genus *Thelebolus* in Antarctica. *Studies in Mycology* 51, 33–76.

Endemické druhy Antarktidy:

Thelebolus ellipsoideus Brumm. & de Hoog 2005 - organická masa z jezera

Thelebolus globosus Brumm. & de Hoog 2005 - organická masa z jezera

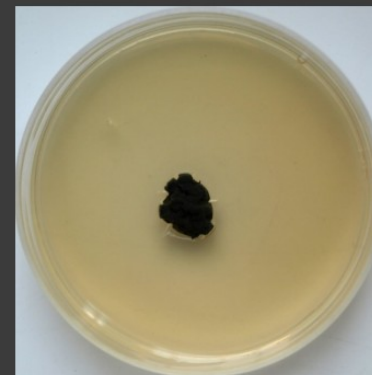
Ekologie hub

Teplota

psychrofilní druhy
- Antarktida

Černé meristemické houby - 7 izolátů

Sekvence ITS rDNA- *Capnodiales*, *Davidiellaceae*, *Elasticomyces*

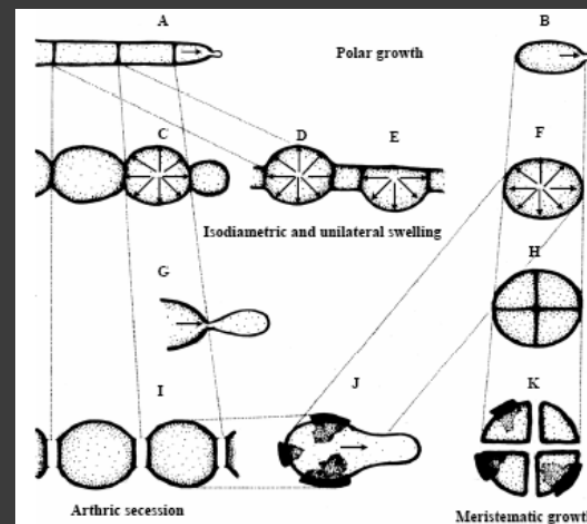
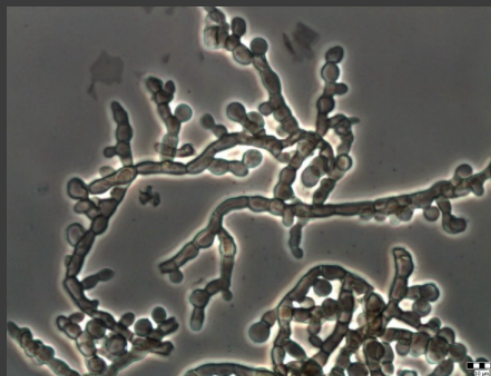


- trvale zastíněná lokalita u báze skalního bloku
- severně exponované svahy
- psychrofilní
- tvoří kompaktní mikrokolonie v porézních horninách
- vyznačují se meristemickým růstem

Ekologie hub

Teplota
psychrofilní druhy
- Antarktida

Černé meristemické houby - morfologie



Zdroj: Selbmann, L. *et. al.* 2005. Fungi at the edge of life: cryptoendolithic black fungi from Antarctic desert. *Studies in Mycology*. 51, 1–32.

Ekologie hub

Teplota
psychrofilní druhy
- Antarktida

Černé meristemické houby Antarktidy

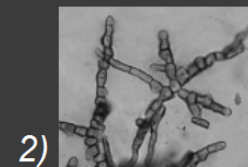
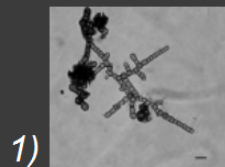
Friedmanniomyces Onofri 1999

Friedmanniomyces endolithicus (1)

- pískovec, pegmatit, Victoria Land, Anarktida

Friedmanniomyces simplex (2)

- pískovec, Victoria Land, Anarktida



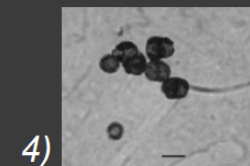
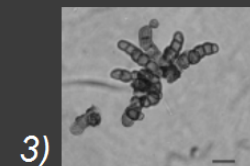
Cryomyces Selbmann, de Hoog, Mazzaglia, Friedmann & Onofri 2005

Cryomyces antarcticus (3)

- pískovec, Victoria Land, Anarktida

Cryomyces minteri (4)

- zvětralá hornina, Victoria Land, Anarktida



Elasticomyces Selbmann & Zucconi 2008

Elasticomyces elasticus (5)

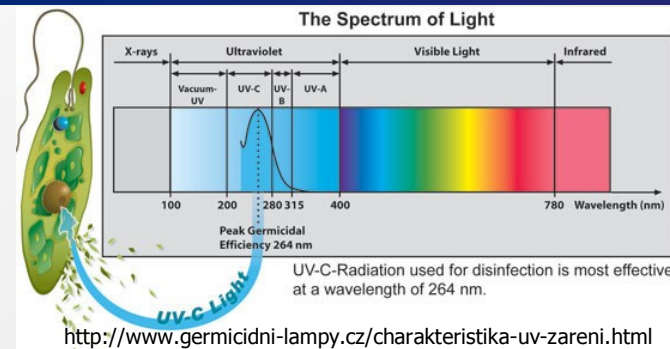
- stélka lišejníku (*Usnea antarctica*), Victoria Land, Anarktida



Ekologie hub

Světlo

- ☒ vliv na tvorbu spor a plodnic (u dřevokazných druhů)
- ☒ nutné pro tvorbu sporokarpů hlenek
- ☒ u některých hub byly pozorovány reakce na ultrafialové záření a blízké modré světlo
- ☒ UV:
 - indikuje **tvorbu karotenoidů**, které hrají ochrannou roli proti volným radikálům
 - indukuje tvorbu **melaninu**, poskytujícího "univerzální ochranu" proti UV záření, radioaktivitě, vyschnutí (váže velké množství vody), extrémním teplotám, reaktivním látkám (H_2O_2 , volné radikály), lytickým enzymům (glukanáza, chitináza), zpevňuje buněčné stěny, váže a akumuluje kovy (Zn, Fe, Cu až 50x více oproti okolí) a u patogenních druhů může působit i jako virulentní faktor



Ekologie hub

Světlo

- ❏ některé druhy hub vyžadují pro sporulaci střídání světelné a temnostní fáze
- ❏ „**Black light**“ – blízké UV (300-380 nm), indukuje sporulaci (v kombinaci s tmou např. 12h/12h po dobu 3-4 dnů)

Receptory

- ❏ viditelné světlo - receptorem jsou *flavonoidy* vázané na membránu
- ❏ UV - receptory *mykochromy* a *mykosporiny*