

# Ekologie hub

## 2. Fyzikální faktory, jejich vliv a vnímání



Za přísně kontrolovaných tlakových, tepelných a dalších fyzikálních podmínek se pozorovaný živý organismus chová tak, jak ho zrovna napadne.

(Murphyho zákon)

# Fyzikální faktory

**Vzduch, poměr O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>**

**Vodní potenciál**

**pH**

**Teplota**

**Světlo**

**Gravitace**

**Elektrické pole**

**Magnetické pole**

**Čas**

# Fyzikální faktory

- hodnoty **optimální** i **extrémní**  
x hodnoty nad a pod optimem = **stres**
- odlišnosti pro druhy (kmeny)



# Proč je studovat?

## Věčné otázky ekofyziologů ...

- jaké panují v tom či onom habitatu podmínky?
- co zjistím u jednoho kmene, je platné i pro ostatní kmene/druhy?
- mají laboratorní výsledky relevanci v reálných podmínkách?
- jaké mechanismy používají živočichové a rostliny?
- jsou houbové mechanismy unikátní, nebo odlišné?

... které si často (ne)kladou



# Typy pokusů a pozorování

## ***in vivo***

- houba je pozorována ve svém přirozeném prostředí (pokus v přirozeném prostředí)  
např.: *Mycorrhizal seedlings inoculated with the pathogens showed greater shoot and root development than nonmycorrhizal chestnut plants. All the fungi tested reduced the negative effect of the ink disease pathogens on the plant host in vivo.*

## ***in vitro***

- v laboratorních podmínkách, např.: *Wild honey was diluted with sterile distilled water and tested in vitro for inhibition of the plant pathogenic fungi Fusarium oxysporum, Rhizoctonia solani, Alternaria solani, Stemphylium solani.*

# Vzduch

## Vzduch na zemském povrchu:

21 % O<sub>2</sub>

0,03 % CO<sub>2</sub>

...



# Vzduch

- $O_2$  špatně rozpustný ve vodě (v zamokřených substrátech zpomalena difúze)
- horší propustnost pro vzduch skrz substrát (těžké půdy)
- $O_2$  neklesá obvykle pod 10%
- v tlejících kmenech s velkým průměrem až pouze 1%
- hromadění  $CO_2$  (mikroorganizmy, kořeny)
- těkavé látky limitující růst (bakterie i houby)





# Vzduch, kyslík

## (An)aerobie u hub?

Fungal biomass is often predominant in soils; therefore, they need to survive at low partial pressure of oxygen or under anaerobic conditions. In most cases, mycelial micromycetes have been considered aerobic organisms. The data on the species diversity of facultative anaerobic fungi, their abundance, and occurrence in various soils are extremely scarce. There have been several reports on the isolation of microscopic fungi (*Fusarium solani* and *Trichoderma harzianum*) from soil, peat, and organic matter samples under anaerobic conditions [7–9].

ISSN 0026-2617, Microbiology, 2008, Vol. 77, No. 1, pp. 90–98. © Pleiades Publishing, Ltd., 2008.  
Original Russian Text © A.V. Kurakov, R.B. Lavrent'ev, T.Yu. Nechitailo, P.N. Golyshin, D.G. Zvyagintsev, 2008, published in Mikrobiologiya, 2008, Vol. 77, No. 1, pp. 103–112.

---

---

### EXPERIMENTAL ARTICLES

---

---

## Diversity of Facultatively Anaerobic Microscopic Mycelial Fungi in Soils

A. V. Kurakov<sup>a,1</sup>, R. B. Lavrent'ev<sup>b</sup>, T. Yu. Nechitailo<sup>c</sup>, P. N. Golyshin<sup>c</sup>, and D. G. Zvyagintsev<sup>b</sup>

<sup>a</sup> International Biotechnology Center, Moscow State University, Moscow, 119992 Russia

<sup>b</sup> Department of Soil Biology, Faculty of Soil Science, Moscow State University, Moscow, 119992 Russia

<sup>c</sup> National Biotechnology Center, Mascheroder Weg 1, 38124 Braunschweig, Germany

Received March 26, 2007

# Vzduch, kyslík

**Typy energetického metabolismu:**

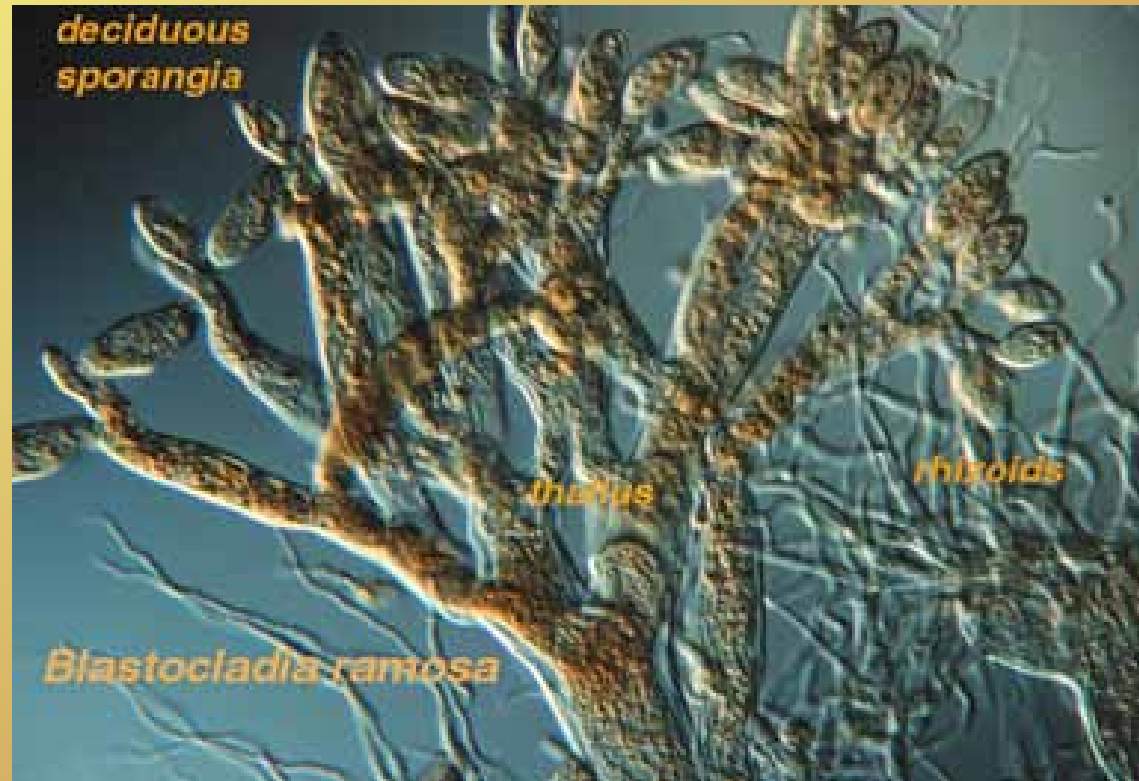
***obligátně oxidativní*** - O<sub>2</sub> nutně potřebují, **obligátní aerobové**

***fakultativně fermentativní*** - dokáží žít v podmínkách s i bez O<sub>2</sub>, v aerobních podmínkách lepší růst; **fakultativní anaerobové, většina hub**

# Vzduch, kyslík

**obligátně fermentativní** - žijí pouze v podmínkách bez  $O_2$ , především mléčné kvašení

**fakultativní anaerobové** - snáší přítomnost  $O_2$ , není toxický, vyžadují vysoké koncentrace  $CO_2$  (5-20%), *Aqualinderella*, *Blastocladia*



*Blastocladia ramosa*

# Vzduch, kyslík



**obligátní anaerobové** -  $O_2$  toxický

*Neocallimastix*

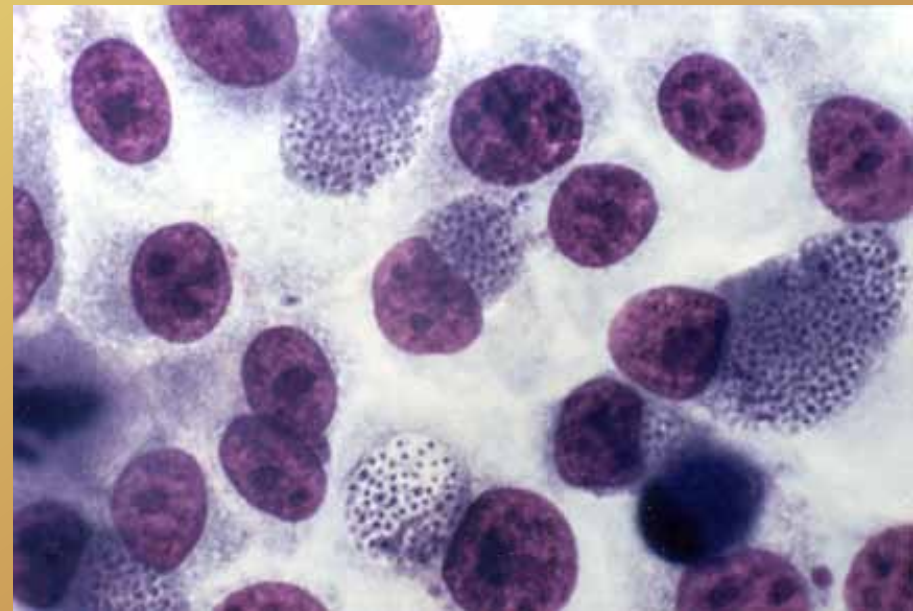
x musí umět přežít jako spory při přenosu  
z matky na potomka

***Neocallimastix***

<http://www.towson.edu>

*Microsporidia*

- vnitrobuněční parazité obratlovců
- ztratily mitochondrie



<http://microvet.arizona.edu/research/crypto/micro2.jpg>

# Vzduch, kyslík

## Shrnutí:

***obligátně oxidativní*** - nutně potřebují  $O_2$ , **obligátní (striktní) anaerobové**

***fakultativně fermentativní*** - dokáží žít v podmínkách s i bez  $O_2$ , v aerobních podmínkách lepší růst; **fakultativní anaerobové**

***obligátně fermentativní*** - žijí pouze v podmínkách bez  $O_2$ , mléčné kvašení  
- snášejí přítomnost  $O_2$ , vyžadují vysoké koncentrace  $CO_2$ ;  
**fakultativní anaerobové**

-  $O_2$  je pro ně toxický; **obligátní (striktní) anaerobové**

# Vzduch, CO<sub>2</sub>, kombinace O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>

## Houby mají obecně široké rozmezí tolerance konc. CO<sub>2</sub>

- konc. CO<sub>2</sub> 7% může i stimulovat (při O<sub>2</sub> 20%)

APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, Sept. 1989, p. 2320-2325

Vol. 55, No. 9

0099-2240/89/092320-06\$02.00/0

Copyright © 1989, American Society for Microbiology

## Fungal Growth Stimulation by CO<sub>2</sub> and Root Exudates in Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis

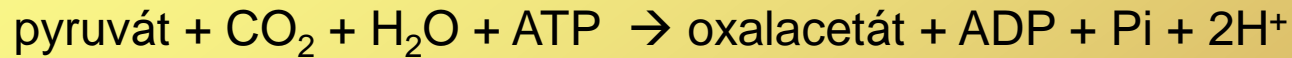
G. BÉCARD\* AND Y. PICHÉ

- rostou i pokud >10%, ale pomaleji (při O<sub>2</sub> 20%)
- v půdách při konc. CO<sub>2</sub> 20% změna druhového spektra (dominují ty odolnější)
- další změna spektra pokud konc. CO<sub>2</sub> > O<sub>2</sub> (zamokřené půdy, dřevo)
- **rhizomorfy** *Armillaria* umožňují růst i dřevem při nízkém obsahu O<sub>2</sub>

# Vzduch, CO<sub>2</sub>, kombinace O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>

## **Fixace CO<sub>2</sub> u heterotrofních organismů:**

- anaplerotická reakce pro doplňování meziproduktů TCA (cyklus trikarboxylových kyselin, Krebsův cyklus)



- dále syntéza purinů, pyrimidinů, mastných kyselin, aminokyselin

# Vzduch, CO<sub>2</sub>, kombinace O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>

## Nepřímý vliv CO<sub>2</sub> a jeho zvyšování v prostředí?

- jiné množství ve vzduchu → vliv na fixaci uhlíku rostlinami, depozice do mykorhiz i do půdy (exudáty), jiná kvalita pletiv

Our study identified the plant species cover as the main factor determining the composition of soil fungal community. The effect of plant species was incomparably stronger than the effects of an elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration and mineral N fertilization.

A more detailed study following the abundance of organisms capable of direct utilization of soil organic matter would thus be necessary. Such a study is currently in progress. It will contribute, together with recently presented results, to understanding the contribution of the fungal species to turnover of soil organic matter.



<http://www.mbari.org/highCO2/bkgrd/face.htm>

Global Change Biology (2005) 11, 224–230, doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.00908.x

## Saprobic microfungi under *Lolium perenne* and *Trifolium repens* at different fertilization intensities and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration

VERONIKA ŘEZÁČOVÁ\*, HERBERT BLUM†, HANA HRŠELOVÁ\*, HANNES GAMPER‡ and MILAN GRYNLER\*

\*Institute of Microbiology, Academy of Sciences of the Czech Republic, Václavská 1083, CZ 142 20, Prague 4, Czech Republic.

†Swiss Federal Institute of Technology, Institute of Plant Sciences, Eschikon 33, CH-8315 Lindau (ZH), Switzerland,

‡Swiss Federal Institute of Technology Institute of Geobotany, Zollikerstrasse 107, CH-8008 Zürich, Switzerland

## Nutrient Acquisition Strategies of Fungi and Their Relation to Elevated Atmospheric CO<sub>2</sub>

Kathleen K. Treseder

Department of Ecology and Evolutionary Biology and Department of Earth System Science, University of California, Irvine, California, USA



# Voda



## Vodní potenciál

Vodní potenciál = osmotický pot. + potenciál matrix + tlakový potenciál + ...

$$\Psi = \Psi_{\pi} + \Psi_m + \Psi_p + \Psi_g$$

## Osmotický potenciál

- dán koncentrací rozpuštěných látek

## Potenciál matrixu (?)

- nepřímo úměrný porozitě materiálu, rozdíl např. písčaná zem vs. jílovitá

## Tlakový potenciál

- dán turgorem vakuoly

## Vodní aktivita $a_w = p_s/p_w$

## Relativní vlhkost

- stejné jako vodní aktivita, ale v % ( $a_w 0.75 = 75\%$  vlhkost)

- jeden substrát může být tvořen heterogenními habitaty s odlišným potenc. (opad)

# Voda

**Table 3.9** Water availability in different environments and approximate lower limits for growth of some fungi

Water activity	Water potential (MPa)	Examples
1.0	0	Pure water
0.996	-0.5	<i>Phytophthora cactorum</i> , lower limit
0.995	-0.7	Typical mycological media
0.98	-2.8	Sea water
0.97	-4	Most wood-destroying fungi, lower limit
0.95	-7	Bread. Leaf-litter Basidiomycetes, lower limit
0.90	-14	Ham. <i>Neurospora crassa</i> , lower limit
0.85	-22	Salami. <i>Saccharomyces rouxii</i> in NaCl solution, lower limit
0.80	-30	<i>Aspergillus nidulans</i> and <i>Penicillium martensii</i> , lower limits
0.75	-40	Saturated NaCl solution, <i>Aspergillus candidus</i> , lower limit
0.65	-60	22 molal glycerol
0.60	-69	Limit for cell growth – <i>Zygosaccharomyces rouxii</i> in sugar solutions and the mould <i>Monascus</i> ( <i>Xeromyces</i> ) <i>bisporus</i>
0.58	-75	Spores of some <i>Eurotium</i> , <i>Aspergillus</i> and <i>Penicillium</i> species are able to survive for several years
0.55	-80	Saturated glucose solution. DNA denatured
0.48	-90	Antarctic dry valleys

Peronosporomycota

většina baz. na dřevě

anamorfní askomycety

Data from various sources. Molality (molecular weight in grams per 1000 grams solute) and not molarity (MW in g per final volume of 1000 ml) is used in dealing with osmotic potentials. The lower limits of growth are those obtained at optimal temperature and nutrition; when these factors are sub-optimal the limits are not so low. As indicated with *Saccharomyces rouxii*, organisms are usually more tolerant of high sugar than high salt concentrations.

# Voda

**Mycelium potřebuje mít nižší vodní potenciál a přijímat vodu**

- plodnice **70-90% vody**
- **odstřelování** sporangií u některých zygomycetů
- sporangia u některých zygomycetů a spory askomycetů **vystřeleny**  $2-25 \text{ m s}^{-1}$
- zrychlení  $20.000 - 180.000 \text{ g}$ , dostřel až  $2,5 \text{ m}$
- koprofilní druhy, snaha dostat spory na stébla trav  
= jsou pak spasena

**nejrychlejší: *Pilobolus kleinii***



[http://www.virtualmuseum.ca/Exhibitions/Mushroom/Images/Fungus/Other/Large/Pilobolus\\_md.jpg](http://www.virtualmuseum.ca/Exhibitions/Mushroom/Images/Fungus/Other/Large/Pilobolus_md.jpg)

Yaffeto & al. (2008)

# Voda

**Mycelium potřebuje mít nižší vodní potenciál a přijímat vodu**

- udržení turgoru je nutné pro růst hyf
- bazidiomycety odlučují bazidiospory pomocí kapičky vody

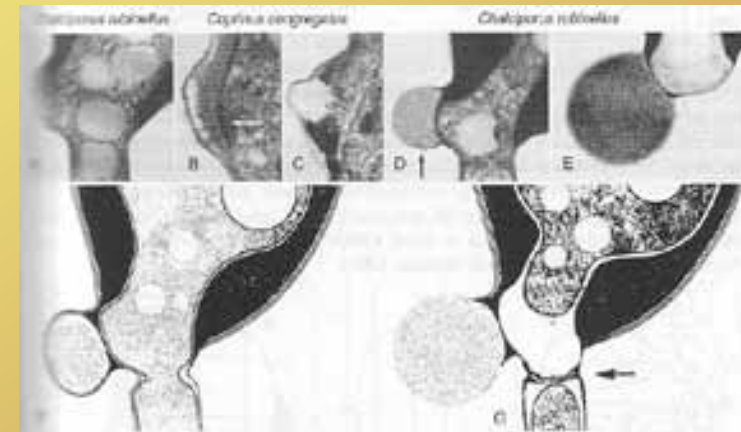


Figure 5.83: A-E: Development of the apicular drop, a series constructed by using electron photographs from two different fungi. The apicular body (white arrow), appearing dense and black, is thought to initiate the formation of the apicular drop. Note that the drop is surrounded by a thin wall (very partly visible in D (vertical black arrow) that later disappears (E). The drop is a strong aqueous solution that is preserved by cytological fixative. F,G: Diagrammatic drawings of the young (F) and mature (G) drop initial of Chalopora rubicola. In F the drop initial is still surrounded by a wall layer, in E it is naked and ready to expand rapidly. A plug is formed in the apiculus and its sterigma; they are separated by a dehiscence zone (horizontal black arrow). – Chalopora from Yoon & McLaughlin 1979, 1980; Coprinus from Huguier 1978.

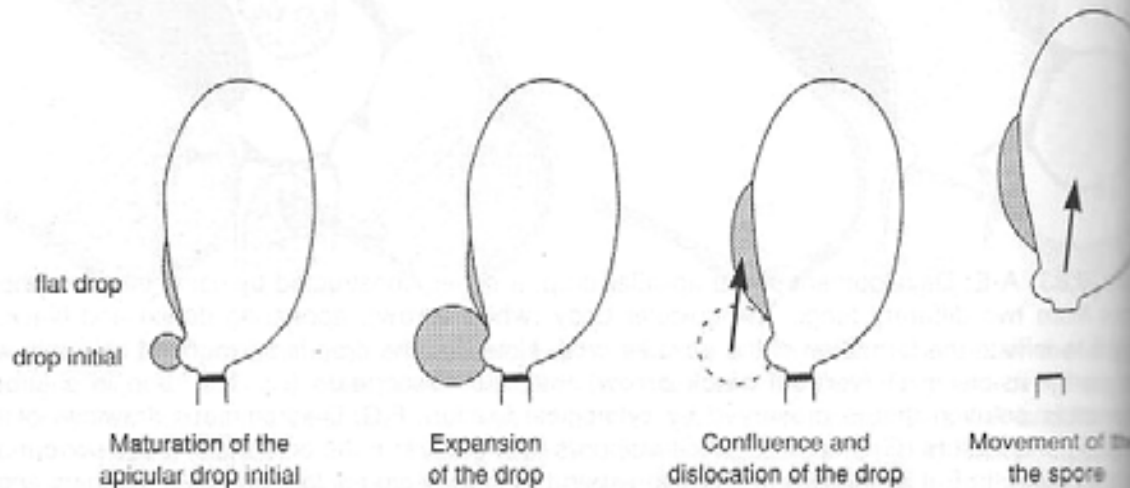


Figure 5.85: Mechanism of spore release of the Hymenomyces. The spore jumps from the sterigma, it is not projected passively like a stone. – From Clémenton 1997.

Clémenton (2004)

# Voda

***Turgor může vyvinout velmi silný tlak***

(v jinak velmi křehkém myceliu a plodnicích)



***Phallus impudicus***

- plodnice prorážející asfalt

- v přepočtu by jedna plodnice uzvedla 133 kg!

*Niksic & al. (2004)*

# Voda

## Hygrofilní druhy

- vodní a parazitické oomycety, vodu pro zoospory

## Xerotolerantní (osmotolerantní) druhy

- rostou při vyšším potenc., ale snáší i nižší daný **organickými** látkami
- optimum -4 MPa
- rekordní minimum -69 MPa

## Xerofilní (osmofilní) druhy

- optimum růstu v koncentrovaných roztocích či v suchých podmínkách
- nerostou nad -3 MPa



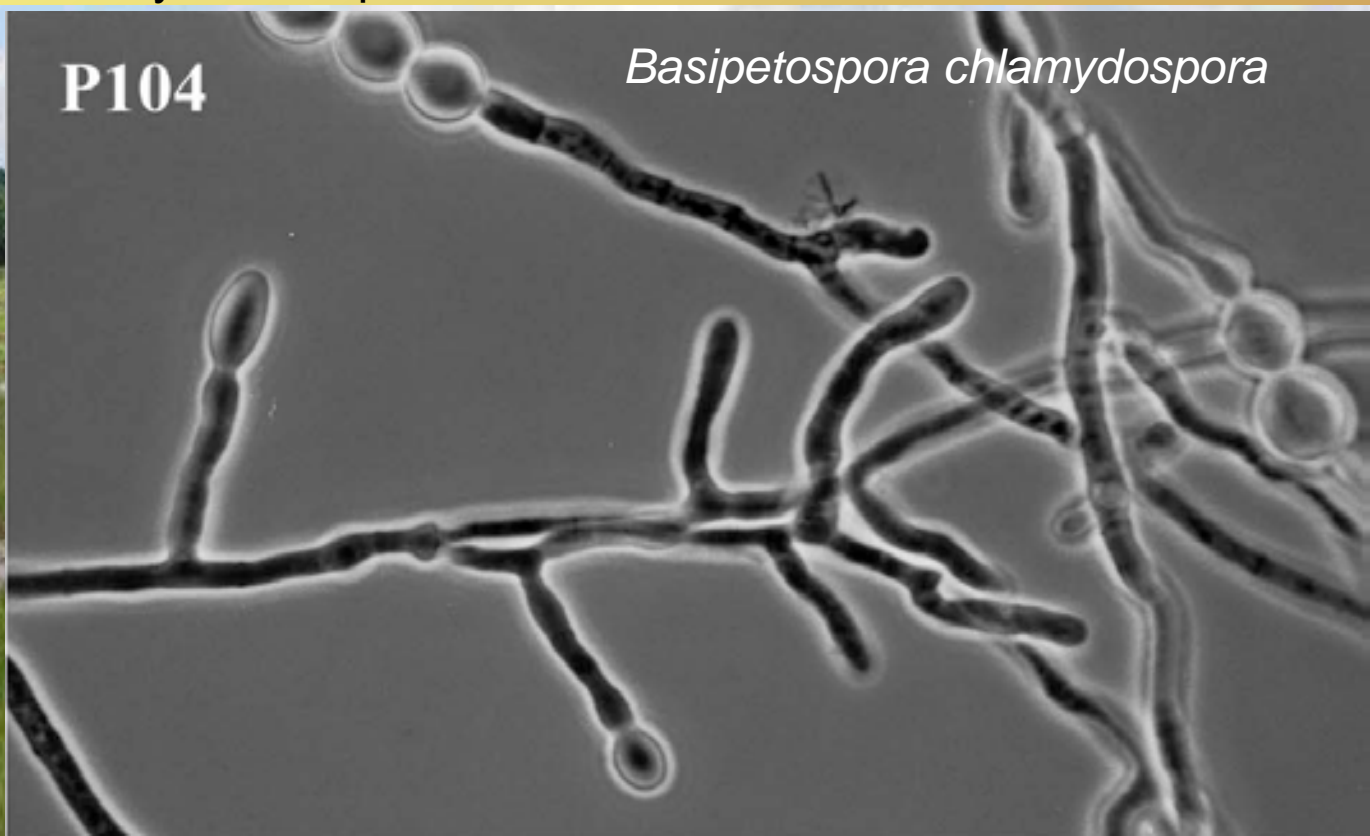
# Voda

## Halofilní druhy

- nízký potenciál daný **anorg. ionty je odlišný** od organických sloučenin(?)
- druhy mořské, slaništní, ... jsou samostatně řazené (*Grant 2004*)

*Basipetospora halophila* – obligátní halofil

- druhová diverzita vysoká, např. z Mrtvého moře izolováno 55 druhů hub

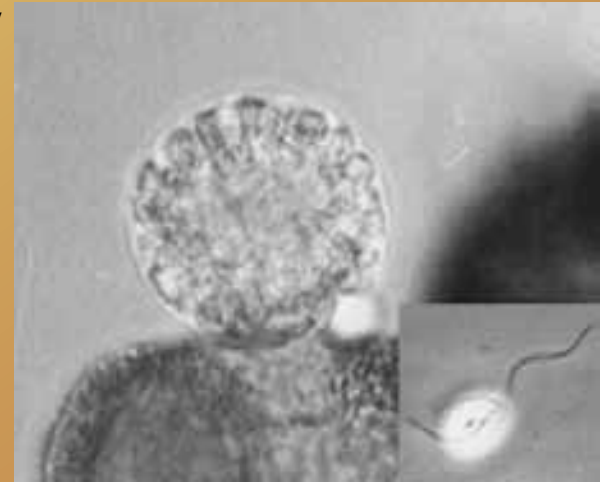


# Voda

## Jak se vyrovnat s vodním potenciálem okolí?

- buněčná stěna s melaninem brání prasknutí, hyfa snáší *plazmolýzu* (nejcitlivější jsou **špičky mycelia**, výhoda kvasinek)
- vyrovnávání osmot. potenciálu proti *plazmolýze* (při vysoušení okolního prostředí) a *plazmoptýze* (déšť, rosa)
- akumulace vícesytných alkoholů, můžou i v nadbytku (glycerol, mannitol, arabitol)  
**glukóza  $\leftrightarrow$  glycerol  $\leftrightarrow$  glykogen**
- lišejníky adaptovány nejlépe na využití krátkodobého zvýšení vod. potenciálu
- Oomycety mají kontraktilní vakuoly
- příjem iontů z okolí (*Thraustochytrium aureum* - brakické vody)  
x anorganické ionty ( $\text{Na}^+$ ) nebezpečné pro enzymy při vysokých konc.

*Thraustochytrium gaertnerium*  
Bongiorni & al. (2005)





# Voda - extrémy

## **Nízký osmotický potenciál**

- koncentrované šťávy, marmelády; převážně kvasinky a vláknité houby *Apergillus*, *Eremascus*, ...

## **Nízký potenciál matrixu**

- suché substráty, sušené potraviny, vláknité houby *Apergillus*, *Eremascus*, ...
- v heterogenním prostředí zvýhodněny opět vláknité houby, dokážou myceliem překonat suchá místa a dostat se k místu s dostupnou vodou (póry v půdě)

# Voda - extrémny

*Serpula lacrymans*

- dokáže kolonizovat i suché dřevo

= transport vody myceliálními provazci



[http://www.botany.ut.ee/BOI\\_tudengile/Mykoloogia/Pilt\\_12\\_new.jpg](http://www.botany.ut.ee/BOI_tudengile/Mykoloogia/Pilt_12_new.jpg)



[http://ydeneyer.ifrance.com/serpula\\_lacrimans\\_\(yd\)\\_1.jpg](http://ydeneyer.ifrance.com/serpula_lacrimans_(yd)_1.jpg)

# Voda - extrémny

- **mikrokoloniální druhy** (kolonie max. 100  $\mu\text{m}$ )
- = **yeast-like**
- na skalách v suchých oblastech, využívají vlhkost i z rosy



- velmi pomalý růst
- s tlustou, melanizovanou buněčnou stěnou
- vysoká druhová diverzita

*Ruibal & al. (2009)*

# Voda – když není

- vliv vodního potenciálu na kompetici hub při kolonizaci dřeva
- souvisí i s teplotou, dostupností živin, pořadím kolonizace

*New Phytol.* (1991), 117, 633–641

## Fungal decomposition of attached angiosperm twigs

### IV. Effect of water potential on interactions between fungi on agar and in wood

BY G. S. GRIFFITH AND LYNNE BODDY

*School of Pure and Applied Biology, University of Wales, College of Cardiff, Cardiff CF1 3TL, U.K.*

*(Received 12 March 1990 ; accepted 20 December 1990)*

# Voda – když není

- vliv vodního potenciálu na kompetici

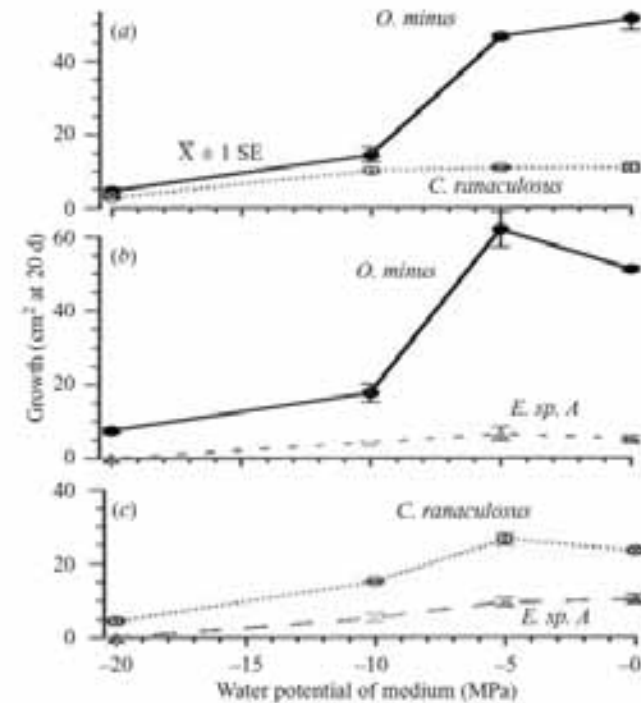


Fig. 2. Competition of fungal associates of the southern pine beetle (*Ophiostoma minus*, *Ceratocystiopsis ranaculosus*, *Entomocorticium* sp. A) on media of varying water potential. Area colonized (cm<sup>2</sup>, as measured with a digital planimeter) by each fungus in one on one competitive assays: (a) *O. minus* vs. *C. ranaculosus*; (b) *O. minus* vs. *Entomocorticium* sp. A; and (c) *C. ranaculosus* vs. *Entomocorticium* sp. A.

## Effects of available water on growth and competition of southern pine beetle associated fungi

Kier D. KLEPZIG<sup>1</sup>, J. FLORES-OTERO<sup>2</sup>, R. W. HOFSTETTER<sup>3</sup> and M. P. AYRES<sup>3</sup>

<sup>1</sup>USDA Forest Service, Southern Research Station, 2500 Shreveport Hwy, Pineville, LA 71360, USA.

<sup>2</sup>Interamerican University, Bayamon, Puerto Rico 00957, USA.

<sup>3</sup>Department of Biological Sciences Dartmouth College, Hanover, NH 03755-3576, USA.

E-mail: kklepzig@fr.fed.us

Received 26 June 2002; accepted 26 November 2003.



<http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/ascomycetes/Pages/DutchElm.aspx>

# Voda – když není

- vliv vodního potenciálu na množství nik



Fig. 1. The construction crane used in the Leipzig Geopark Project (LGP). The small platform is used to access to different levels of the canopy.

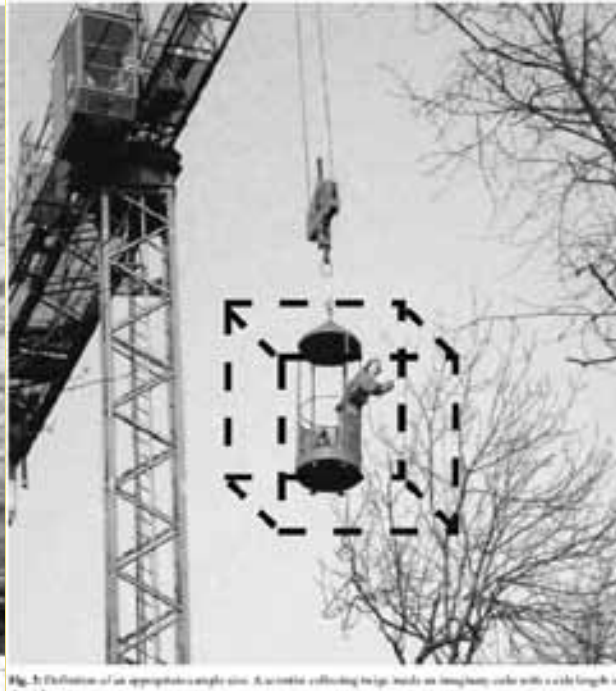


Fig. 2. Definition of an appropriate sample size. A scientist collecting fungi inside an imaginary circle with a side length of 1 m.

in oak crowns (HORCHLER 2004). The more heterogeneous conditions with respect to solar radiation, and, to a large extent, to temperature possibly result in the availability of more ecological niches in oak trees. Indeed, they are populated by a higher number of fungal species. Additionally, some of the

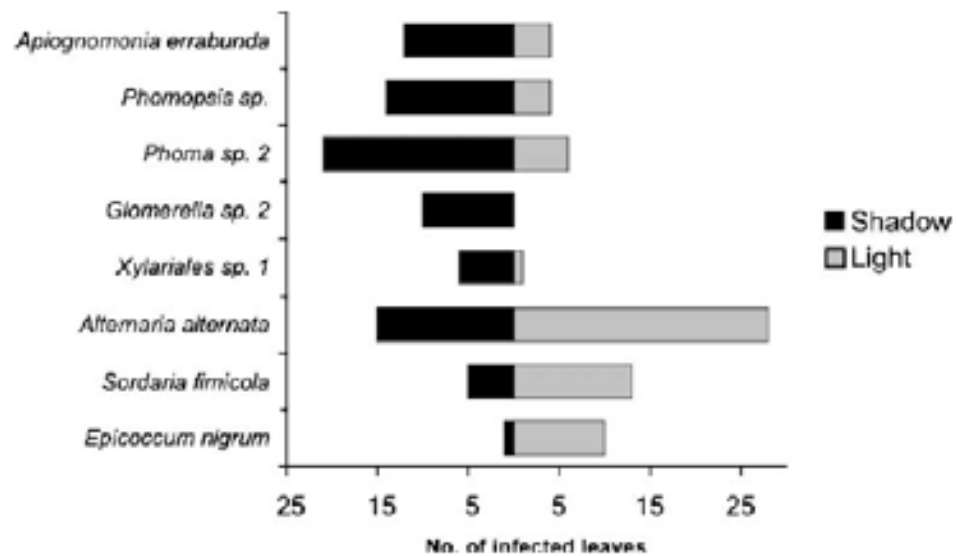
& NUÑEZ (1992), who investigated wood-decaying fungi from understorey and canopy of a rain forest in Cameroon, Africa. They found that the extreme moisture and temperature regimes of the canopy are apparently more selective, resulting in a lower species richness and different species composition.

## Species richness and substrate specificity of lignicolous fungi in the canopy of a temperate, mixed deciduous forest

# Voda – když není

- vliv vodního potenciálu na jednotlivéd ruhy

Fig. 6 Spatial variation in the abundance of seven fungal taxa which were isolated from sun leaves (*Light*) and shadow leaves (*Shadow*)



Mycol Progress (2007) 6:201–212  
DOI 10.1007/s11557-007-0541-1

ORIGINAL ARTICLE

## Species richness and distribution patterns of leaf-inhabiting endophytic fungi in a temperate forest canopy

Martin Unterscher · Almut Reiber ·  
Knut Finstermeier · Peter Otto · Wilfried Morawetz



# Voda - extrémny

- podmorské sedimenty

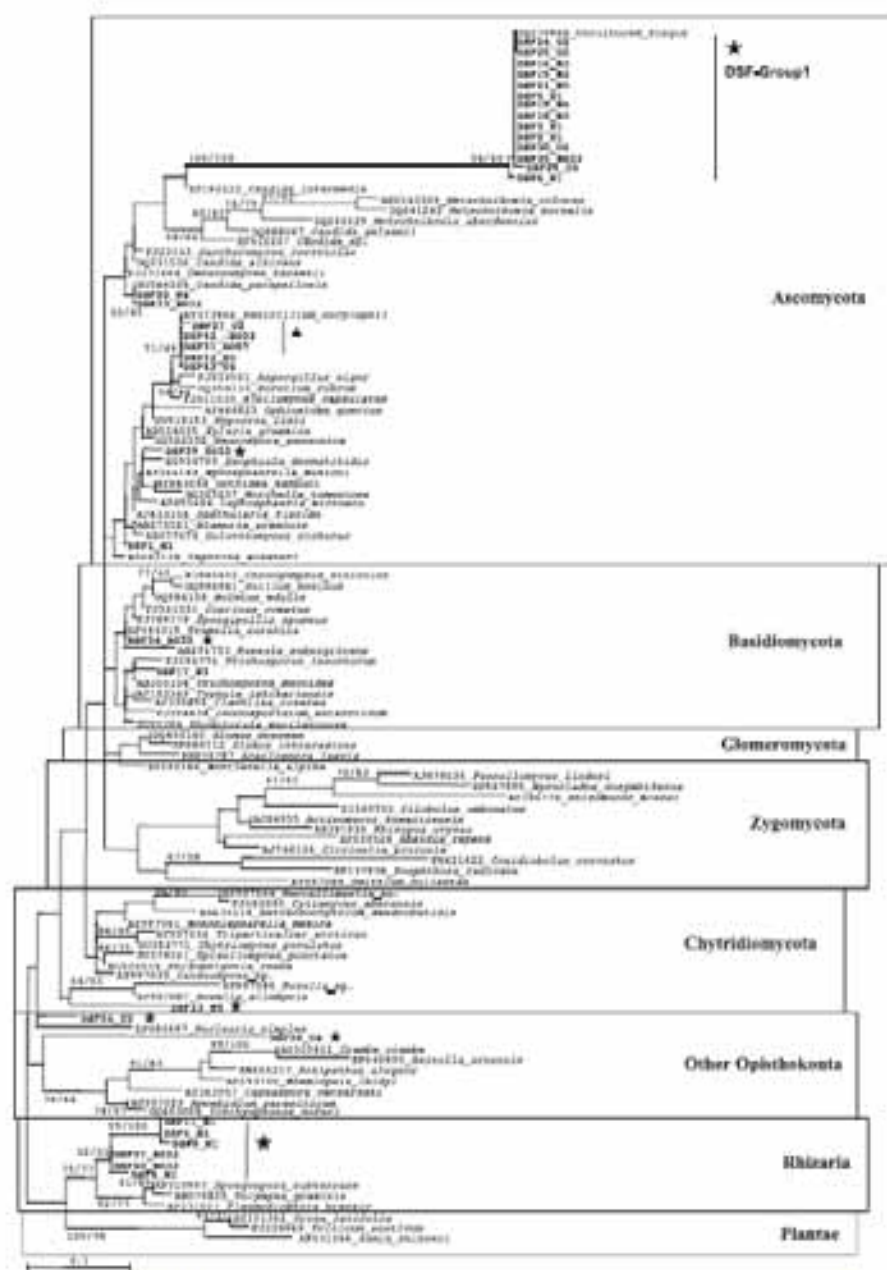


Fig 5 - Phylogenetic tree for 5.8 rRNA sequences of environmental fungal clones from deep-sea sediments and appropriate fungal species in public databases. The fungal clones detected in this study are indicated in bold. The phylogenetic tree was constructed using the RAxML algorithm. Numbers at nodes are bootstrap indices of support (respectively ML/NI), and only branches with bootstrap values above 50% from an analysis of 100 bootstrap replicates are indicated. Highly novel sequences which showed low similarity to known fungal species by FASTA search, are marked with a star. Novel sequences which showed more than 90% similarity to known fungal species are marked with a triangle.

FUNGAL DIVERSITY 3 (2014) 315-326

available at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ScienceDirect

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/funeco](http://www.elsevier.com/locate/funeco)

## Fungal diversity in deep-sea sediments - the presence of novel fungal groups

Yuriko NAGANO\*, Takahiko NAGAHAMA, Yuji HATADA, Takuro NUNOURA, Hideto TAKAMI, Junichi MIYAZAKI, Ken TAKAI, Koki HORIKOSHI

Institute of Bioprocessors, Japan Agency for Marine Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka 227-0062, Japan



# Voda - extrémny

- podmořské sedimenty

**Table 2** Phylogenetic affiliation of the fungal OTUs obtained with different primer sets (sequences showing <97% similarity values are represented in bold)

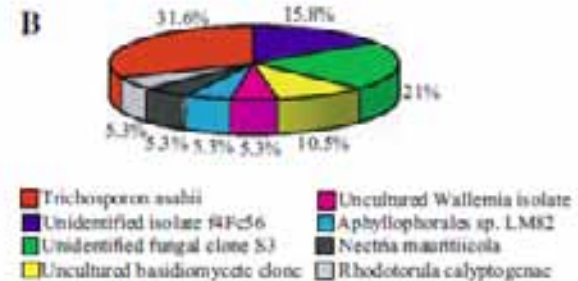
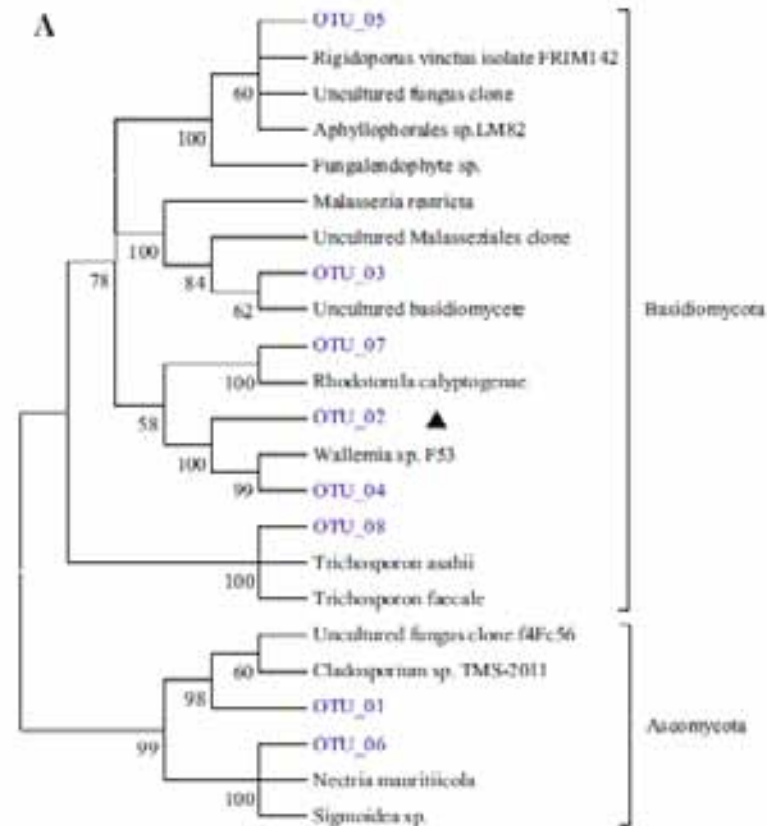
Serial no.	Phylum	Closest relative (GenBank accession no.)	Percent similarity	Originally reported habitat	OTUs with fungal-specific ITS primers	OTUs with universal ITS primers	OTUs with universal 18S rDNA primers
1	Ascomycota	<i>Sagittospora</i> sp. (FJ357782)	99	Deep-sea sediment of CH	<i>OTU_02</i>	<b>OTU_11</b>	–
2	Ascomycota	<i>Dactylospora</i> sp. (EU660535)	99	Moth exoskeleton	–	<b>OTU_21</b>	–
3	Ascomycota	<i>Aspergillus penicillatus</i> (DQ285959)	97	Lacunar's patient	–	<b>OTU_15</b>	<b>OTU_23</b>
4	Ascomycota	<i>Aspergillus restrictus</i> (AB009407)	99	Soil	–	–	<b>OTU_24</b>
5	Ascomycota	<i>Horatia</i> sp. F 47 (FJ55827)	<b>98</b>	Marine sponge	<i>OTU_03</i>	<b>OTU_10</b>	–
6	Ascomycota	<i>Stenella muricola</i> (EU514294)	<b>99</b>	<i>Musa acuminata</i>	<i>OTU_04</i>	<b>OTU_13</b>	–
7	Ascomycota	<i>Ganoderma</i> sp. F15 (FJ752821)	100	Coastal waters of China	<i>OTU_01</i>	<b>OTU_14</b>	–
8	Ascomycota	<i>Aspergillus restrictus</i> (AB002079)	<b>94</b>	Not known	–	<b>OTU_16</b>	<b>OTU_22</b>
9	Ascomycota	<i>Debaryomyces hansenii</i> (AF054266)	98	Not known	–	<b>OTU_19</b> <sup>a</sup>	–
10	Ascomycota	<i>Pichia jadinii</i> (EU568927)	99	Pilot-scale municipal compost	<i>OTU_06</i> <sup>a</sup>	–	–
11	Ascomycota	<i>Nudulipentium</i> sp. (EF600033)	98	Stroma of <i>Epichloe typhina</i>	<i>OTU_07</i> <sup>a</sup>	–	–
12	Ascomycota	<i>Aspergillus niger</i> (GQ228449)	<b>96</b>	Soil from Kalibagh iron ore deposit	–	–	<b>OTU_25</b>
13	Ascomycota	<i>Ganoderma glaucosporia</i> (AB013519)	97	Not known	–	–	<b>OTU_28</b>
14	Ascomycota	<i>Aspergillus fumigatus</i> (GQ109424)	99	Fossa throsti	–	–	<b>OTU_29</b> <sup>a</sup>
15	Ascomycota	<i>Aspergillus</i> sp. (FJ864683)	99	Root of <i>Angelica sinensis</i>	–	–	<b>OTU_30</b> <sup>a</sup>
16	Ascomycota	<i>Phoma horbarum</i> (AY293777)	99	Not known	–	–	<b>OTU_32</b>
17	Ascomycota	<i>Aspergillus versutus</i> (EF067336)	99	Culture collection	–	–	<b>OTU_33</b>
18	Ascomycota	<i>Ulopora hilgarii</i> (DQ384071)	98	Dung	–	–	<b>OTU_37</b> <sup>a</sup>
19	Ascomycota	<i>Capnodium coffeae</i> (DQ247808)	<b>93</b>	Maine rhizosphere soil	–	–	<b>OTU_39</b> <sup>a</sup>
20	Ascomycota	<i>Bionectriaceae</i> sp. (FJ821507)	97	Rhizome of <i>Phellinus gilvus</i>	–	<b>OTU_22</b> <sup>a</sup>	–
21	Ascomycota	Fungal sp. ARZ L365 (FJ612791)	99	Tree seed	<i>OTU_08</i> <sup>a</sup>	–	–
22	Ascomycota	Uncultured (GQ120138)	98	Arabian Sea sediment	–	–	<b>OTU_26</b>
23	Ascomycota	Uncultured (AB074653)	98	Arabian Sea sediment	–	–	<b>OTU_31</b> <sup>a</sup>
24	Ascomycota	Uncultured (AJ515945)	97	Maine rhizosphere soil	–	–	<b>OTU_33</b>
25	Ascomycota	<i>Ganoderma parasitica</i> (GQ395610)	99	Feeding production sample	–	<b>OTU_20</b> <sup>a</sup>	–
26	Basidiomycota	<i>Malassezia pachydermatis</i> (DQ457640)	<b>96</b>	Not known	–	<b>OTU_17</b>	–
27	Basidiomycota	<i>Trichosporon anakti</i> (AB369019)	99	Skin of patient	<i>OTU_05</i>	<b>OTU_12</b>	–
28	Basidiomycota	<i>Hyalomma jabi</i> (AY741380)	97	Hypersaline water of salterns	–	–	<b>OTU_34</b>
29	Basidiomycota	<i>Rhodospiridium sphaerocarpum</i> (EF64387)	100	Deep-sea of Pacific Ocean	<i>OTU_09</i> <sup>a</sup>	–	–
30	Basidiomycota	Fungal sp. FCAS11 (GQ120154)	97	Arabian Sea sediment	–	–	<b>OTU_38</b>
31	Basidiomycota	Uncultured (AJ515927)	99	Contaminated aquifer sediment	–	–	<b>OTU_36</b>
32	Basidiomycota	Uncultured (FJ899114)	<b>94</b>	Hawaiian coastal waters	–	<b>OTU_18</b>	–

Primer pairs: ITS1F/ITS4 (fungal-specific) are in *italics*, ITS1/ITS4 (Universal ITS) in **bold**, and NS1/NS2 (Universal 18S rDNA) in **bold italics**

<sup>a</sup> Singletons

# Voda - extrémny

- podmorské sedimenty



**Fig. 1 a** Maximum likelihood (ML) phylogenetic tree for the fungal OTUs constructed based on fungal ITS gene sequences obtained using fungal specific primer set ITS1F/ITS4. Topology was built using Mega v.5.03 from a ClustalW 1.83 alignment. Numbers below branches indicate bootstrap values (>50%) from 1,000 replicates. New sequence types are marked with *triangle*. **b** Proportional distribution of different fungal taxa in the clone library constructed with fungal specific primer set ITS1F/ITS4

## Assessment of fungal diversity in deep-sea sediments by multiple primer approach

# pH

- **optimum pH 5-6** (většina zvládá pH 4-7, **koprofilní** preferují >6)
- uvnitř hyf téměř konstantní pH 7

x **bakterie (bazické pH)**

## **Mechanismy?**

- organické kyseliny
- silné protonové pumpy, regulace metabolismu  $H^+$

# pH - extrémny

## V laboratorních podmínkách

*Cephalosporium* sp., *Trichosporon cerebriae* pH 0

*Candida krusei*, *Rhodotorula mucilaginosa* pH 1,5

x *Saccharomyces fragilis* - pH 9

## V přírodě

- erikoidní mykorhizní houby při pH 3

- některé průmyslové odpady rovněž nízké pH

Při nízkém pH jsou uvolňovány a dostupné ionty  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$

x při vysokém pH jsou kovy nerozpustné, mohou chybět ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ )

# Teplota

## Mezofilní druhy

- většina druhů dokáže růst 4 - 30°C, optimum 20 - 25°C

## Termotolerantní druhy

- optimum 20°C, dokážou růst i při 50°C  
(*Mucor pusillus*, *Chaetomium thermophile*, *Thermomyces lanuginosus*,  
*Thermoascus aurantiacus*)

## Termofilní druhy

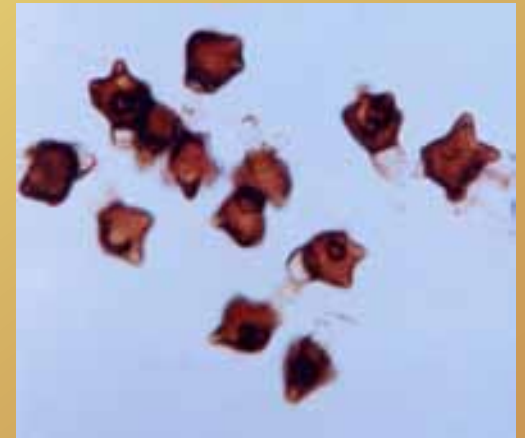
- nedokáží růst pod 20°C, max. ± 55°C

## Psychrotolerantní druhy

- optimum ± 20°C, dokáží růst i při ± -3°C (*Monographella nivalis*)

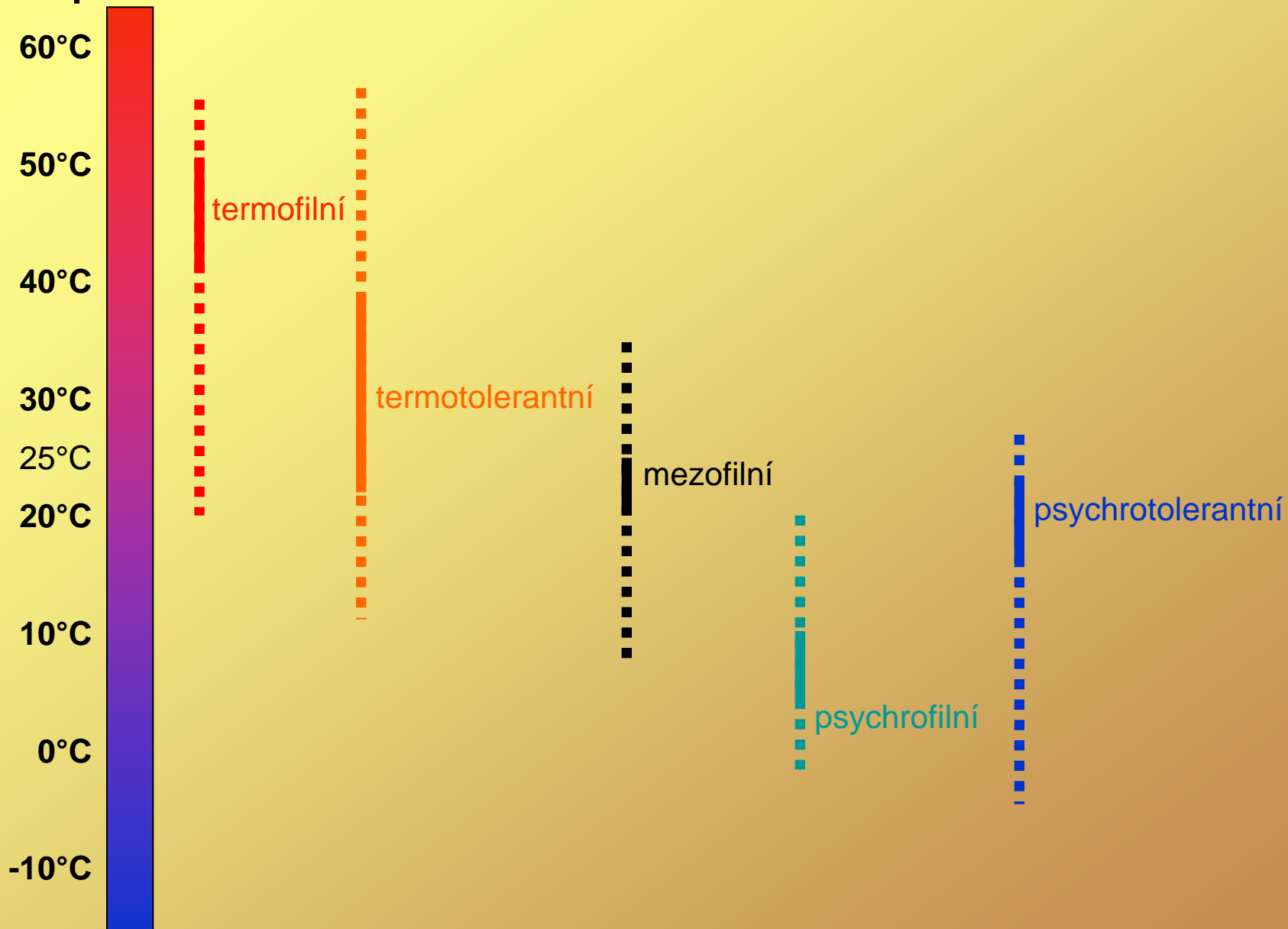
## Psychrofilní druhy

- nedokáží růst nad 20°C, optimum pod 15°C (± 0 kvasinky na Antarktidě)



*Thermomyces stellatus*

# Teplota



# Teplota - extrémny

## Termotolerantní a termofilní druhy

- termofilní druhy v kompostech, hnízdech ptáků, krokodýlů, ...



- hnízdo krokodýlů na řece Sekonyer (Borneo)

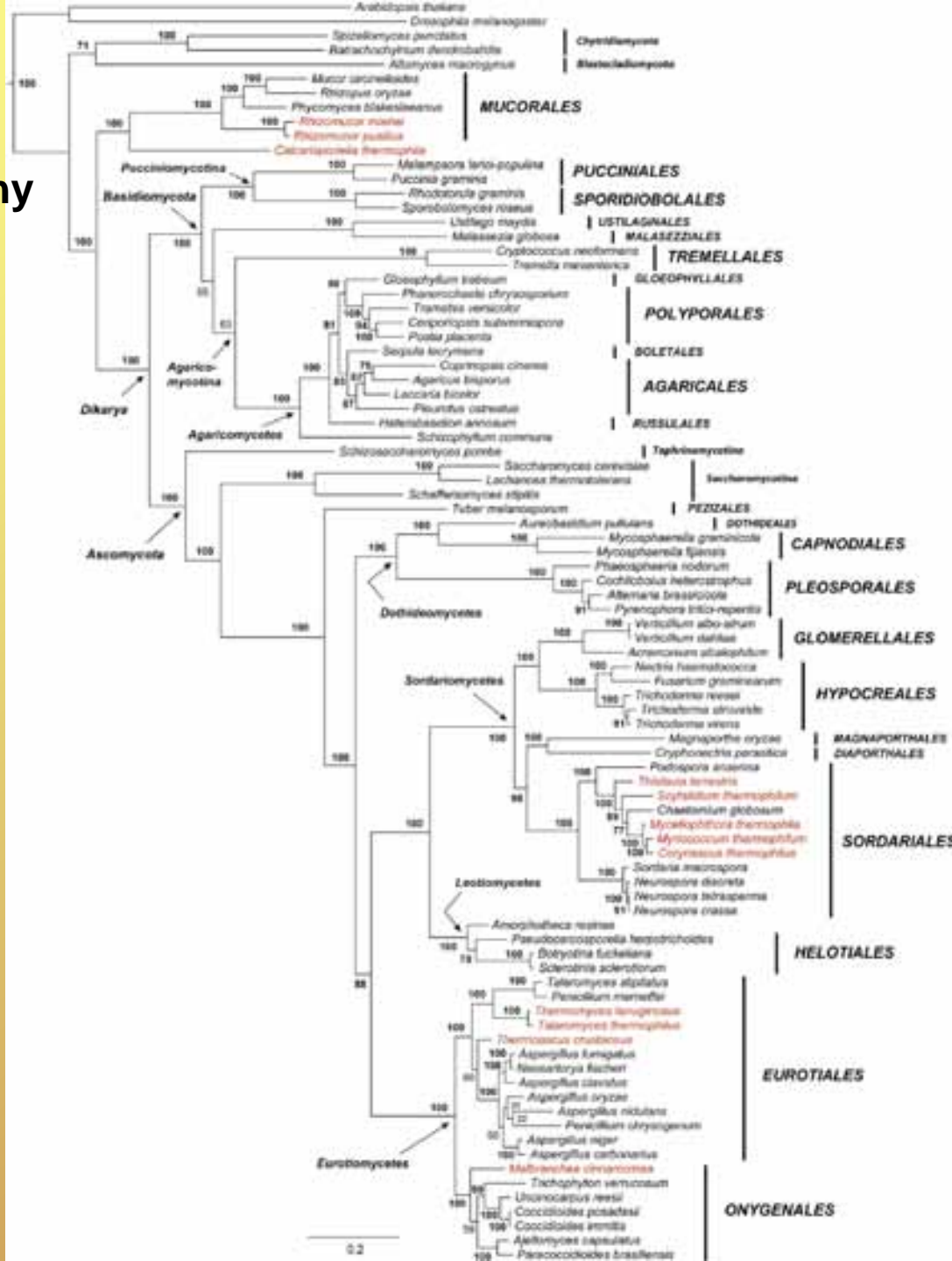


<http://www.svet-bydleni.cz/Files/Backup/kvalitniKOMPOST01.jpg>

# Teplota - extrémny

Termotolerantní a termofilní druhy

- opakovaný vznik termofilie



FUNGAL BIOLOGY 116 (2012) 489-507



**bms**  
British Mycological  
Society promoting fungal science

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/funbio](http://www.elsevier.com/locate/funbio)



## A molecular phylogeny of thermophilic fungi

Ingo MORGENSTERN<sup>a,b</sup>, Justin POWLOWSKI<sup>a,c</sup>, Nadeeza ISHMAEL<sup>a</sup>, Corinne DARMOND<sup>a</sup>,  
Sandrine MARQUETEAU<sup>a</sup>, Marie-Claude MOISAN<sup>a</sup>, Genevieve QUENNEVILLE<sup>a</sup>,  
Adrian TSANG<sup>a,b,\*</sup>



# Teplota - extrémny

- nerostou, ale **přežívají** i teploty  $+70^{\circ}\text{C}$ , je ale nutné **sucho**
- **askospory** *Talaromyces flavus* přežijí i  $80^{\circ}\text{C}$
- **konidie** čeledi *Trichocomaceae* přežijí i požár (exp. přežili  $105^{\circ}\text{C}$ , izolovány i z borky po požáru)



<http://images.google.cz/>



[http://wikimedia.org/wikipedia/commons/2/26/Forest\\_fire\\_aftermath.jpg](http://wikimedia.org/wikipedia/commons/2/26/Forest_fire_aftermath.jpg)

- AM druhy v kořenech rostlin u horkých vývěřů (Yellowstone NP)

# Teplota - extrém

- vliv endofytní houby



*Dichanthelium lanuginosum*  
[http://wfrc.usgs.gov/research/aquatic%](http://wfrc.usgs.gov/research/aquatic%20)

## ECOLOGY

### Thermotolerance Generated by Plant/Fungal Symbiosis

Regina S. Redman,<sup>1,2</sup> Kathy B. Sheehan,<sup>2,5</sup> Richard G. Stout,<sup>4,5</sup> Russell J. Rodriguez,<sup>1,2\*</sup> Joan M. Henson<sup>2,5</sup>

All plants studied in natural ecosystems are symbiotic with fungi (1), which obtain nutrients while either positively, negatively, or neutrally affecting host fitness (2). Plant adaptation to selective pressures is considered to be regulated by the plant genome (3). To test whether mutualistic fungi contribute to plant adaptation, we collected 200 *Dichanthelium lanuginosum* plants from geothermal soils at 10 sites in Lassen Volcanic (LVNP) and Yellowstone (YNP) National Parks. These soils have annual temperature fluctuations ranging from about 20° to 50°C (4).

Plants and their roots were removed and assessed for fungal colonization (5). A fungal endophyte was isolated from the roots, crowns, leaves, and seed coats of all plants collected. Cultures established from single spores were analyzed by morphological (6) and rDNA sequence analyses (7) that suggested that the endophyte may be a new species of *Curvularia* (5). Soils from the base of 30 plants in YNP were devoid of the *Curvularia* sp., although other fungi were abundant (4). Moreover, axenically cultured *Curvularia* sp. was incapable of mycelial growth, spore germination, or survival at  $\geq 40^\circ\text{C}$  (5). Because geothermal soils were above 40°C all summer (4) and devoid of the fungus, we conclude that this *Curvularia* sp., like all known *Curvularia* species, is exclusively associated with plants.

To assess the effect of the endophyte on the thermotolerance of *D. lanuginosum*, we removed seed coats and surface sterilized seeds (8) to generate endophyte-free plants. Treated seeds were planted in sterile magenta boxes containing sand, and after 1 month, plants were either mock-inoculated

or inoculated with *Curvularia* sp. by pipetting  $10^5$  spores between the crown and first leaf. In the absence of thermal stress, endophyte-colonized (symbiotic) and endophyte-free (nonsymbiotic) plants showed no measurable growth or developmental differences. When root zones were heated with thermal tape (Fig. S1), nonsymbiotic plants (45/45) became shriveled and chlorotic at 50°C (Fig. 1A). In contrast, symbiotic plants (45/45) tolerated constant 50°C soil temperature for 3 days and intermittent soil temperatures as high as 65°C for 10 days. All nonsymbiotic plants (45/45) died during the 65°C heat regime, whereas symbiotic plants (45/45) survived. The endo-

phyte was reisolated from surface sterilized roots and leaves of all surviving plants, indicating that both the fungus and the host were protected from thermal stress.

We also field-tested symbiotic and nonsymbiotic seedlings in pasteurized geothermal soil collected and returned to Amphitheater Springs (YNP) in May 2001 (Fig. 1B). By May 2002, symbiotic plants were greener with greater root and leaf masses (Ta-

ble S2) than those of nonsymbiotic plants in soils  $\geq 40^\circ\text{C}$ . In soils above 40°C, nonsymbiotic plants did not survive while symbiotic plants thrived. The beneficial effect of fungal symbiosis increased with soil temperatures, demonstrating that *Curvularia* sp. provided thermal protection for *D. lanuginosum*. We reisolated *Curvularia* sp. from *D. lanuginosum* roots at 45°C field soil temperatures, indicating that thermal protection was also provided to the fungus, which corroborated our laboratory experiments.

In addition to thermotolerance, the basis of mutualism in this system may involve other benefits (e.g., nutrient acquisition by the fungus). Several possible symbiotic mechanisms could confer thermotolerance. In plants, the fungal endophyte produces cell wall melanin (Fig. S3) that may dissipate heat along the hyphae and/or complex with oxygen radicals generated during heat stress (9). Alternatively, the endophyte may act as a "biological trigger" allowing symbiotic plants to activate stress-response systems more rapidly and strongly than nonsymbiotic plants (10).

#### References and Notes

1. O. Petrini, in *Microbiology of the Phyllosphere*, N. J. Fokkema, J. van den Hulst, Eds. (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1986), pp. 175-187.
2. D. H. Lewis, in *The Biology of Mutualism*, D. H. Boucher, Ed. (Croom Helm, London, 1985), pp. 29-39.
3. M. F. Smallwood, C. M. Culvert, D. J. Bowles, Eds., *Plant Responses to Environmental Stress* (BIOS Scientific Publishers, Oxford, 1999).
4. R. S. Redman, A. Livintseva, K. B. Sheehan, J. M. Henson, R. J. Rodriguez, *Appl. Environ. Microbiol.* 65, 5193 (1999).
5. Materials and Methods are available as supporting material on Science Online.
6. A. Sivanen, *Mycol. Pap.* 158, 104 (1987).
7. T. J. White, T. Bruns, S. Lee, J. Taylor, in *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*, M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky, T. J. White, Eds. (Academic Press, San Diego, CA, 1990), pp. 315-322.
8. R. S. Redman, D. D. Dunigan, R. J. Rodriguez, *New Phytol.* 151, 705 (2001).
9. J. F. Davidson, B. Whyte, P. H. Businger, E. H. Schieff, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 93, 5116 (1996).
10. R. S. Redman et al., *Plant Physiol.* 119, 795 (1999).
11. We thank T. Al-Niem, L. Erachis, M. Eason, E. Kuhn, A. Livintseva, and J. Duda for technical and field assistance. This project was made possible by the permission, assistance, and guidelines of YNP and LVNP. This work was supported by grants from the U.S. Geological Survey, the NSF (9977922), the U.S. Army Research Office (DAAH04-96-1-01194), and the MSU Thermal Biology Institute.

#### Supporting Online Material

www.sciencemag.org/cgi/content/full/298/5598/1581/DC1  
 Materials and Methods  
 Figs. S1 and S3  
 Table S2

<sup>1</sup>U.S. Geological Survey, WFRC, 6505 NE 65th Street, Seattle, WA 98115, USA. <sup>2</sup>Department of Botany, University of Washington, Seattle, WA 98195, USA. <sup>3</sup>Department of Microbiology, <sup>4</sup>Department of Plant Sciences, and <sup>5</sup>Thermal Biology Institute, Montana State University, Bozeman, MT 59717, USA.

To whom correspondence should be addressed. E-mail: Rusty\_Rodriguez@usgs.gov

# Teplota - extrémny

- endofytní houba *Morchella elata* + *Bromus tectorum*

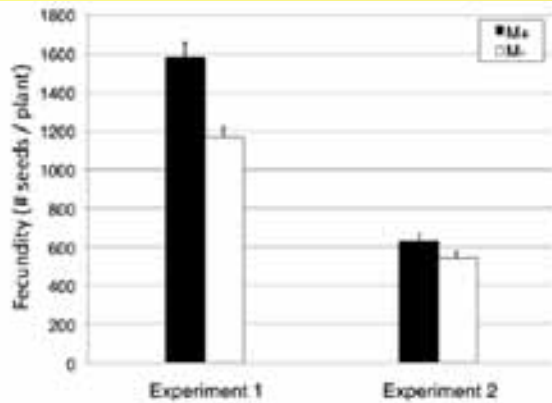


Fig 1 – *Morchella* increased cheatgrass fecundity in both experiments ( $t = 6.80, P < 0.001$  and  $t = 2.07, P = 0.05$ , respectively).



- vyšší biomasa (vyšší pravděpodobnost požáru) a vyšší teplotní odolnost semen

## A novel plant–fungal mutualism associated with fire

Melissa BAYNES<sup>a</sup>, George NEWCOMBE<sup>b,\*</sup>, Linley DIXON<sup>c</sup>, Lisa CASTLEBURY<sup>c</sup>,  
Kerry O'DONNELL<sup>d</sup>

# Teplota - extrémny

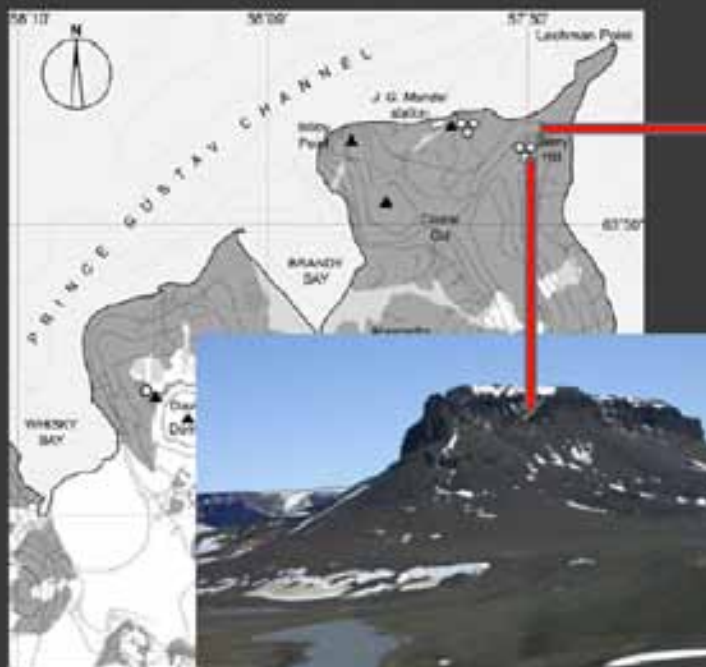
## Psychrotolerantní druhy

- Antarktída a Arktída = tam kde převážně pod 0°C, tam pouze půdní **kvasinky**
- = tam kde jsou už i mechrosty org. látky z živočichů a teplota stoupne nad 0 °C tam už půdní vláknité houby (Laichmanová & Barták 2009)

## 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

# Teplota - extrémny

## Psychrotolerantní druhy

= v subantarktické části, kde i dřeviny, tam např. *Galerina*, *Omphalina*



*Galerina autumnalis*

[http://www.mykoweb.com/CAF/photos/large/Galerina\\_autumnalis\(mgw-05\).jpg](http://www.mykoweb.com/CAF/photos/large/Galerina_autumnalis(mgw-05).jpg)

- ve většině případů jde o **psychrotolerantní kmeny mezofilních druhů**

# Teplota - extrémny

**Psychrotolerantní druhy**

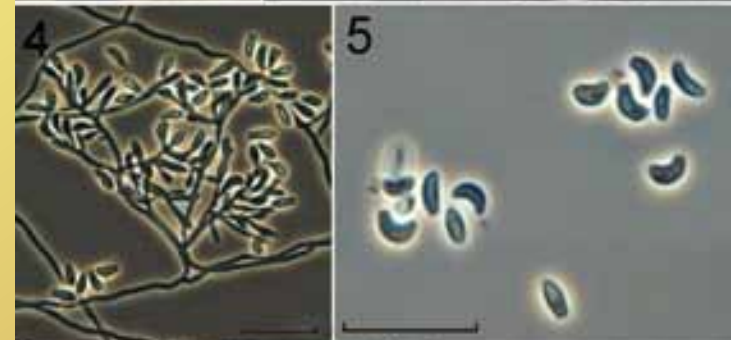
- i u nás, *Flammulina velutipes*



# Teplota - extrémny

**WNS** = *white nose syndrom*

- *Pseudogymnoascus destructans*
- psychrofilní, kolonizuje zimující netopýry



© Kubátová & Koukol (2011)



napadení netopýři *Myotis myotis*,  
Býčí skála, 2010

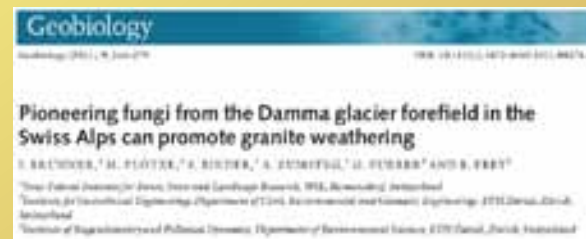
# Teplota - extrémny

## Psychrotolerantní druhy

- teplota a boreál = část sezóny pod sněhem
- půda nezamrzá, vysoká diverzita a aktivita hub
- zatím zjištěny bazidiomycetové kvasinky (*Cryptococcus* spp.) a pod ledovcem vláknité zygomycety schopné erodovat žulu



We found distinct seasonal patterns for all biomass parameters, with highest biomass concentrations during winter in snow-covered soil. The presence of plant cover had a significant positive effect on the amount of biomass in the soil, but the type of plant cover (plant species) was not a significant factor. A mean hyphal ingrowth of  $5.6 \text{ m g}^{-1}$  soil was detected in snow-covered soil during winter, thus clearly proving fungal growth during winter in snow-covered soil. Winter fungal communities had a typical species composition: saprobial fungi were dominating, among them many basidiomycete yeasts. Plant cover had no influence on the composition of winter fungal communities.



Fungi were isolated from fine granitic sediments, which were collected at 15 sampling points within a  $20 \text{ m} \times 40 \text{ m}$  area in front of the Damma glacier in the central Swiss Alps. From the 45 fungal isolates grown on nutrient-rich agar media at  $4^\circ\text{C}$ , 24 isolates were selected for partial sequencing and identification based on the small subunit ribosomal DNA. Sequencing data revealed that the isolated fungi represented three fungal phyla and 15 species. The weathering potential of 10 of the 15 fungal species was tested with dissolution experiments using powdered granite material ( $<63 \mu\text{m}$ ). The results showed that the zygomyceteous species *Mucor hiemalis*, *Umbelopsis isabellina* and *Mortierella alpina* dissolved the granite powder most efficiently due to the release of a variety of organic acids, mainly citrate, malate and oxalate. In particular, the high concentrations of Ca, Fe, Mg and Mn in the solutions clustered well with the high amounts of exuded citrate. This is the first report on fungi that were isolated from a non-vegetated glacier forefield in which the fungi's capabilities to dissolve granite minerals were examined.



# Faktory se kombinují!

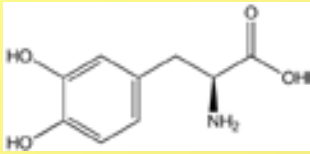
- houby mají určitý rozsah vodních potenciálů, při kterých rostou maxima x dosažená v laboratoři
- **souvisí s pH** = jestliže je pH pod optimem, tak je potřeba vyšší potenciál pro růst i klíčení spor
- **souvisí s teplotou** = při optimální teplotě je nejvyšší tolerance k nízkému potenc. = při optimálním potenciálu je nejvyšší tolerance k extr. teplotám
- posun podmínek do krajních hodnot má vliv na kompetici mezi houbami = druh, který zvládá lépe nepříznivé hodnoty vítězí v kompetici (např. *Mycena galopus* vs. *Gymnopus androsaceus*, *Trichoderma koningii* vs. *Trichoderma hamatum*)
- při teplotách blízkých hraničním hodnotám produkce/požadavek specif. látek (riboflavin)

**Tolerance, optimum, maxima jsou odlišná pro různé kmeny jednoho druhu!**

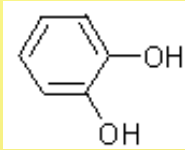
# Pasivní obrana

## Melanin

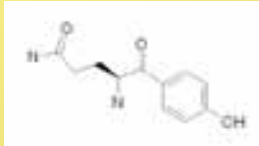
- tmavá makromolekulární sloučenina tvořená několika typy monomerů



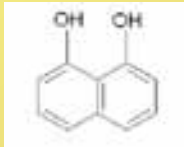
dihydroxyfenylalanin (DOPA) – savci, u hub snad pouze *Tuber* sp.



katechol – pouze *Ustilago* sp.



glutaminyl-4-hydroxybenzen (GHB) – převážně bazidiomycety



1,8-dihydroxynaftalen (DHN) – převážně u askomycetů

- neobsahuje dusík, ale vázán na proteiny a polysacharidy v buněčné stěně
- chemicky i biologicky velmi odolný (lytické enzymy, nerozpustný ve vroucí vodě, ani horké kyselině odbarven v  $H_2O_2$ , rozklad pouze v horké zásadě)

# Pasivní obrana

## Melanin

- chrání mycelium (spory) před:

UV

radioaktivitou

vyschnutím (váže velké množství vody)

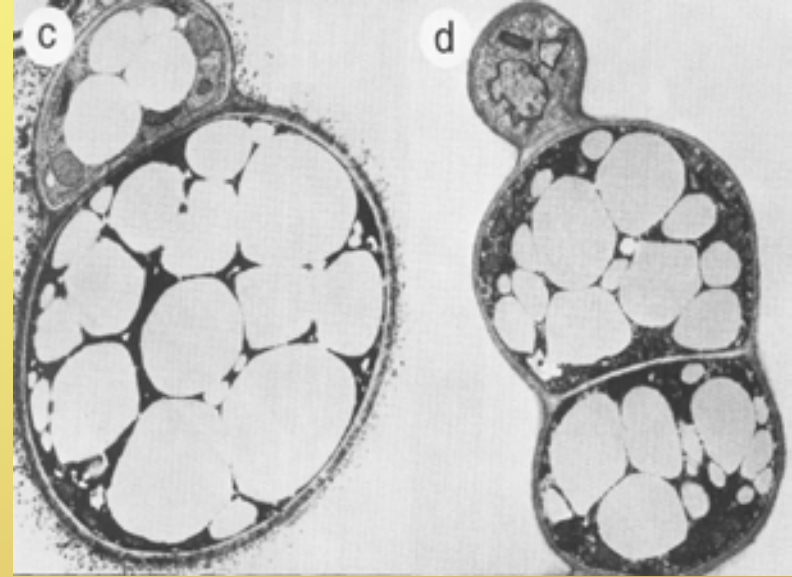
extrémními teplotami

chemikáliemi ( $H_2O_2$ , volné radikály)

lytickými enzymy (glukanáza, chitináza, ...)

+ dodává pevnost, virulentní faktor (melanin vylučovaný patogenními druhy), váže a akumuluje kovy (Zn, Fe, Cu až 50x více oproti okolí)

+ *sporopolenin, ale o něm se málo ví*



*Butler & Day (1968)*