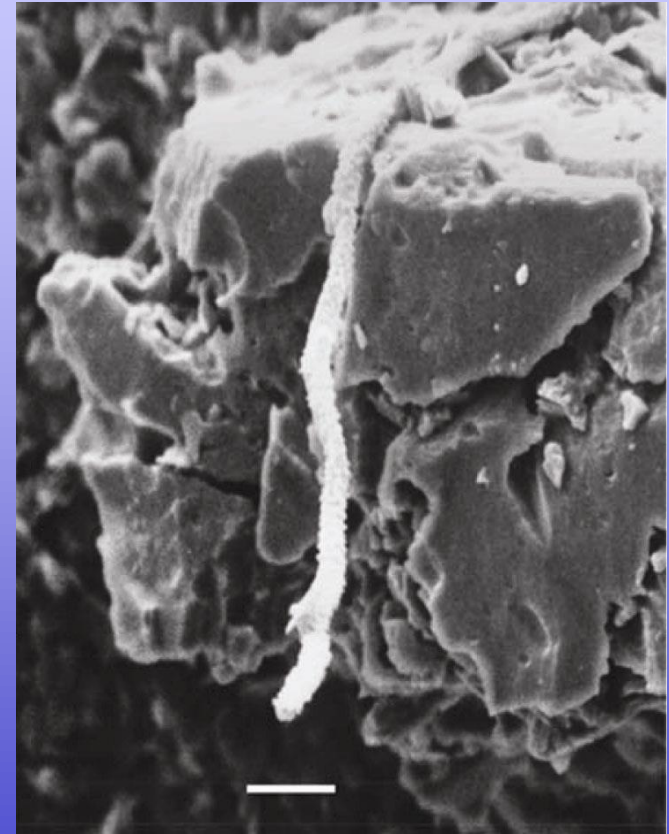
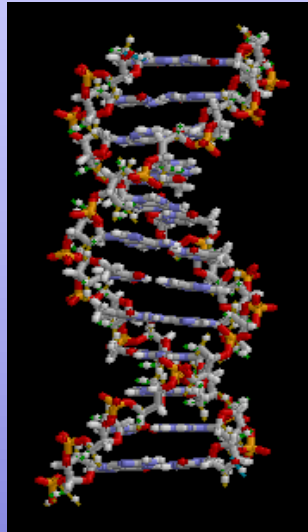


GEOMYKOLOGIE IV.

(houby v životním prostředí)



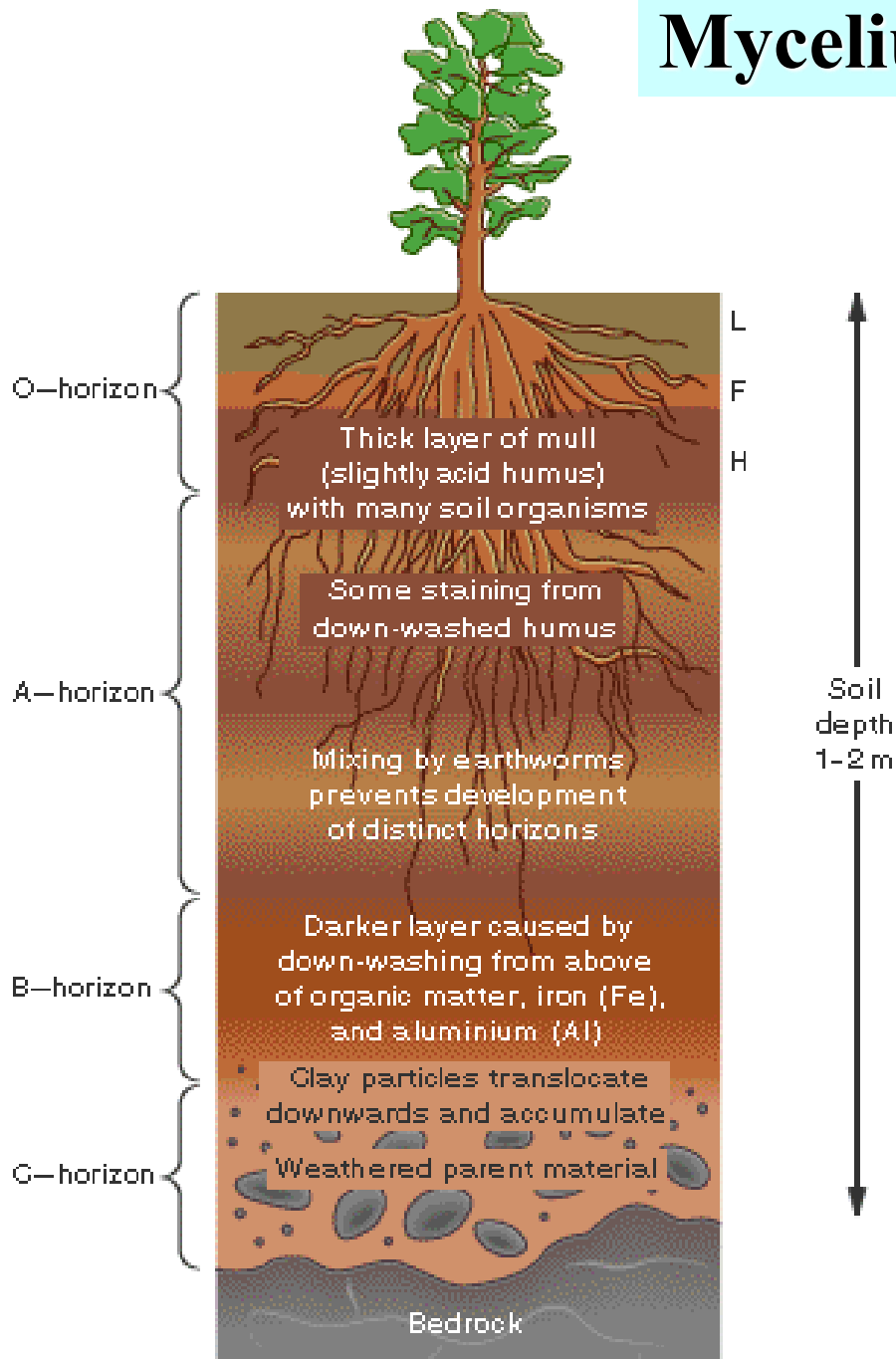
25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.41	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96
43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60
75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (209)



RNDr. Jan Borovička, Ph.D.

Ústav jaderné fyziky AV ČR / Geologický ústav AV ČR

Mycelium v půdním profilu



Poloha mycelia saprotrofů pravděpodobně především v organických horizontech (L, F, H), ale také Ah. Možná i níže?

Poloha mycelia mykorhizních hub pravděpodobně souvisí s typem profilu + symbiontem.

Mycelium mykorhizních hub bylo identifikováno ve všech horizontech (A-C), přičemž se vertikální distribuce v rámci profilu mění, druhová závislost.

Vertical distribution of ectomycorrhizal fungal taxa in a podzol soil profile

A. Rosling¹, R. Landeweert², B. D. Lindahl¹, K.-H. Larsson³, T. W. Kuyper², A. F. S. Taylor¹ and R. D. Finlay¹

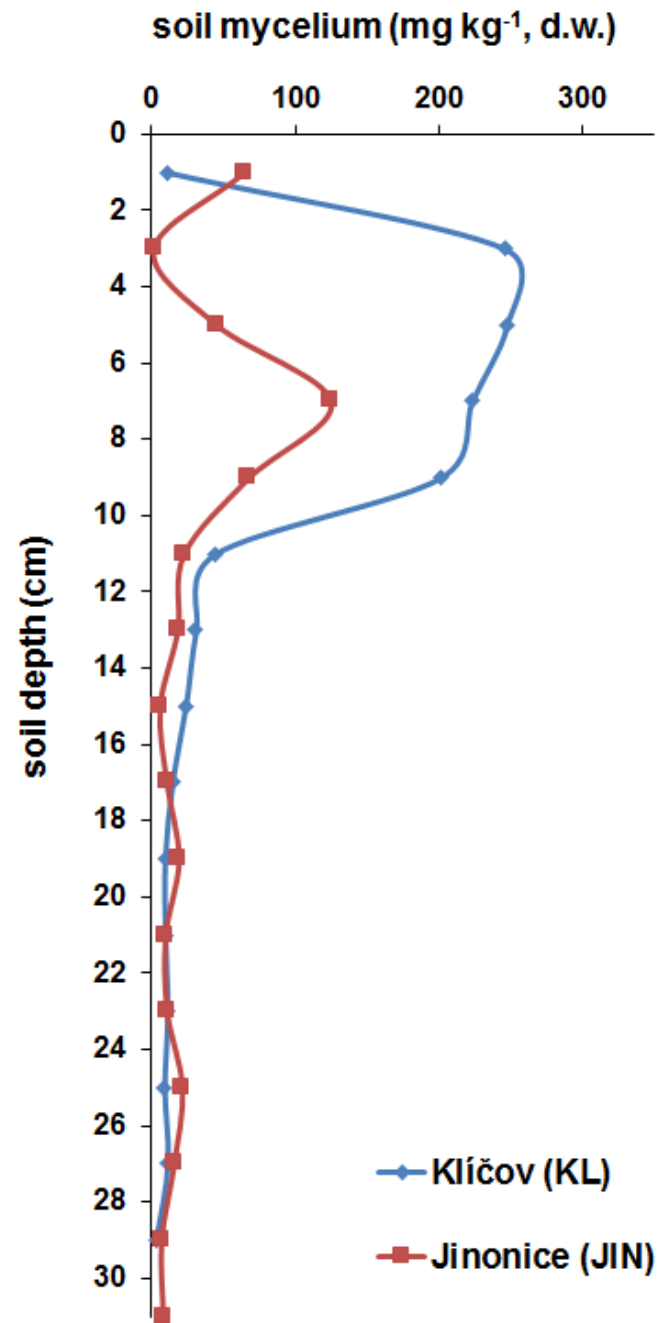
¹Department of Forest Mycology and Pathology, SLU, Box 7026, 750 07 Uppsala, Sweden; ²Sub-Department of Soil Quality, Wageningen University, Box 8005, NL-6700 EC, Wageningen, The Netherlands; ³Botanical Institute, Göteborg University, Box 461, SE-405 30 Göteborg, Sweden



Summary

- Studies of ectomycorrhizal fungal communities in forest soils are usually restricted to the uppermost organic horizons. Boreal forest podzols are highly stratified and little is known about the vertical distribution of ectomycorrhizal communities in the underlying mineral horizons.
- Ectomycorrhizal root tips were sampled from seven horizons in three continuous columns of a 52-cm deep podzol profile. Root tips were sorted into morphological groups and the colonising fungi identified by sequencing of the rDNA ITS region. The vertical distribution of mycorrhizal taxa was examined.
- A relationship between ectomycorrhizal species composition and soil horizon was found. *Tomentellopsis submollis*, three *Piloderma* species and *Dermocybe* spp. were found predominantly in the upper horizons while *Suillus luteus*, *Lactarius utilis* and three undescribed *Piloderma* species were associated with the mineral horizons.
- Two thirds of the root tips were found in the mineral soil and half of the taxa were restricted to the mineral horizons. The results highlight the need to include the mineral soil in order to gain a more accurate representation of the ectomycorrhizal community.

Key words: boreal forest, diversity, ectomycorrhiza, *Piloderma*, podzol, vertical distribution.





Klouzek kravský – *Suillus bovinus*

(Foto Karel Žák)



Klouzek kravský – *Suillus bovinus*

(Foto Karel Žák)

Saprotrofní houby



- **Dekompozice** (*decay, decomposition*) nadřazený termín pro všechny procesy spojené s mechanickými, biologickými i chemickými změnami v mrtvé organické hmotě, např. opadu
- **Degradace** (*degradation*): rozklad složek, důraz kladen na jejich podstatu, chemické složení, typ...



Soil Biology and Biochemistry

Volume 36, Issue 11, November 2004, Pages 1761–1768



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

G. Sjöberg^a,  , S.I. Nilsson^a, T. Persson^b, P. Karlsson^b



Biodegradace (*biodegradation*)

mikrobiální rozklad konkrétních chemických sloučenin, často antropogenních, většinou toxických a obtížně rozložitelných; vztahuje se na biotechnologické aplikace

Imobilizace (*immobilisation*)

proces, při kterém jsou anorganické prvky vázány v organické hmotě (v širším smyslu i v jiných složkách): neunikají z prostředí, ale také nejsou přímo dostupné běžné biotě (neuvolňují se do půdního roztoku)

Mineralizace (*mineralisation*)

opak imobilizace, proces uvolňování prvků z komplexních organických sloučenin

Humifikace (*humification*)

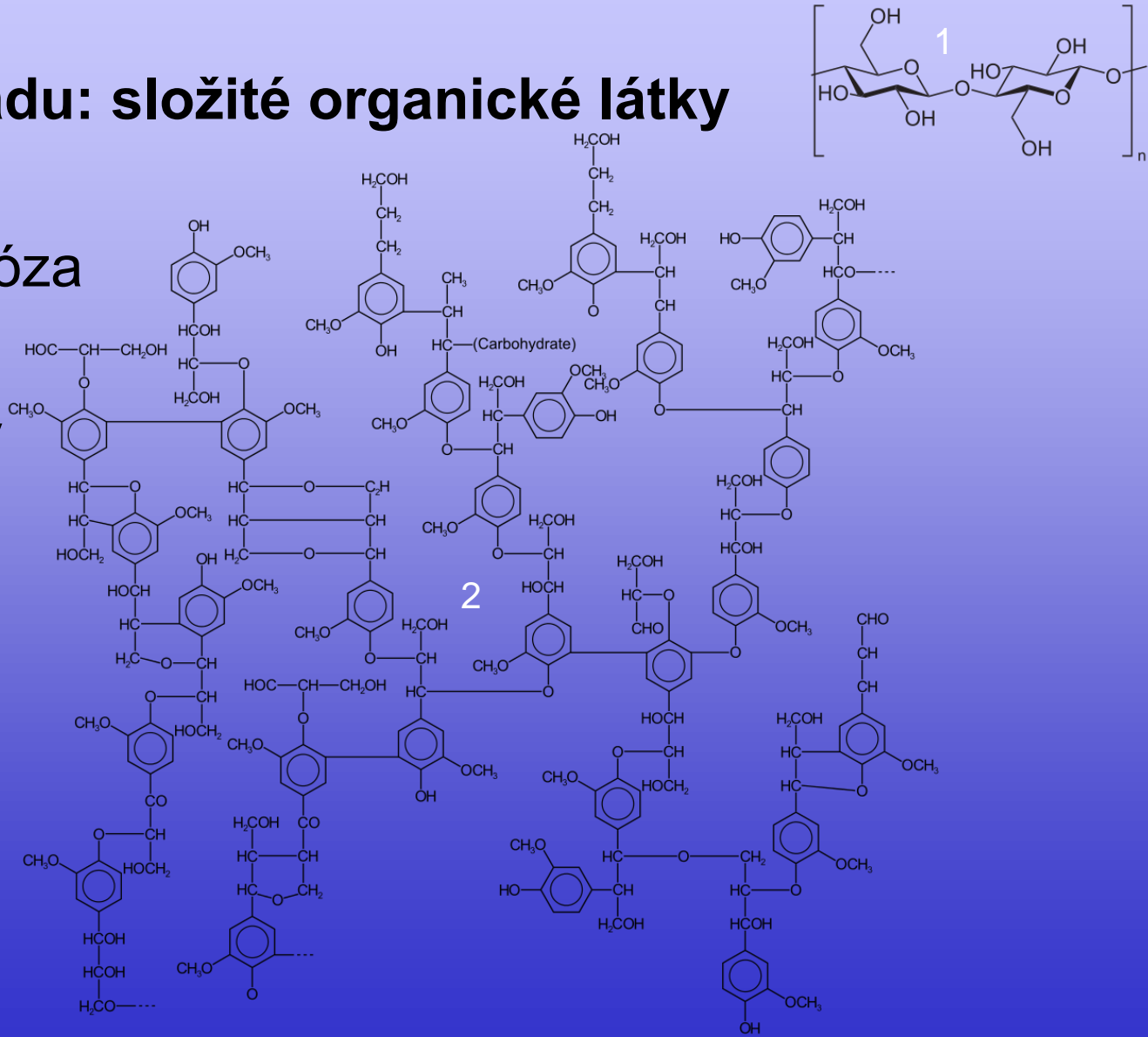
dlouhodobý přirozený proces v půdě, při kterém se v horních vrstvách za přístupu kyslíku činností organismů (edafonu) rozkládá mrtvá organická hmota a mění se na humus

Saprotrofní houby



Složení opadu: složité organické látky

- celulóza¹
- hemicelulóza
- lignin²
- další látky



Dřevokazné houby



1/ Houby měkké hniloby (*SR, soft rot*)

první houby napadající dřevo, především velmi vlhké (růst bazidiomycetů je omezen), rozklad celulózy a hemicelulózy, u ligninu pouze postranní řetězce, z makromycetů jen slizečka porcelánová – *Mucidula mucida*, kostkovitá hniloba.

2/ Houby hnědé hniloby (*BR, brown rot*)

rozklad pouze pektinu, celulózy a hemicelulózy, lignin zanedbatelně; málo druhů (10% z dřevokazných bazidiomycetů, např. dřevomorka – *Serpula*), kostkovitá hniloba.



3/ Houby bílé hniloby (*WR, white rot*)

nejsilnější enzymatická výbava, rozklad ligninu, ale pouze společně s celulózou nebo hemicelulózou, především bazidiomycety (pevník – *Stereum*, outkovka – *Trametes*, hlíva – *Pleurotus*, dřevnatka – *Xylaria* aj.).

Mucidula mucida
měkká hniloba



Kostkový rozpad vrbového kmene, hnědá hniloba.



Troudinatec pásovaný (okrajový) – *Fomitopsis pinicola*
hnědá hniloba





Fig. 2 – Beech wood colonised by the white-rot fungus *Trametes hirsuta* (left) and by an unidentified brown-rot fungus (right).



Outkovka pestrá – *Trametes versicolor*, bílá hniloba

Rozklad organické hmoty

Enzymatický aparát

Produkce různých enzymů, které postupně štěpí složité organické molekuly (např. lignin) na jednodušší složky.

Ale i další mechanismy degradace (celulóza, lignin) bez účasti enzymů.

Dříve výzkum hlavně dřevních hub, nyní i terestrických saprotrofů.

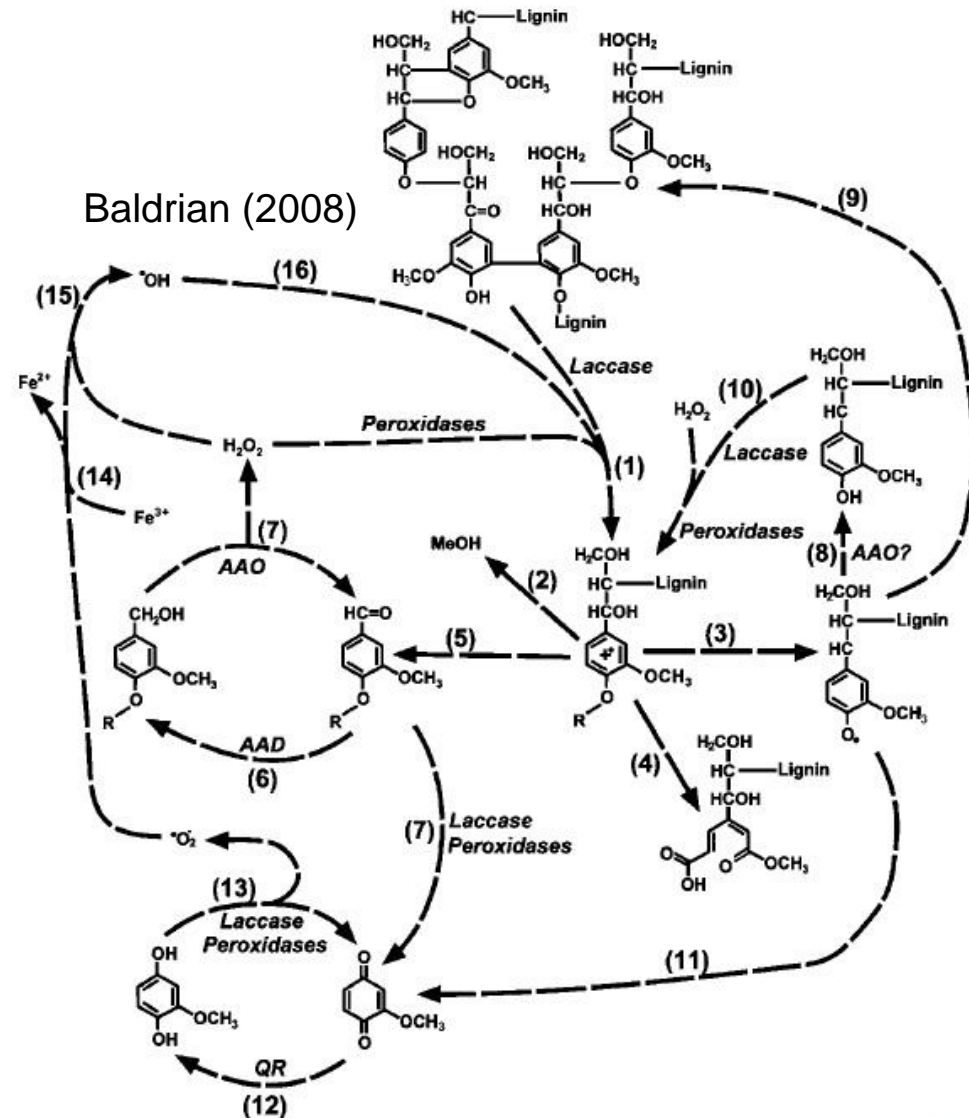


Figure 1 Schematic representation of processes involved in the decomposition of lignin by white-rot basidiomycetes (see text for explanations).

Terestrické saprotrfní houby

Méně prozkoumané než dřevokazné druhy, mají také schopnost rozkládat organické látky (včetně ligninu).

Specializace na rozklad specifických substrátů.



Helmovka šiškomilná – *Mycena plumipes*



Helmovka růžová – *Mycena rosella*



Penízovka kuželová – *Rhodocollybia butyracea* f. *asema*



Pečárka rumištní – *Agaricus subperonatus*



Mechovka Hobsonova – *Clitopilus hobsonii* „na kameni“ (ex situ)



Penízovka splývavá – *Gymnopus confluens*



Strmělka mlženka – *Clitocybe nebularis*



Bedla zelenolupenná – *Chlorophyllum molybdites*

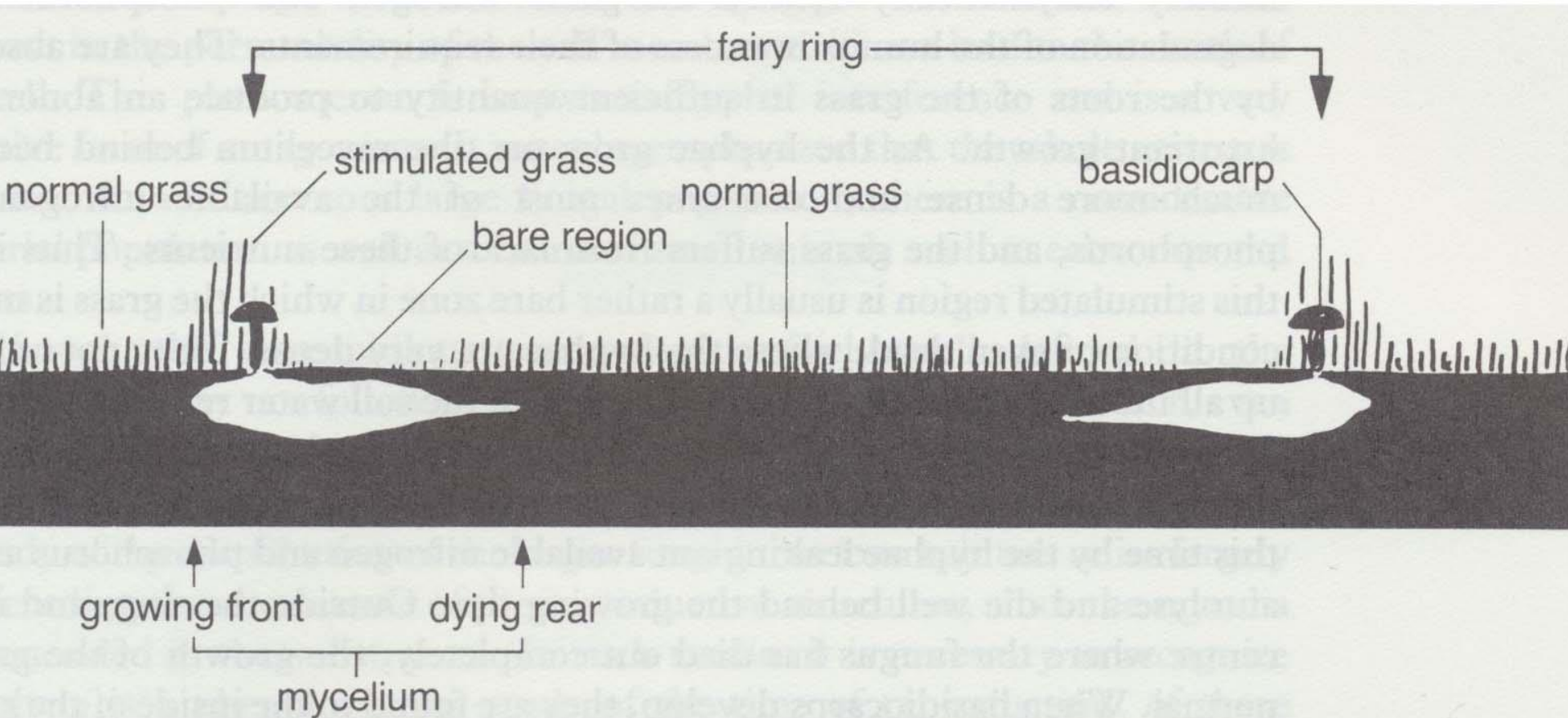


? *Marasmius oreades*





Schéma houbového kruhu v trávě



SFX Look Up Full Text EN Find PDF Export... Add to Marked List

1 of 1

Fungus fairy rings in eastern Colorado and their effect on vegetation

By: Shantz, HL (Shantz, HL); Piemeisel, RL (Piemeisel, RL)

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH

Volume: 11 Pages: 0191-0245

Published: OCT-DEC 1917

Document Type: Article

Publisher

U S DEPT AGRICULTURE, AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE,, 5601 SUNNYSIDE AVE,, BELTSVILLE, MD 20705-5130 USA

Categories / Classification

Research Areas: Agriculture

Web of Science Categories: Agriculture, Multidisciplinary

[See more data fields](#)

Citation Network

In Web of Science Core Collection

112

Times Cited

[Create Citation Alert](#)

All Times Cited Counts

96 in All Databases

[See more counts](#)

59

Cited References

[View Related Records](#)

Most recently cited by:

Ouchi, Hitoshi; Namiki, Takuya; Iwamoto, Kenji; et al.
[S-Adenosylhomocysteine Analogue of a Fairy Chemical, Imidazole-4-carboxamide, as its Metabolite in Rice and Yeast and Synthetic Investigations of Related Compounds.](#)
JOURNAL OF NATURAL PRODUCTS (2021)



26 citací v období 2020-2024!

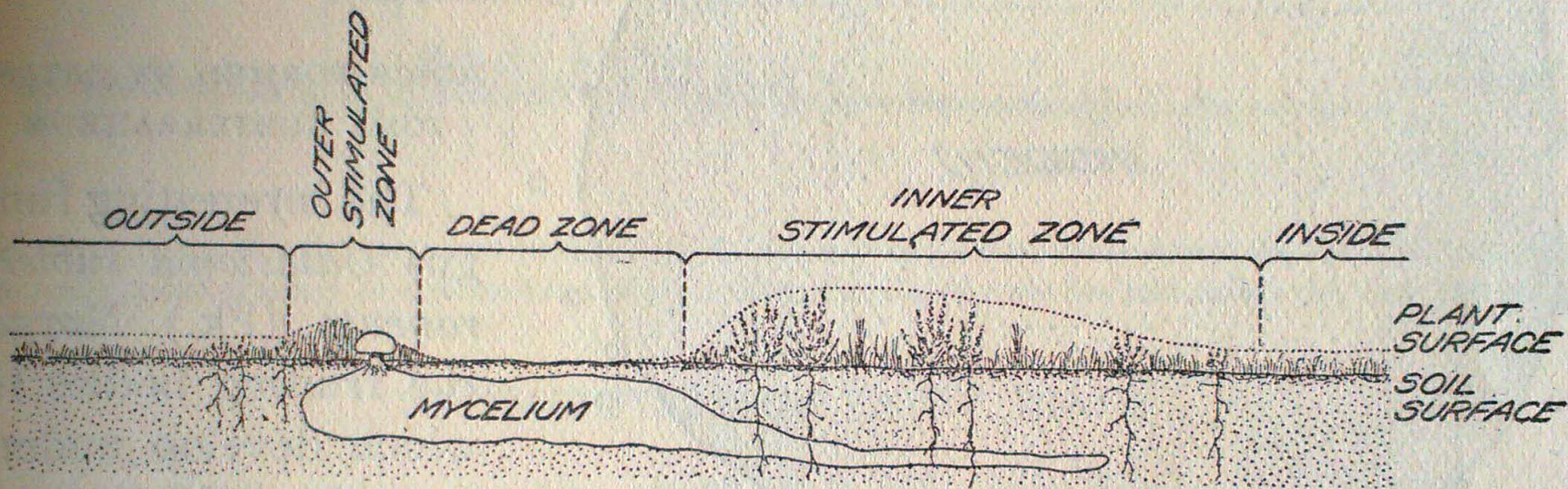


FIG. 4.—A bisect of the *Agaricus tabularis* ring shown in figure 3 at A. The vegetation on the inside and outside does not differ noticeably. The outer stimulated zone in which the fungus fruits are produced is separated from the inner stimulated zone by a bare zone in which plants are only occasionally found. The distribution of the mycelium in the soil is also indicated in the illustration.

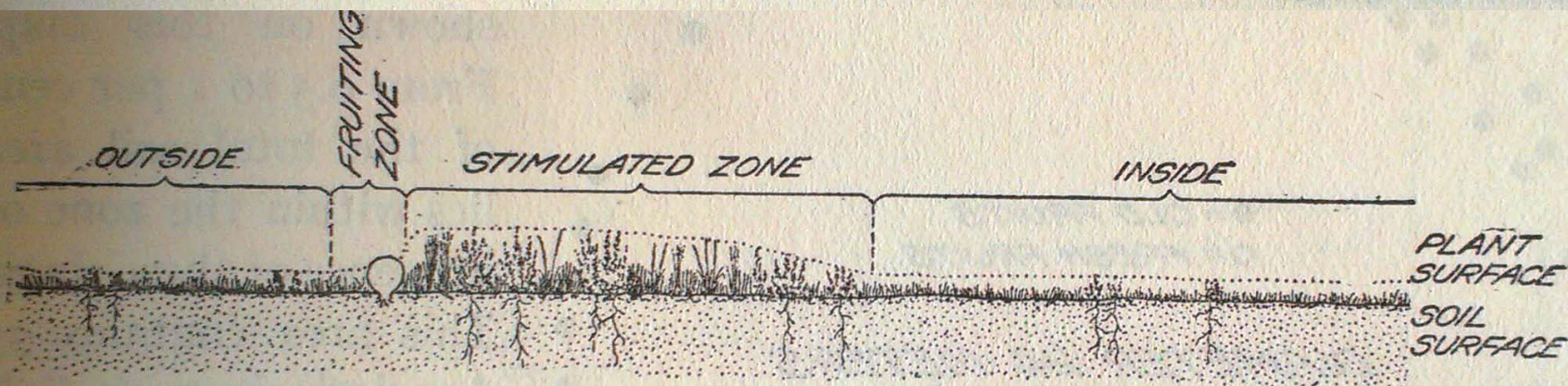
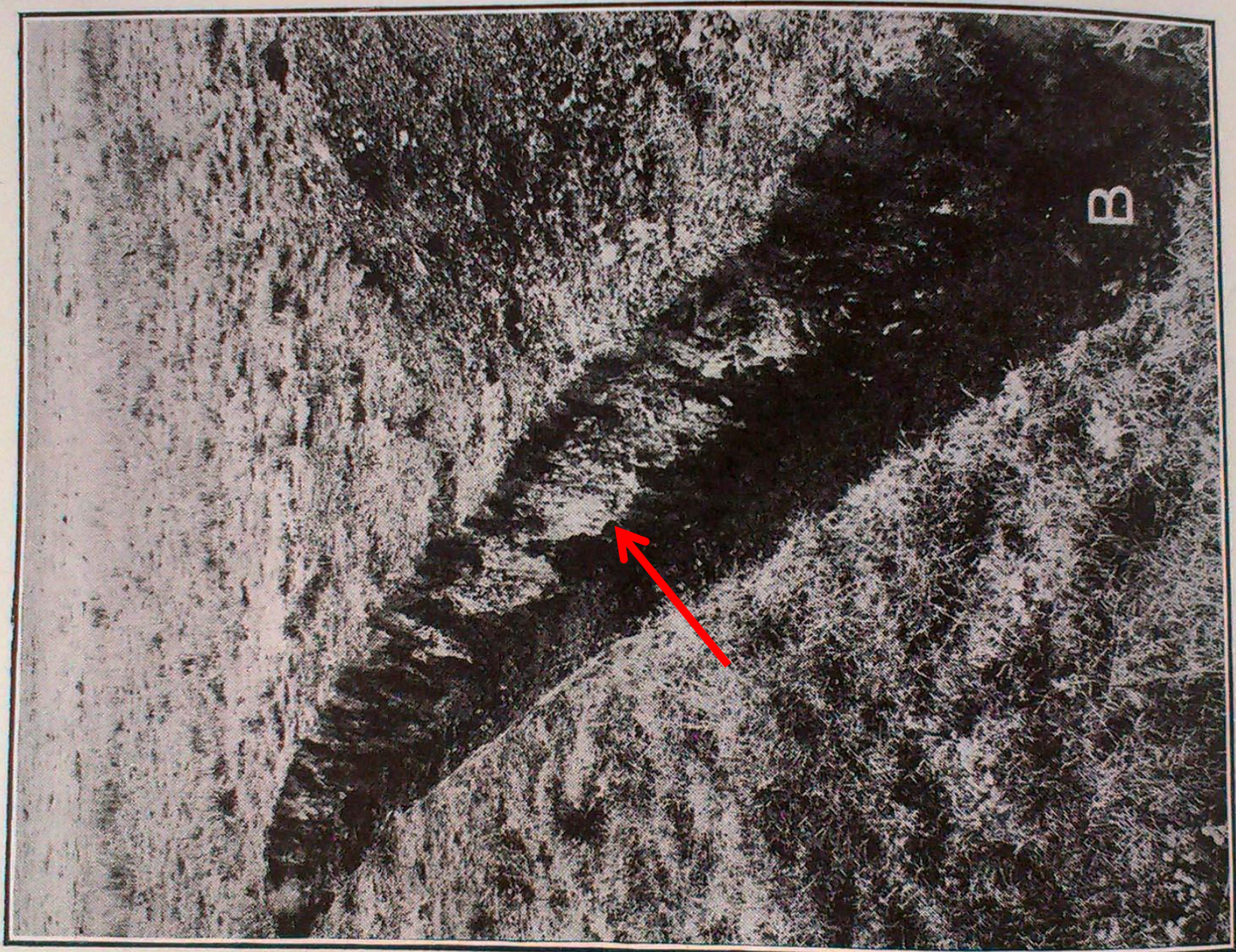


FIG. 6.—A bisect of a ring sketched in figure 5. In the case of *Calvatia cyathiformis* the distribution of the mycelium can scarcely be detected in the soil. The stimulated zone lies just inside the zone of fruiting bodies.









© Seznam.cz, © TopGis

© Seznam.cz, © TopGis

© Seznam.cz, © TopGis

© Seznam.cz, © TopGis

© Seznam.cz, © TopGis

© Seznam.cz, © TopGis

© Seznam.cz, © TopGis

© Seznam.cz, © TopGis

© Seznam.cz, © TopGis

0 6 12 18 m

© Seznam.cz, a.s. 2022 a dříve | 22. 4. 2020

6,5 km

Nástroje



Contents lists available at ScienceDirect

Fungal Ecology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/funeco

Fairy rings harbor distinct soil fungal communities and high fungal diversity in a montane grassland



Teresa Marí ^{a, b, *}, Carles Castaño ^{c, d}, Antonio Rodríguez ^{a, b}, Mercedes Ibáñez ^{a, b}, Agustín Lobo ^e, M.-Teresa Sebastià ^{a, b}

^a Group GAMES and Department of Horticulture, Botany and Landscaping, School of Agrifood, Forestry Science and Engineering, University of Lleida, Av. Rovira Roure, 191, 25198, Lleida, Spain

^b Laboratory of Functional Ecology and Global Change (ECOFUN), Forest Sciences Centre of Catalonia (CTFC), Ctra. de Sant Llorenç de Morunys, Km. 2, 25280, Solsona, Spain

^c Department of Forest Mycology and Plant Pathology, Uppsala BioCenter, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, SE-750 07, Sweden

^d Department of Crop and Forest Sciences, University of Lleida-AGROTECNIO, Av. Rovira Roure, 191, 25198, Lleida, Spain

^e Institute of Earth Sciences "Jaume Almera" (CSIC), Carrer de Lluís Solé i Sabarís, s/n, 08028, Barcelona, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 4 November 2019

Received in revised form

15 May 2020

Accepted 18 May 2020

Available online 7 July 2020

Corresponding Editor: Gareth W. Griffith

Keywords:

Next-generation sequencing

Community ecology

Semi-natural grassland

Internal transcribed spacer

Secondary succession

Saprotrophy

Metabarcoding

Keystone species

ABSTRACT

Increasing numbers of fungal species have been described recently from semi-natural grassland soils, raising the conservation interest of these species-rich habitats. Here, we characterize the soil fungal community inhabiting six fairy rings in a montane grassland of the Eastern Pre-Pyrenees through fungal DNA metabarcoding of ITS2 amplicons. Distinct soil fungal communities were observed outside of the rings compared to inside the ring areas. Higher abundances of fungi belonging to Pleosporales and Eurotiales were observed outside fairy rings, whereas zones belonging to the fairy rings showed higher abundances of Agaricales. Fungal diversity was higher inside the rings than outside. We found diverse saprotrophic or putative saprotrophic taxa associated with the studied rings, including the genera *Clavaria*, *Psathyrella*, *Tricholoma*, *Amanita* and *Lycoperdon*. These findings highlight the importance of particular keystone taxa in the structuring of fungal communities and their effect on the overall grassland fungal community.

© 2020 Elsevier Ltd and British Mycological Society. All rights reserved.

Alelopatické interakce hub

Alelopatika – chemické látky zprostředkující změnu (nejčastěji potlačení) růstu jednoho organismu druhým.

Hydnosféra – prostor v půdě, ve kterém je vlivem látek produkovaných houbou podstatně změněno společenstvo půdních organismů.

Houby produkují např. těkavé aldehydy, alkoholy („houbový alkohol“ 1-okten-3-ol), kyanovodík a také netěkavé toxické látky (deriváty kumarinu), látky s ATB a ATM účinky.

Špička obecná – *Marasmius oreades*:
Produkce HCN, polyacetylenů a sesquiterpenových metabolitů schopných ničit kořeny trav.



Table 1

Selected microorganisms known to form cyanide (n.d., not determined, because cyanide has not been determined quantitatively, although formation is known)

Group	Organism	Maximum cyanide concentration (μM)	Reference
Bacteria	<i>Chromobacterium violaceum</i>	1900	(13)
	<i>Chromobacterium violaceum</i>	297	(14), this work
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	220	(15)
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	250	(16)
	<i>Pseudomonas pyocyaneus</i>	4	(17)
	<i>Rhizobium leguminosarum</i>	n.d.	(18)
Fungi	● <i>Agaricus</i> sp.	n.d.	(19)
	● <i>Amantia</i> sp.	n.d.	(19)
	● <i>Boletus</i> sp.	n.d.	(19)
	● <i>Boletus satanas</i>	102	(14), this work
	● <i>Clitocybe geotropa</i>	n.d.	(20)
	● <i>Collybia maculata</i>	n.d.	(21)
	● <i>Lepiota</i> sp.	n.d.	(19)
	● <i>Marasmius oreades</i>	n.d.	(22)
	<i>Neurospora crassa</i>	19	(23)
	● <i>Pholiota aurea</i>	n.d.	(20)
● <i>Pleurotus</i> sp.	n.d.	(19)	
● <i>Pleurotus ostreatus</i>	429	(14), this work	
Cyanobacteria	<i>Anacystis nidulans</i>	17	(24)
	<i>Plectonema boyanum</i>	0.1	(24)
Algae	<i>Chlorella vulgaris</i>	155	(23)

● SAP

● ECM

Spáleniny (brûlé) způsobené lanýžem černovýtrusým –
Tuber melanosporum (ECM houba)



Kruhy ektomykorhizních hub



Amanita muscaria

(www.breziny.cz)

Kruhy ektomykorhizních hub



Amanita muscaria

Kruhy ektomykorhizních hub



Amanita muscaria
(Facebook)

Severní Amerika

Kruhy ektomykorhizních hub



Amanita muscaria

Kruhy ektomykorhizních hub

Dále jsou uváděny u slzivek (*Hebeloma sinapizans* aj.): kruhy nebo pásy v lesích a parcích, někdy bez zjevné vazby na jednoho konkrétního symbionta (houštiny ECM dřevin). Také čirůvky – *Tricholoma*.



Typický růst slizivky ředkvičkové – *Hebeloma sinapizans*



(Ekto-)mykorhizní symbióza

Mykorhiza: symbiotické soužití hub s kořeny vyšších rostlin.

Může docházet buď k pronikání houbových vláken (hyf) do kořenových buněk primární kůry (**endomycorhiza**), v druhém případě zůstávají hyfy jen v mezibuněčném prostoru (**ektomycorhiza**). Velké houby = **ektomycorhizní** typ.

Společným znakem mykorhizních symbióz je to, že houbové mycelium nezasahuje nikdy do středního válce kořenu rostliny.

Ektomycorhizu tvoří tisíce druhů hub.

Ektomykorhizní symbióza

Rostlina poskytuje houbě:

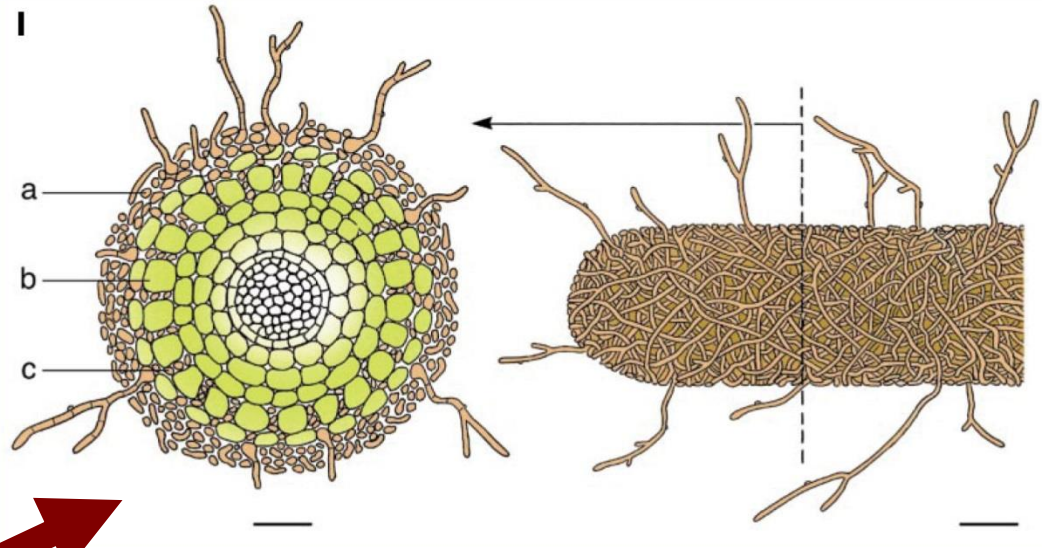
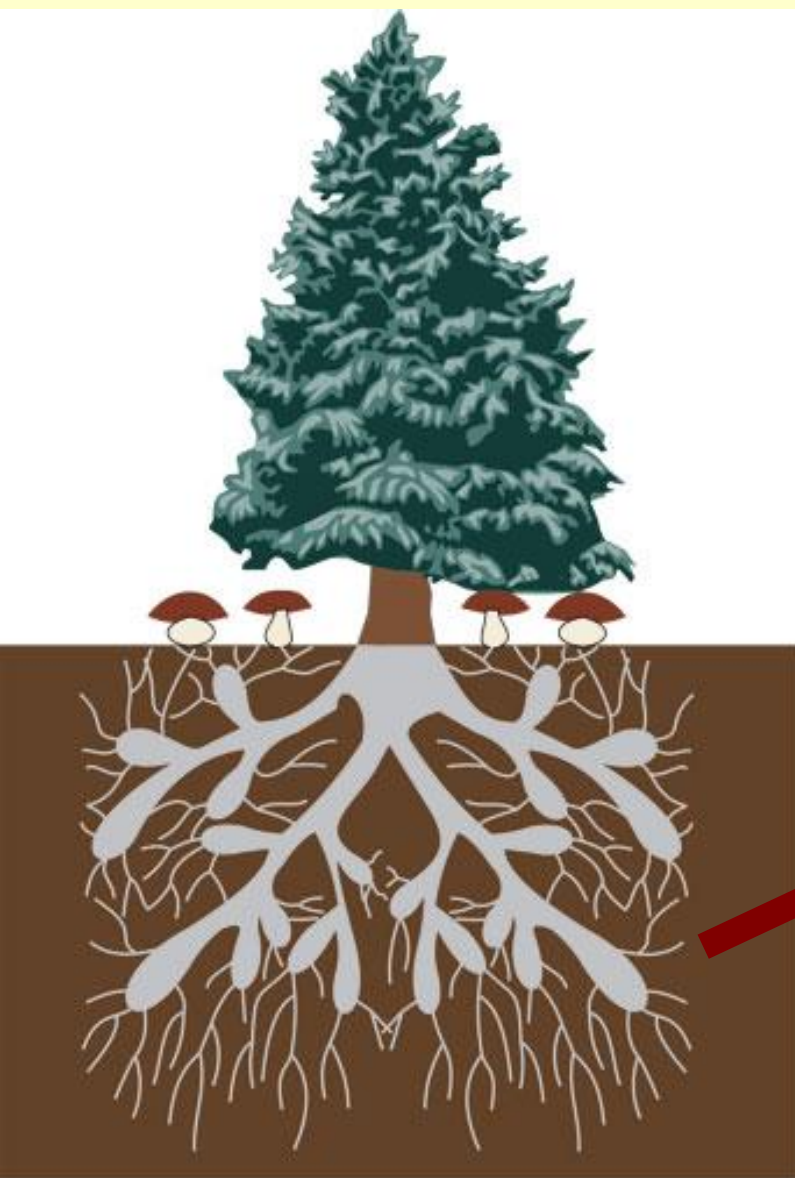
- sacharidy: udává se, že rostliny investují až 10% fotosyntetických produktů do svého mykobionta
- glukóza je enzymaticky houbou přeměněna na trehalozu, manitol a glykogen
- pro houby jsou to transportní a zásobní látky, látky nezbytné ke klíčení spór

Houba poskytuje rostlině:

- prvky (P, N, Ca, K, Mg)
- vodu
- ochranu proti patogenům a toxicitě prostředí (těžké kovy)

Box 2. The structure of ectomycorrhizas

Ectomycorrhizas typically consist of an intimate association between a living root tip and a basidiomycete or ascomycete fungus^a (Fig. 1). The fungus forms (a) a mantle of fungal material around the root tip and penetrates the intercellular space between (b) cortical root cells, forming (c) a 'Hartig net'.



Transfer of materials between fungus and plant takes place in the Hartig net. External hyphae grow outwards from the fungal mantle into the soil and the fungal mycelium might differentiate into rhizomorphs, which are hyphal aggregates that can transport water and nutrients over several dm to the root. The ectomycorrhizal fungus produces hormones that suppress root-hair growth and might induce typical dichotomous branching of the mycorrhizal root tip. Single mycorrhizal root tips can transform into clusters of root tips colonized by a single fungal species. Scale bars = 50 μm and 100 μm , respectively.

Reference

a Smith, S.E. and Read, D.J. (1997) *Mycorrhizal Symbiosis* (2nd edn), Academic Press

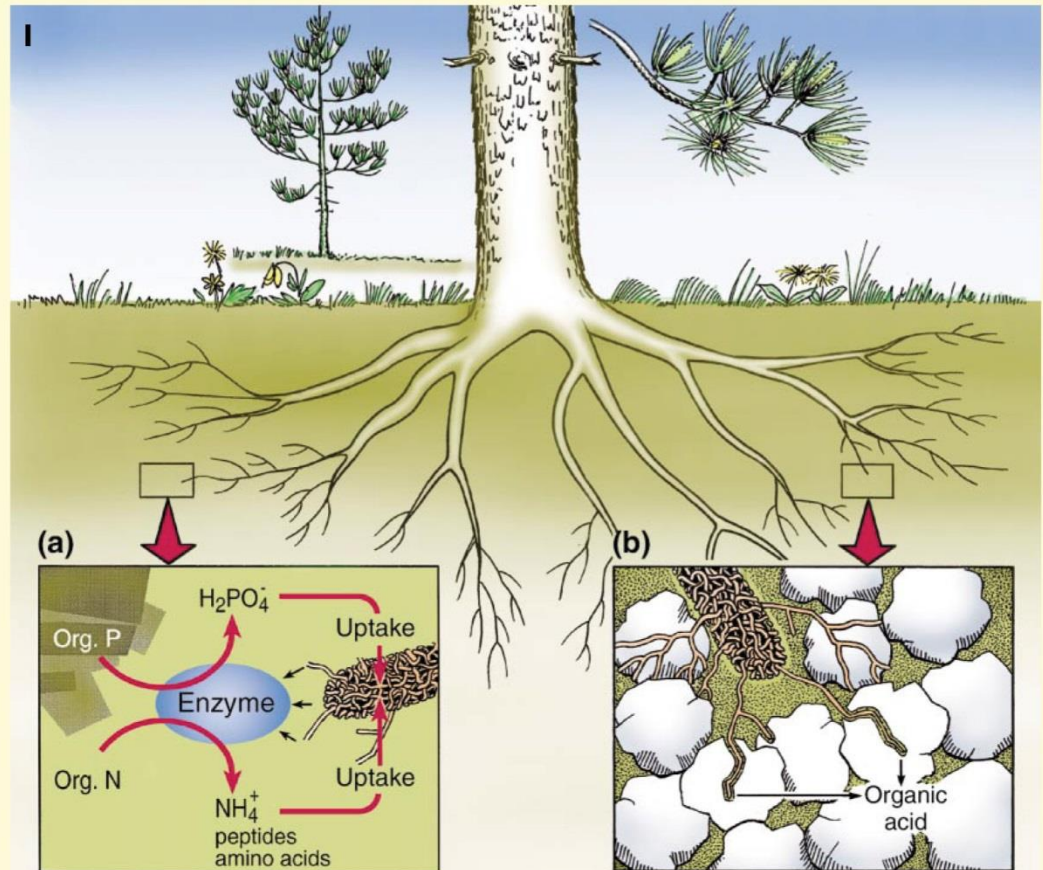
As well as the quantitative effects on plant nutrient uptake (increase in uptake surface and exploited soil volume), the ectomycorrhizal fungus influences the uptake of plant nutrients in two qualitative ways:

(Fig. 1a) Via enzyme production, the ectomycorrhizal fungus can utilize organic nitrogen (N) and phosphorous (P) forms, which would otherwise remain largely unavailable to roots. Nutrient mobilization from amino acids, peptides, proteins, amino sugars, chitin and nucleic acids has been shown^a, together with transfer of N and P into the host plant^{a,b}. Direct hyphal absorption of amino acids and simple peptides can also occur^a.

(Fig. 1b) The ectomycorrhizal fungus can mobilize P, potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) from solid mineral substrates through organic acid excretion^{c,d,e}. In addition, tunnels in weatherable minerals enable ectomycorrhizal hyphae to reach the interior of the minerals and access P from apatite inclusions. Essential nutrients become available to the host plant via the ectomycorrhizal mycelium^c. Analogous to their organic nutrient mobilizing capabilities, the abilities of different ectomycorrhizal fungi to mobilize inorganic nutrients might be species specific^f.

References

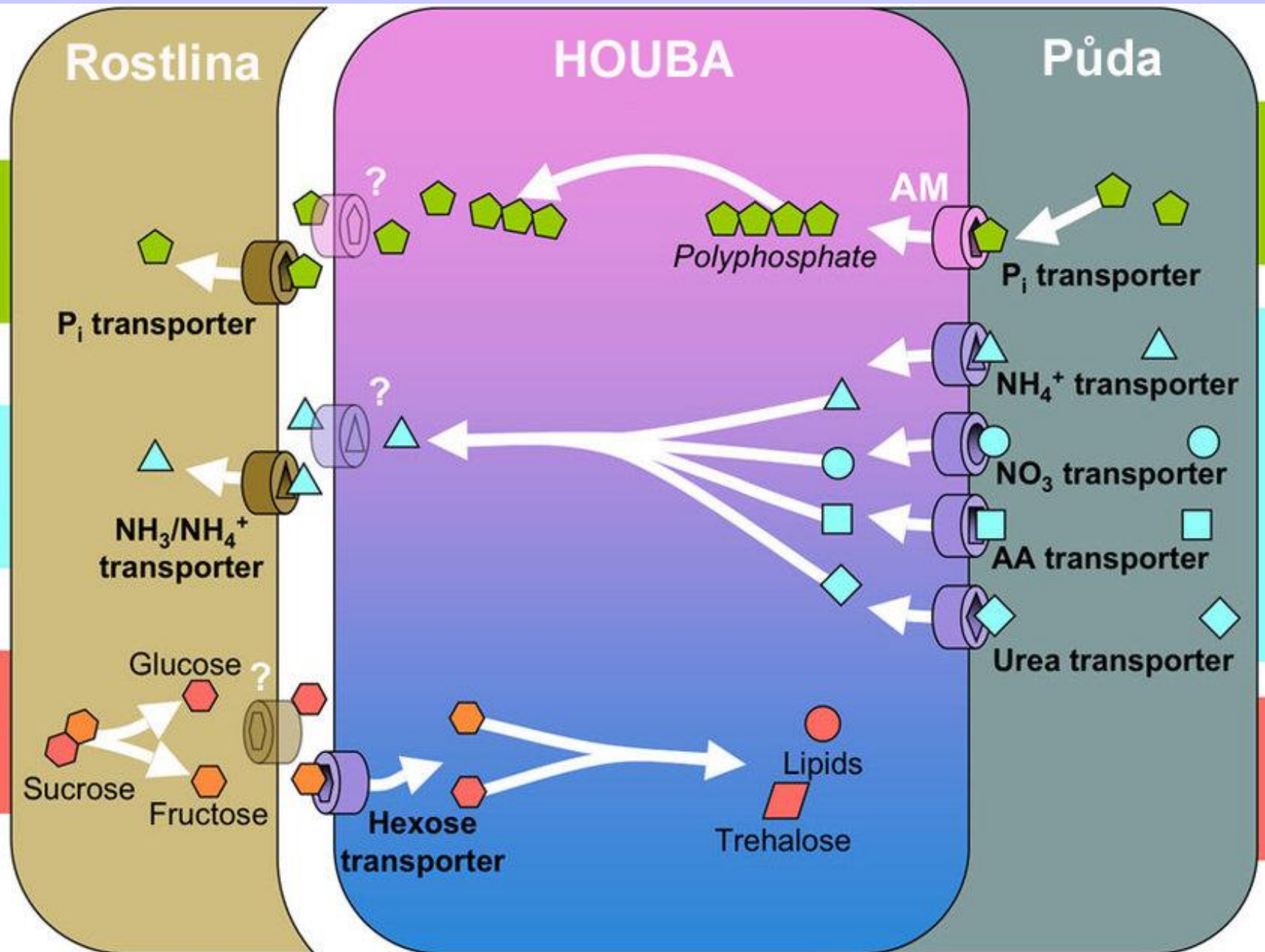
- a Chalot, M. and Brun, A. (1998) Physiology of organic nitrogen acquisition by ectomycorrhizal fungi and ectomycorrhizas. *FEMS Microbiol. Rev.* 22, 21–44



- b Antibus, R.K. *et al.* (1997) Root surface phosphatase activities and uptake of ^{32}P -labelled inositol phosphate in field-collected gray birch and red maple roots. *Mycorrhiza* 7, 39–46
- c Wallander, H. (2000) Uptake of P from apatite by *Pinus sylvestris* seedlings colonized by different ectomycorrhizal fungi. *Plant Soil* 218, 249–256
- d Wallander, H. and Wickman, T. (1999) Biotite and microcline as potassium sources in

- ectomycorrhizal and non-mycorrhizal *Pinus sylvestris* seedlings. *Mycorrhiza* 9, 25–32
- e Wallander, H. (2000) Use of strontium isotopes and foliar K content to estimate weathering of biotite induced by pine seedlings colonised by ectomycorrhizal fungi from two different soils. *Plant Soil* 222, 215–229
- f Lapeyrie, F. *et al.* (1991) Phosphate-solubilizing activity of ectomycorrhizal fungi *in vitro*. *Can. J. Bot.* 69, 342–346

EKTOMYKORHIZNÍ SYSTÉM



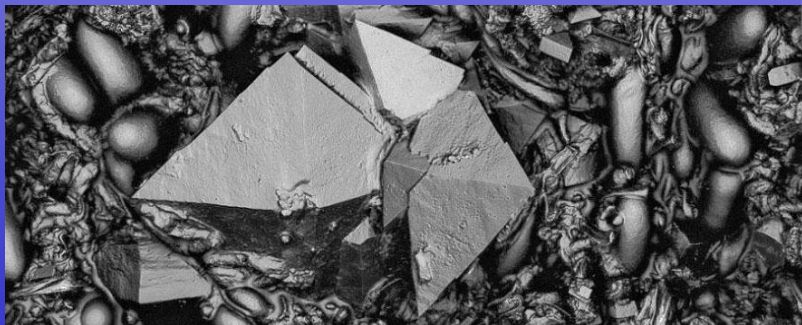
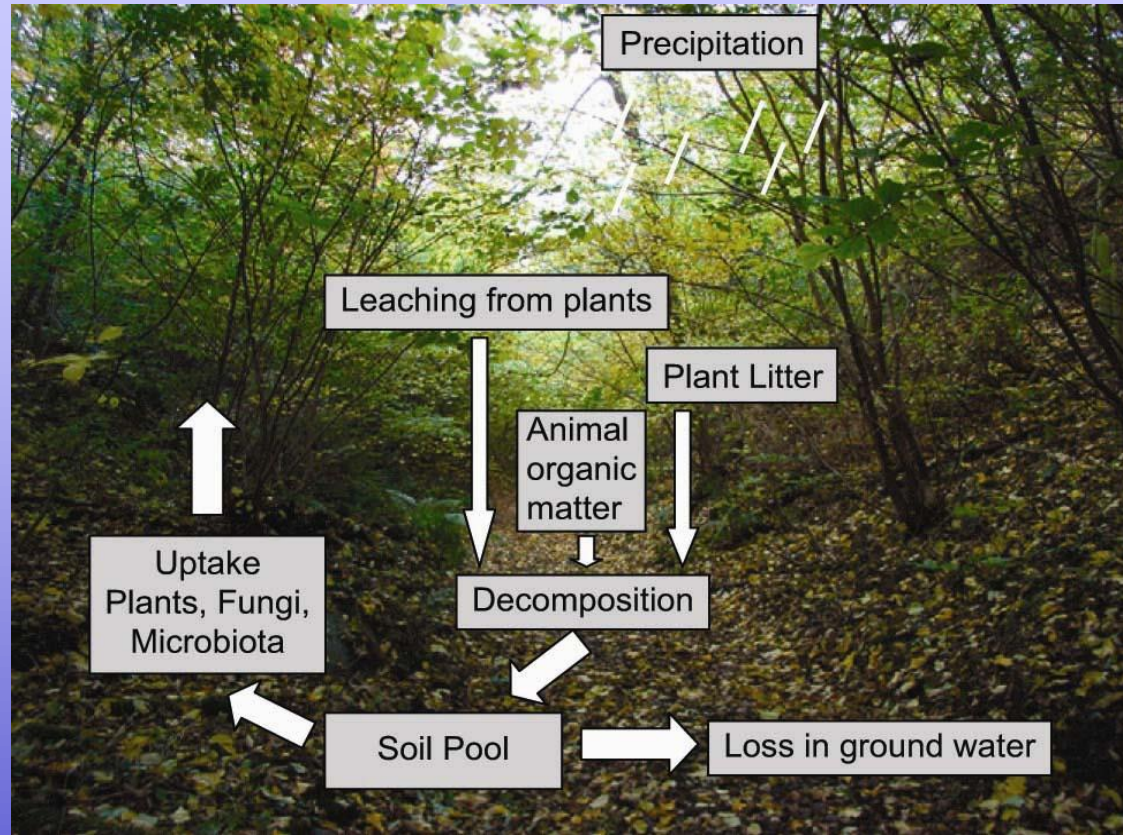
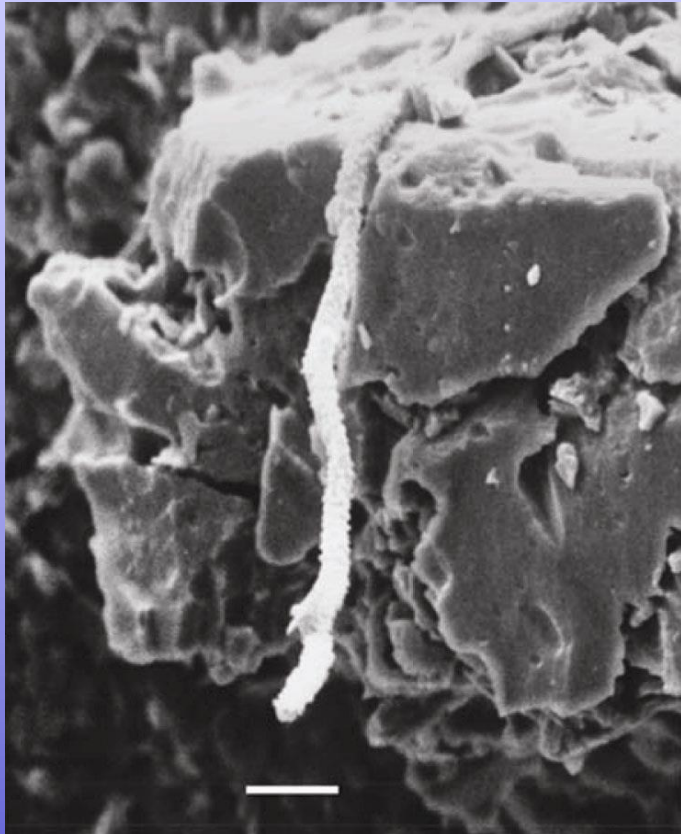


Russula ochroleuca + *Picea*



Asi *Xerocomellus* sp.: + *Picea*

Biogeochemická činnost hub



Biogeochemická činnost hub

A) Biomechanické působení – hyfy dokáží vyvinout velký tlak



Muchomůrka růžovka – *Amanita rubescens*

**Facebook
(USA,
hnojník)**



Hřib dubový – *Boletus reticulatus*





Suchohřib – *Xerocomellus* sp. (?)
sociální síť Facebook

Biogeochemická činnost hub

B) Biochemické působení

- chemické působení na půdu a horniny, rozpouštění jejích součástí, mobilizace chemických prvků
- nutriční výměna v rámci mykorhizní symbiózy
- vznik tzv. „mykogenních minerálů“
- redistribuce a retence prvků v půdách (akumulace v myceliu a v plodnicích)

Organic anion exudation by ectomycorrhizal fungi and *Pinus sylvestris* in response to nutrient deficiencies

Laura van Schöll¹, Ellis Hoffland¹ and Nico van Breemen²

¹Department of Soil Quality, Wageningen University, PO Box 8005, 6700 EC Wageningen, the Netherlands; ²Laboratory of Soil Science and Geology, Wageningen University, PO Box 37, 6700 AA Wageningen, the Netherlands

Summary

Author for correspondence:

Ellis Hoffland

Tel: +31 317 482339

Fax: +31 317 483766

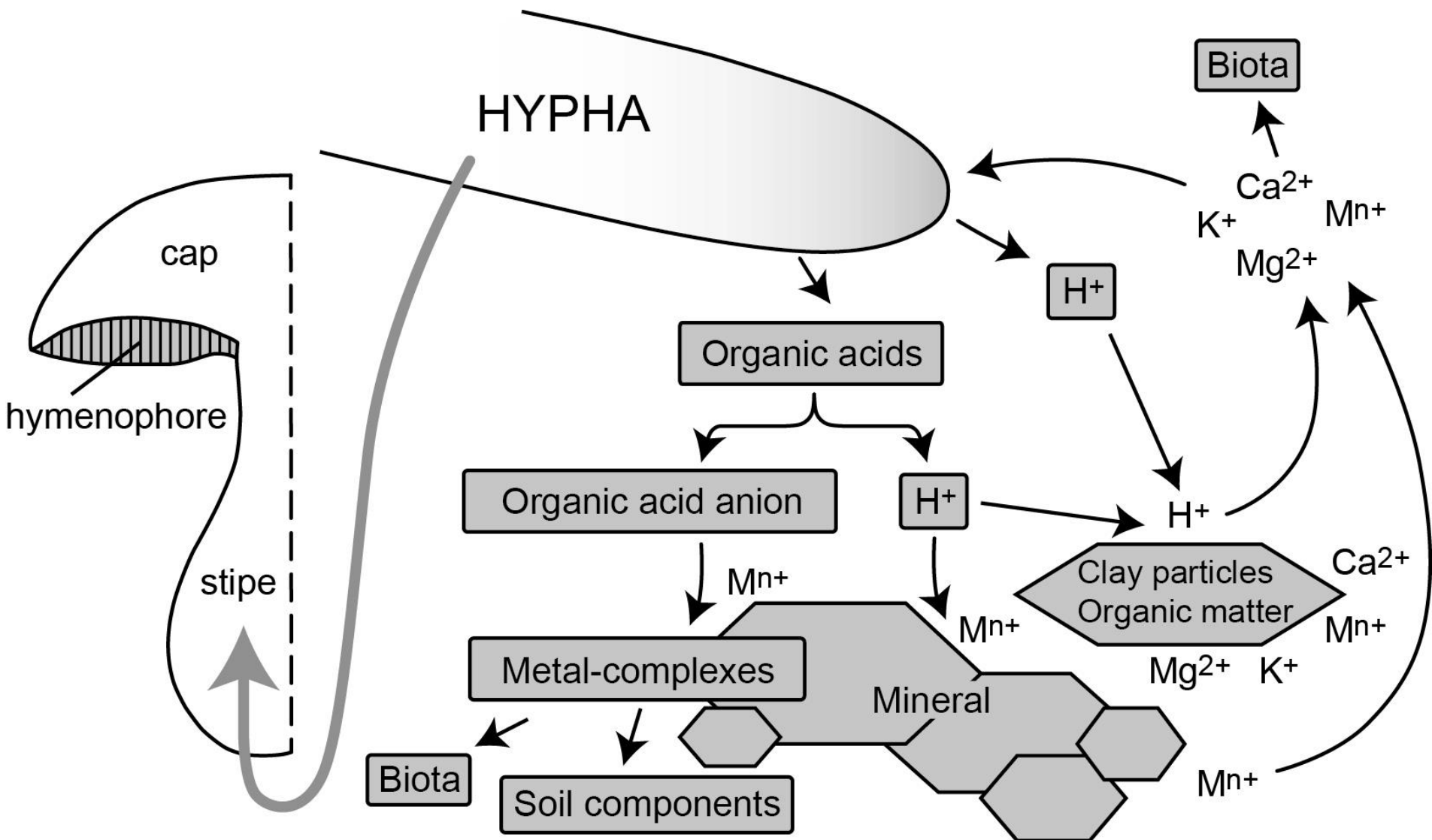
Email: Ellis.Hoffland@WUR.nl

Received: 29 September 2005

Accepted: 25 November 2005

- Low molecular weight organic anions (LMWOA) can enhance weathering of mineral grains. We tested the hypothesis that ectomycorrhizal (EcM) fungi and tree seedlings increase their exudation of LMWOA when supply of magnesium, potassium and phosphorus is low to enhance the mobilization of Mg, K and P from mineral grains.
- Ectomycorrhizal fungi and *Pinus sylvestris* seedlings were cultured in symbiosis and in isolation on glass beads with nutrient solution or with sand as a rooting medium, with a complete nutrient supply or with Mg, K, P or N in low supply. Concentrations of all dicarboxylic LMWOA in the rooting medium were measured.
- Nonmycorrhizal seedlings released predominantly malonate. Colonization with *Hebeloma longicaudum* decreased the amount of organic anions exuded, whereas *Paxillus involutus* and *Piloderma croceum* increased the concentration of oxalate but not the total amount of LMWOA. Phosphorus deficiency increased the concentration of LMWOA by nonmycorrhizal and EcM seedlings. Magnesium deficiency increased the concentration of oxalate by nonmycorrhizal and EcM seedlings, but not the concentration of total LMWOA. *Paxillus involutus* grown in pure culture responded differently to low nutrient supply compared with symbiotic growth.
- Ectomycorrhizal fungi did not increase the total concentration of LMWOA compared with nonmycorrhizal seedlings but, depending on the fungal species, they affected the type of LMWOA found.

Key words: oxalate, malonate, ectomycorrhizal (EcM) fungi, magnesium (Mg), potassium (K), phosphorus (P), *Pinus sylvestris* (Scots pine).

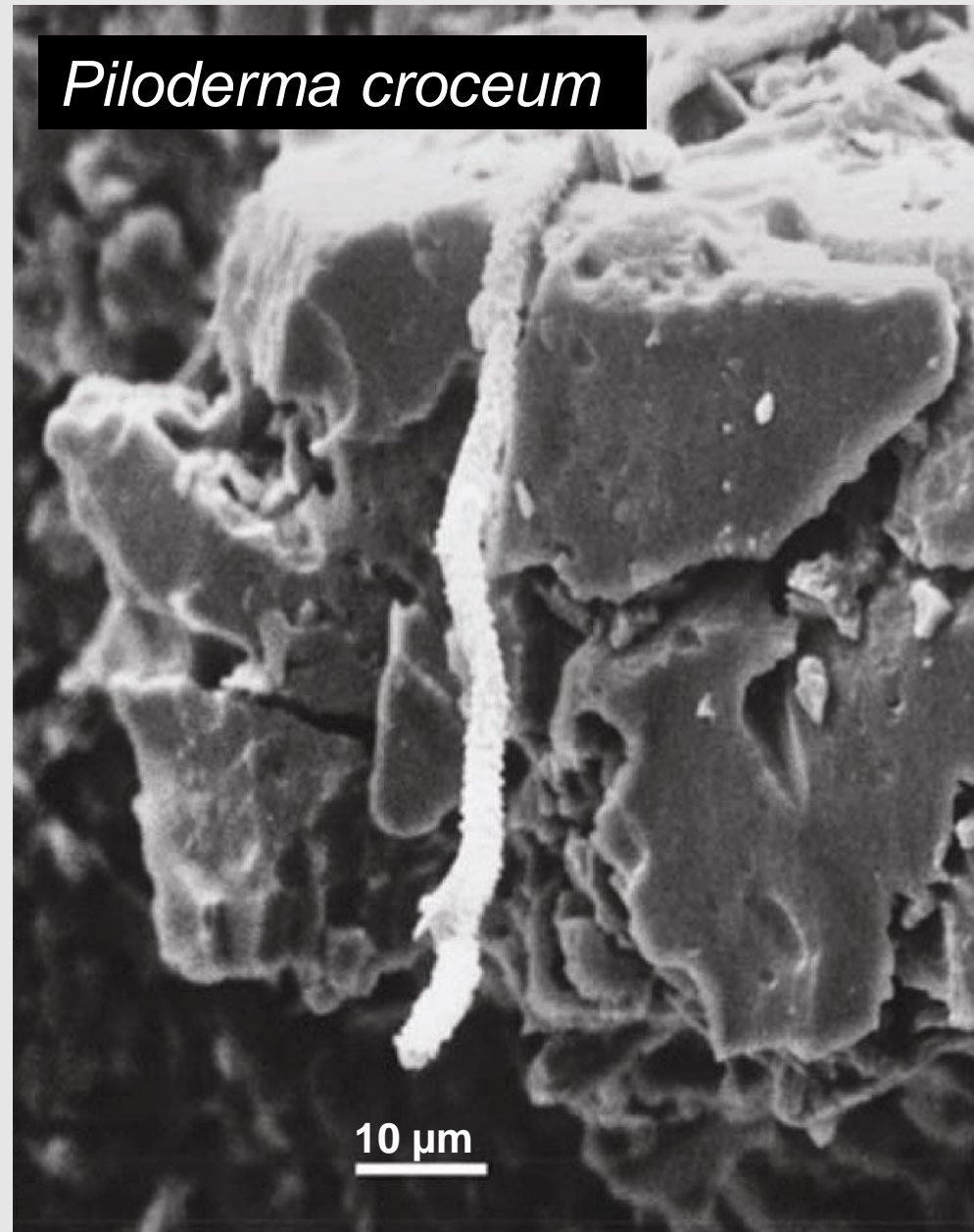
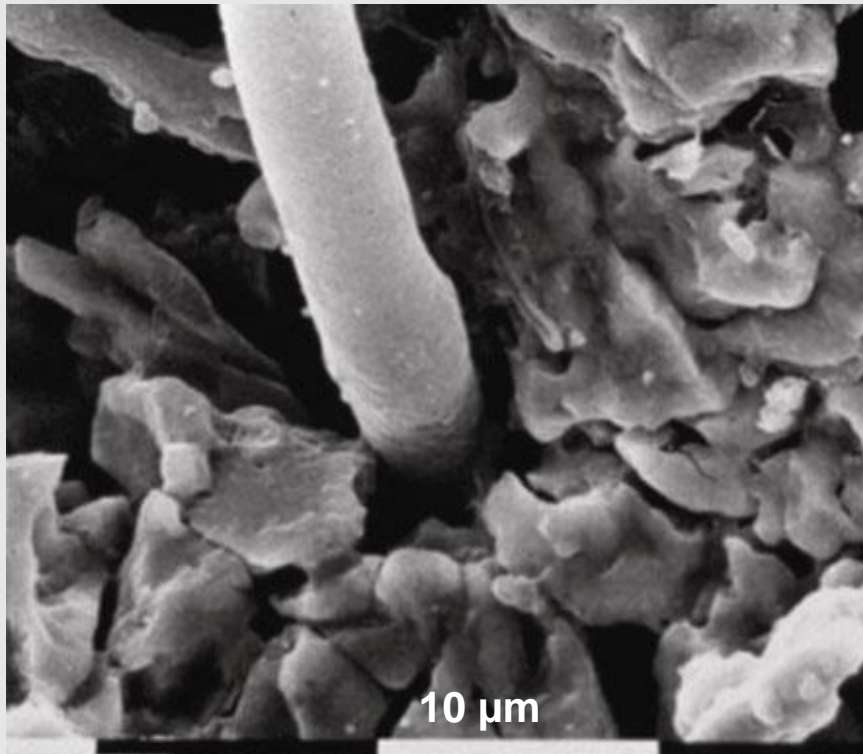


...a dále produkce dalších látek, především **enzymů**.



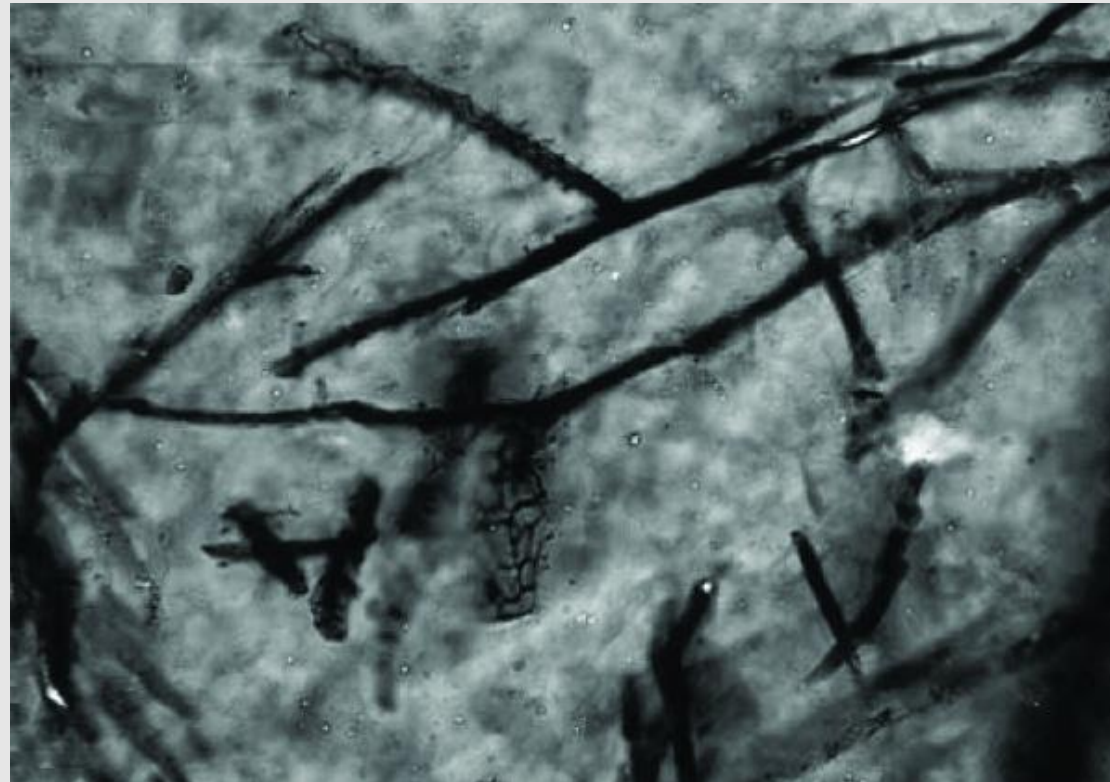
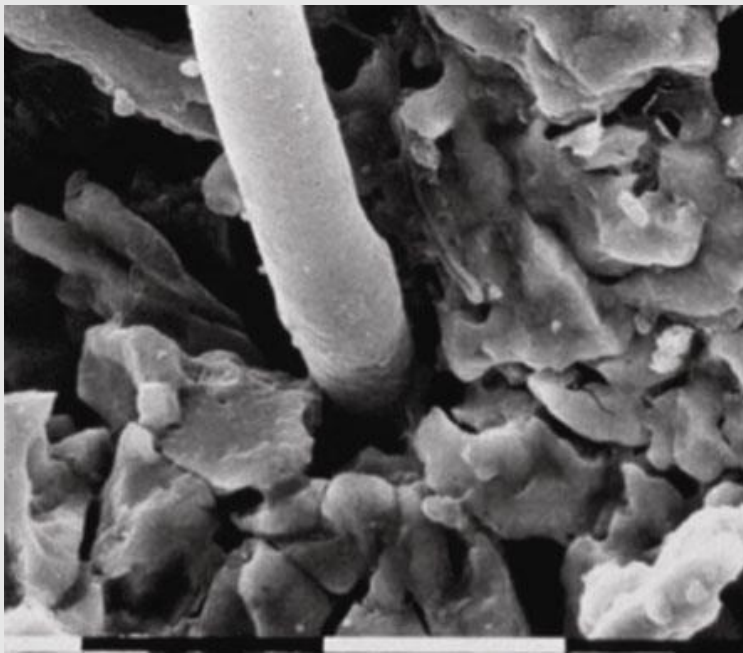
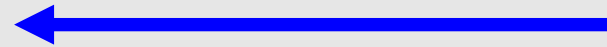
Houby kamenožrouti...

„tunelování“



Kamenožrouti...

„TUNELOVÁNÍ“



Řez krystalem K-
živce (ortoklasu)



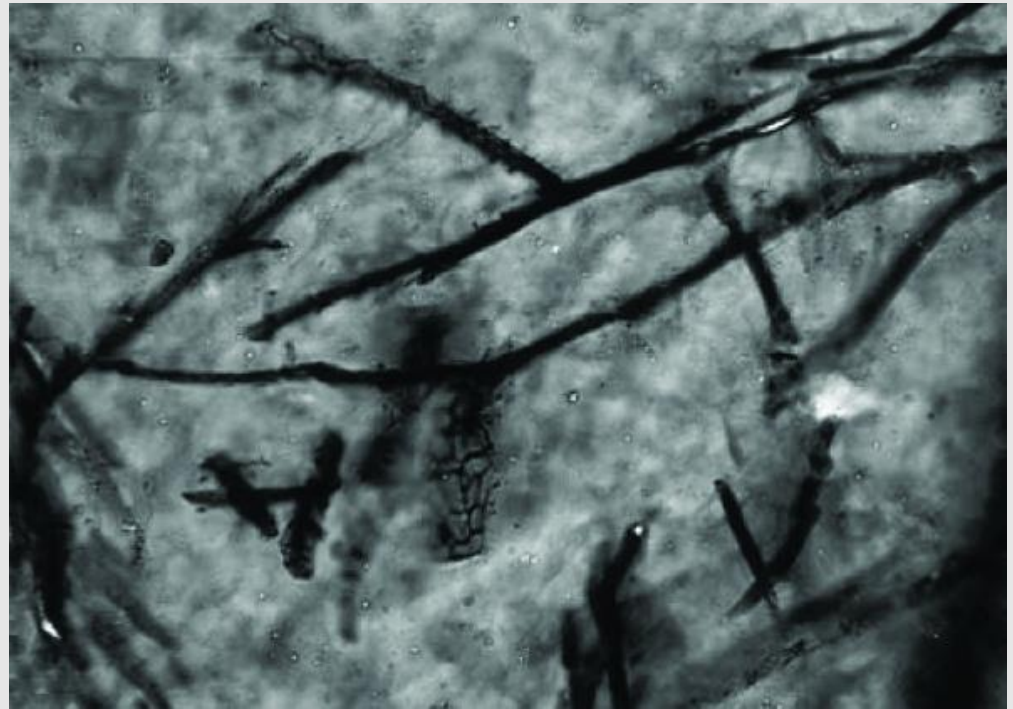
TUNELY v minerálních zrnech (K-živec)

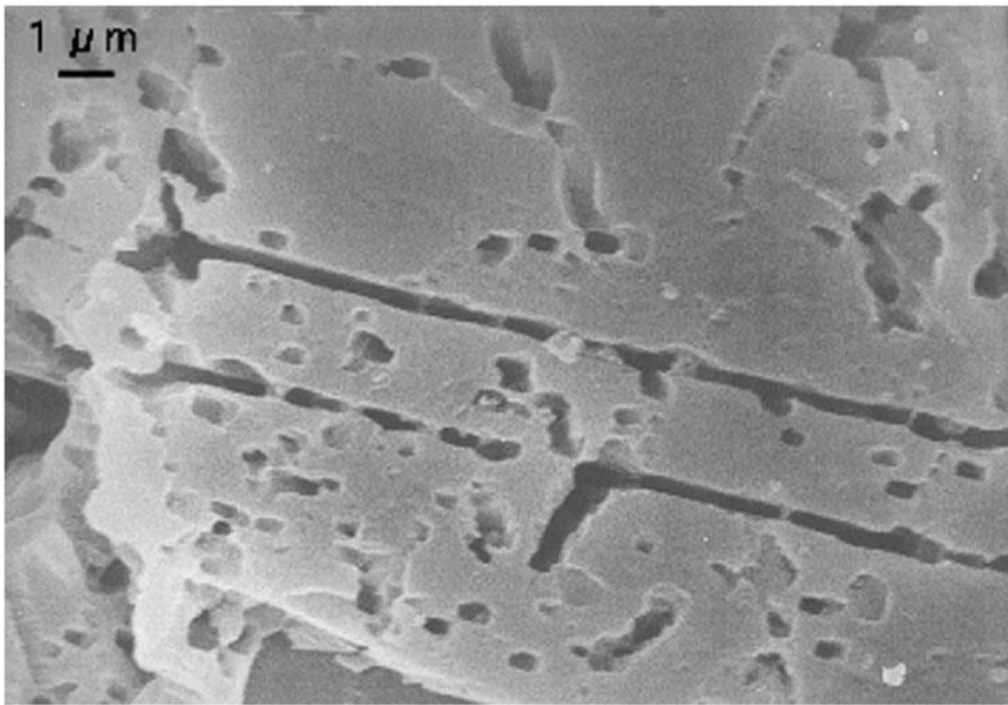


„Weatherable minerals under many European coniferous forests contain a network of numerous tubular pores, formed by organic acids exuded by fungi.“

“We believe that symbiotic mycorrhizal hyphae translocate dissolved minerals from the isolated micropores directly to their host plants, bypassing competition for nutrient uptake by other organisms.” Speed of tunnelling of Ca-rich plagioclase estimated: 0.3-30 $\mu\text{m}/\text{year}$. „Tunnels“ 3-10 μm long are common in feldspars and some other minerals in podsollic soils (E horizon) in forests growing over granites.

(Jongmans et al. 1997, Nature 389: 682-683).





Opinion Article

Chemical weathering of soil minerals and the role of biological processes

Harald SVERDRUP*

Department of Chemical Engineering, Lund University, Box 124, 221 00 Lund, Sweden

Fig. 4 - I have seen claims in the literature that such holes as seen here were drilled by fungi. Although the original articles by van Breemen *et al.* (2000) and others claimed that these tunnels were of significance to weathering they have subsequently been shown to account for only a small fraction of weathering by Smits *et al.* (2005) and their aetiology is therefore of less significance. Most recent articles on biological weathering acknowledge this. Originally the above authors claimed these tunnels were formed by fungal hyphae - possibly in conjunction with bacteria. There is solid evidence that such holes are of totally abiotic origin. I have many such pictures in my own archive. Some come from Antarctica and locations in the high Arctic where there has been no roots, bacteria nor fungi for the last 10 million years. The holes developed as a result of chemical surface reactions taking place preferentially along crystal deficiencies and are very common (Eggleston *et al.*, 1989; Hochella and Banfield, 1995).

Table 2 – Overview of basic conditions present for reactions between minerals and organic acids. In summary, the organic acids are abundant where there is little to weather, and there is little organic acids where there is most weatherable material

Depth	Organic acids as DOC	Mineralogy
0–10 cm	Lot of organic matter present, in solution 20–50 mg/l	No minerals, only organic matter
10–20 cm	Modest amounts: 5–20 mg/l	Only hard-to weather minerals, like quartz, feldspars, illite
20–50 cm	Small amounts DOC: 1–5 mg/l	Slightly easy-weathered mineral depleted
50–100 cm	Small to no organic acids present 0.1–1.0 mg/l	Main soil mineralogy composition

Preferenční kolonizace minerálních zrn myceliem velkých hub

Smits et al. (2008)

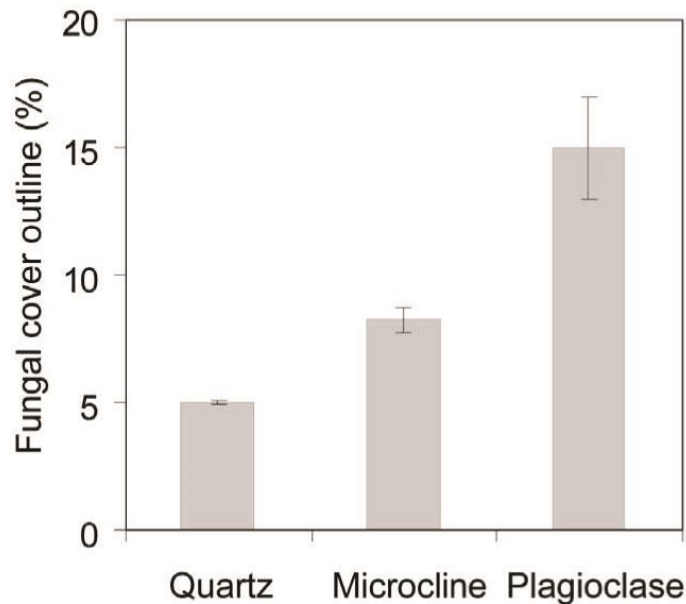


FIG. 1. Fungal cover of different mineral species in the upper 2 cm of the mineral soil in a North Michigan dune (data from Smits *et al.*, *in preparation*). Standard error of means are shown, $n = 30$.

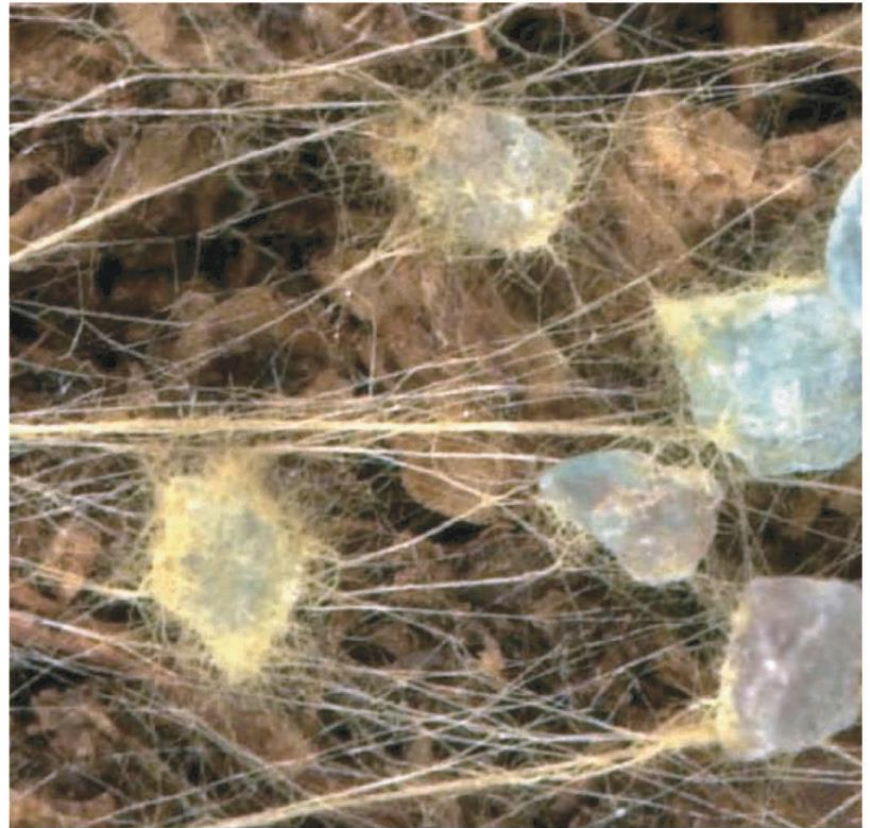


FIG. 2. Apatite grains (1 mm diameter) in a peat microcosm with Scots pine and the EcM fungus *Paxillus involutus*.

Akcesorický minerál apatit [$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$] je zdrojem fosforu

Preferenční kolonizace minerálních zrn houbami

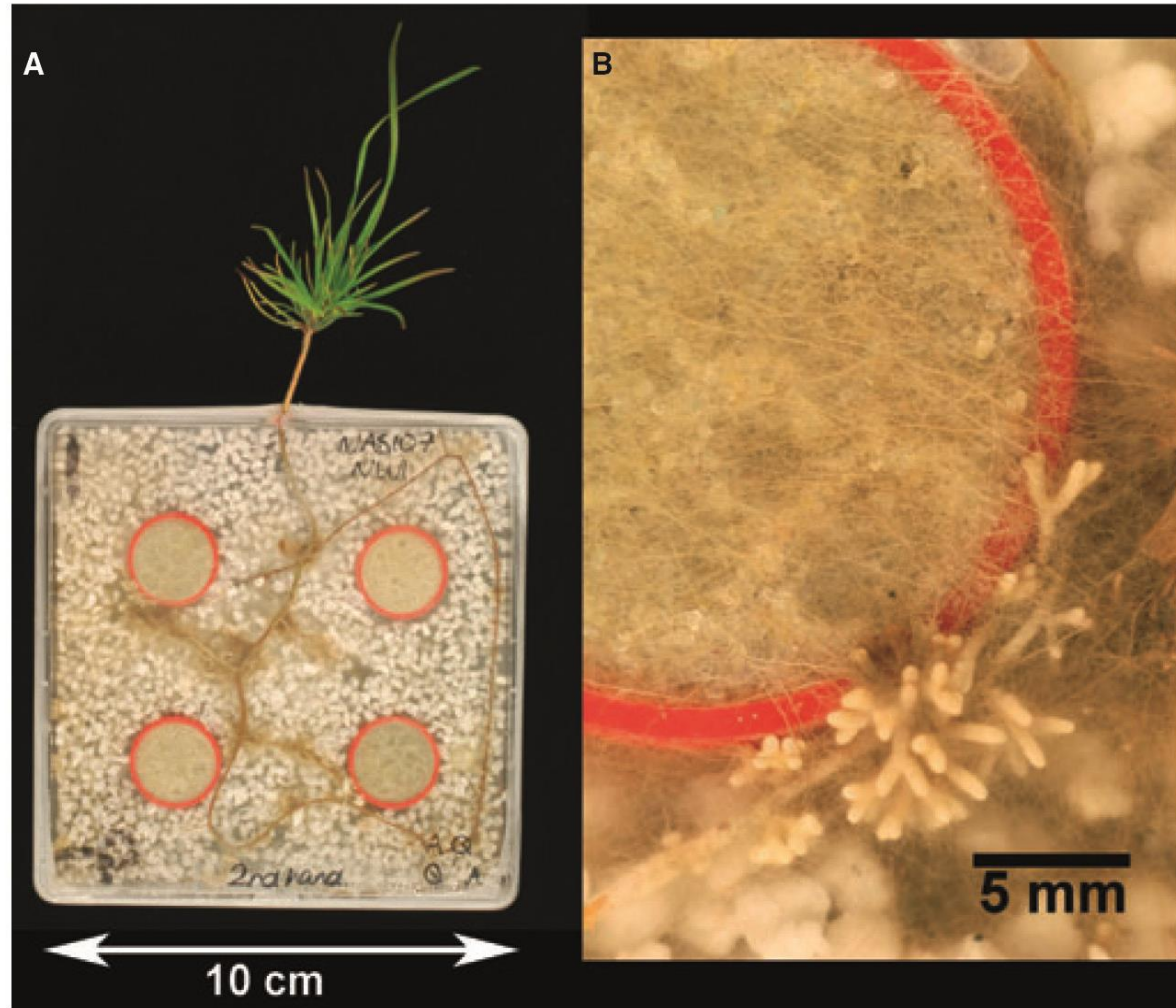


Fig. 1 (A) Sterile microcosm containing *Pinus sylvestris* ectomycorrhizal with *Paxillus involutus*, with plastic wells containing 10% (w/w) apatite in quartz sand (top left and bottom right) and two wells with quartz sand only (top right, bottom left). (B) Detail of an apatite containing well, colonized by *Paxillus involutus*.

Preferenční kolonizace minerálních zrn houbami

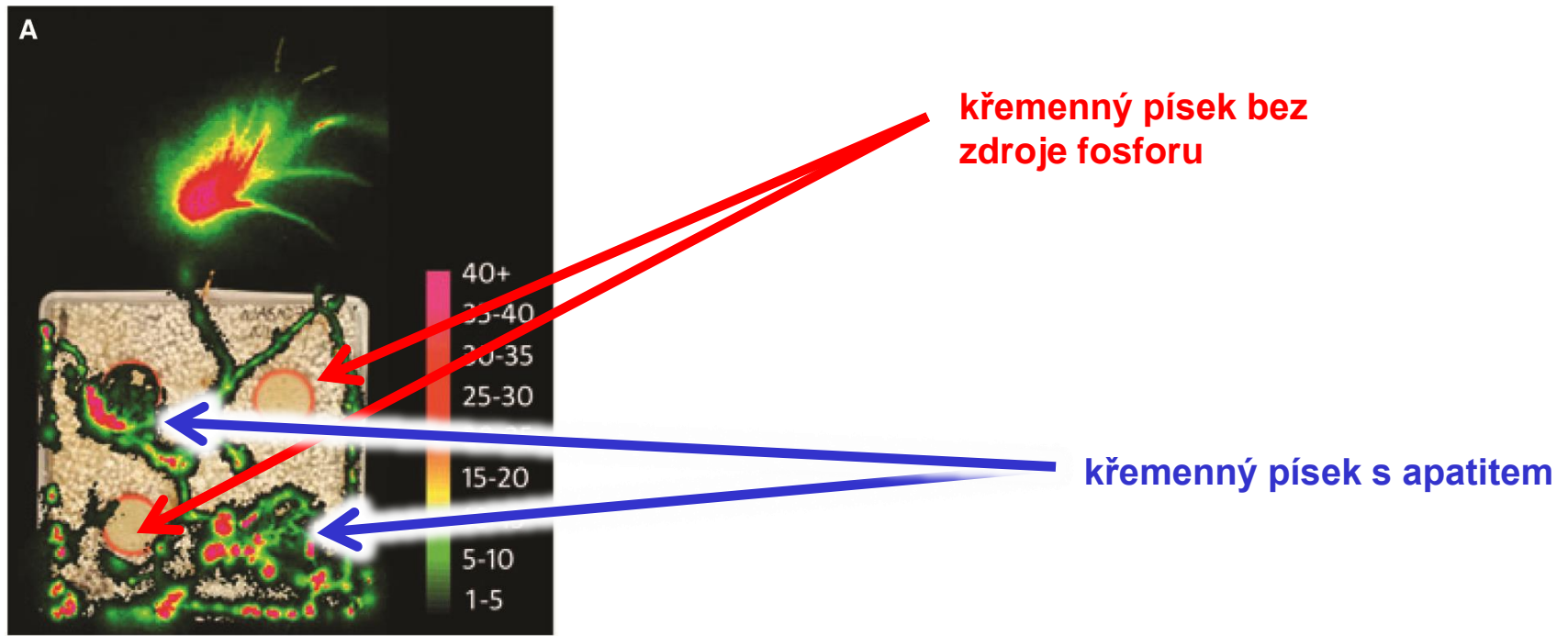


Fig. 5 Results of the *C-allocation experiment*: (A) digital autoradiograph showing ^{14}C distribution 24 h after commencing labelling of shoots on a false colour scale of counts per 0.25 mm^2 pixel after imaging for 15 min



The mycorrhizal fungus *Paxillus involutus* transports magnesium to Norway spruce seedlings. Evidence from stable isotope labeling

Georg Jentschke^{1,5,*}, Bettina Brandes¹, Arnd J. Kuhn², Walter H. Schröder², J. Sabine Becker³ and Douglas L. Godbold⁴

¹Forest Ecosystem Research Centre, Institute of Forest Botany, University of Göttingen, Büsgenweg 2, D-37077 Göttingen, Germany; ²Institute of Biological Information Processing, Research Centre Jülich, D-52425 Jülich, Germany; ³Central Department for Analytical Chemistry, Research Centre Jülich, D-52425 Jülich, Germany; ⁴School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales Bangor, Bangor, Gwynedd LL57 2UW, UK and ⁵Forest Research Institute of Lower Saxony, Grätzelstr. 2, 37079 Göttingen, Germany

Received 24 August 1999. Accepted in revised form 15 January 2000

Key words: ectomycorrhiza, hyphal transport, magnesium nutrition, *Paxillus involutus*, *Picea abies*

Abstract

Although it is well established that ectomycorrhizas improve the mineral nutrition of forest trees, there has been little evidence that they mediate uptake of divalent cations such as Mg. We grew nonmycorrhizal seedlings and seedlings mycorrhizal with *Paxillus involutus* Batsch in a sand culture system with two compartments separated by a 45- μ m Nylon mesh. Hyphae, but not roots, can penetrate this net. Labeling the compartment only accessible to hyphae with ²⁵Mg showed that hyphae of the ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus* transported Mg to their host plant. No label was found in nonmycorrhizal control plants. Our data support the idea that ectomycorrhizas are important for the Mg nutrition of forest trees.

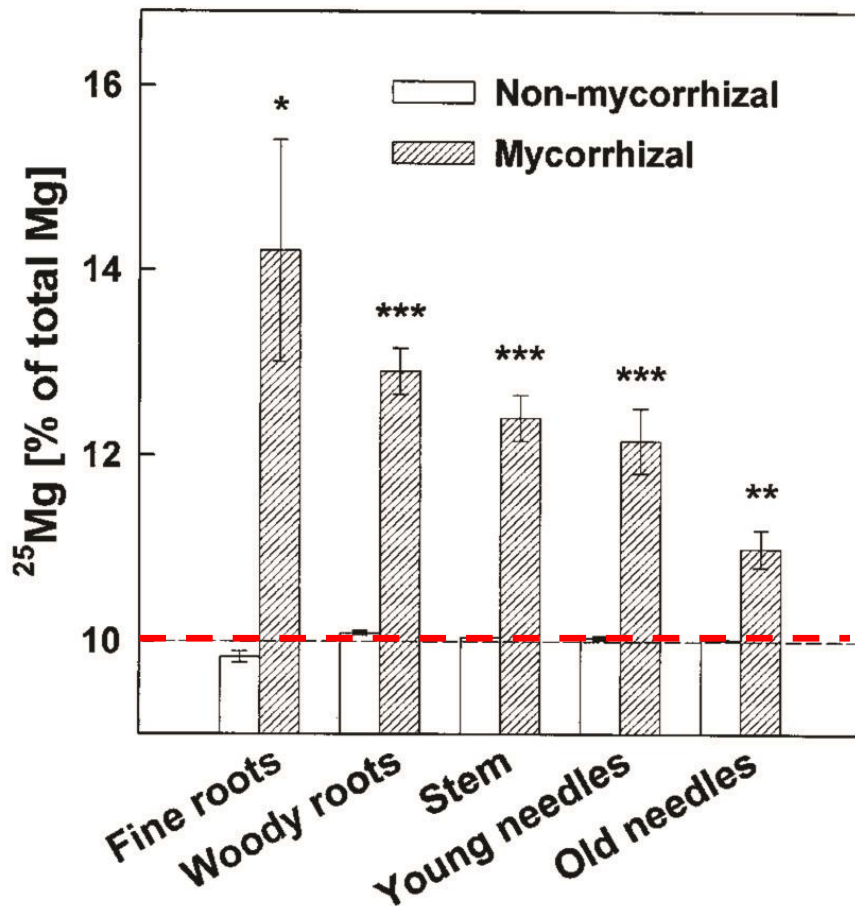


Figure 1. Concentration of the ^{25}Mg label (expressed as percentage ^{25}Mg of total Mg) in tissues of non-mycorrhizal and mycorrhizal Norway spruce seedlings after labeling the hyphal compartment in the culture system with ^{25}Mg for 6 weeks. Broken line indicates natural abundance of ^{25}Mg (10.0%). Values are means of four replicate pots. Small bars indicate standard error. Significance levels for differences between mycorrhizal and non-mycorrhizal seedlings: *, $P \leq 0.01$; **, $P \leq 0.001$; ***, $P \leq 0.0001$.

Isotope			Decay	
	abundance	half-life ($t_{1/2}$)	mode	product
^{24}Mg	79.0%	stable		
^{25}Mg	10.0%	stable	-----	-----
^{26}Mg	11.0%	stable		

Zvětrávání dolomitu pod modřínem – role ECM hub?

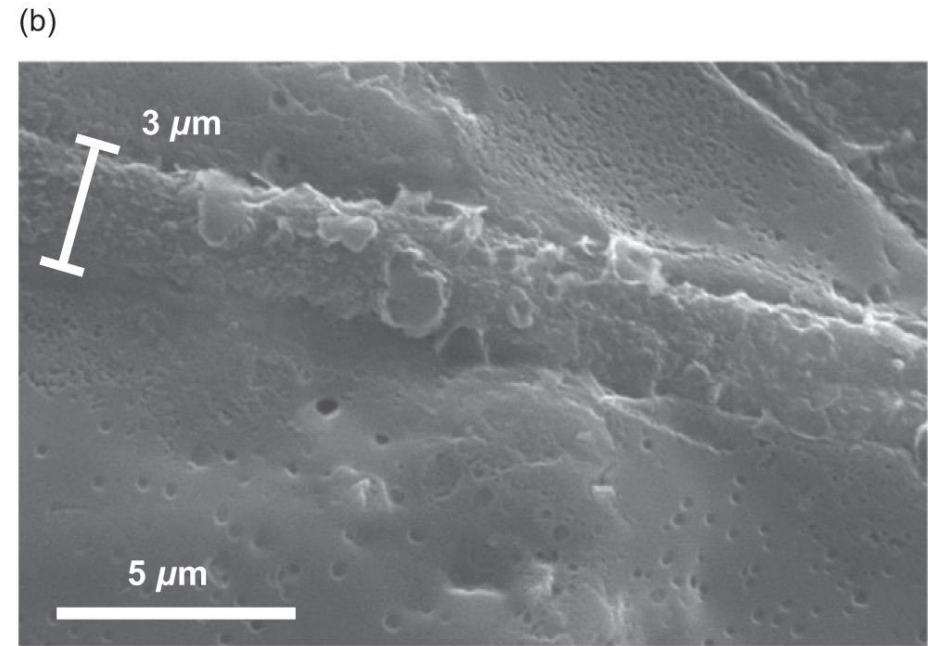
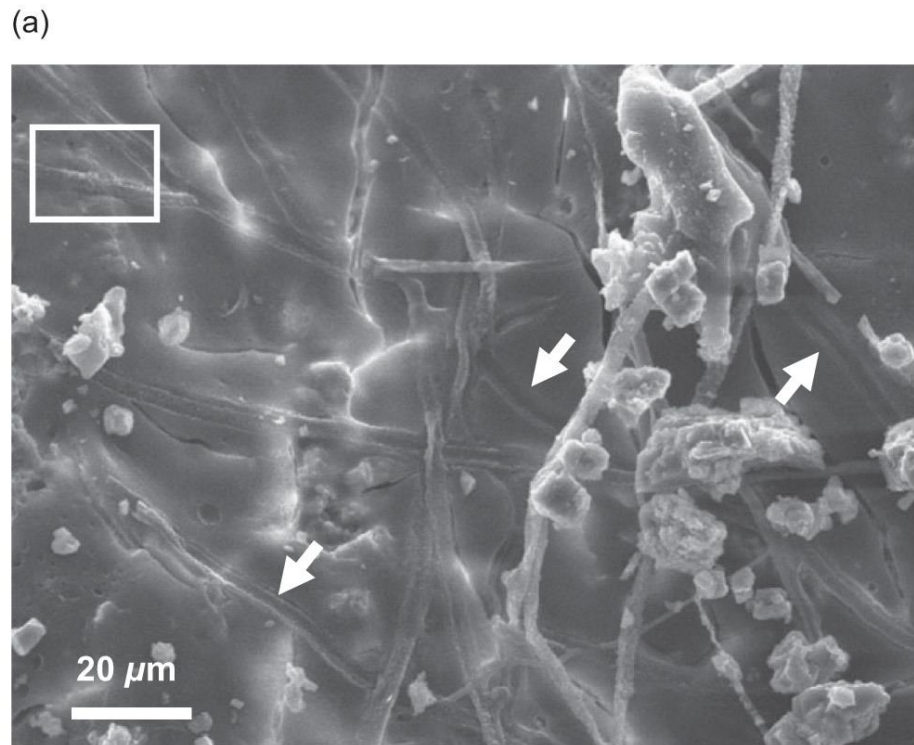
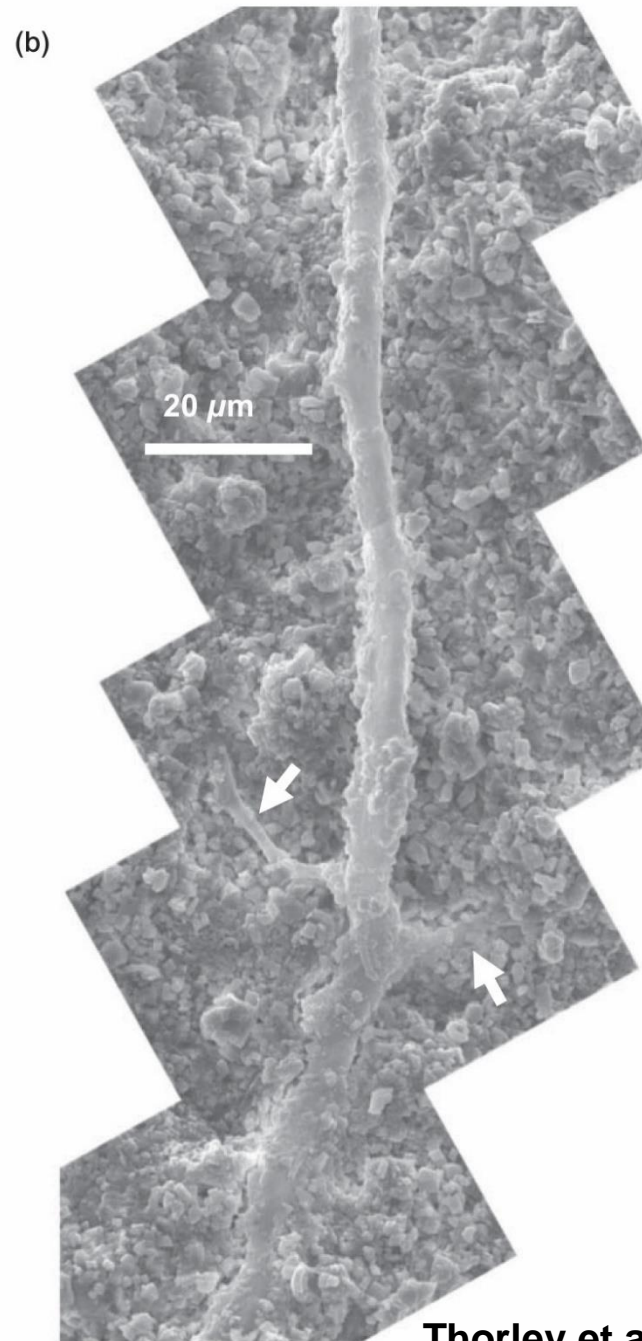
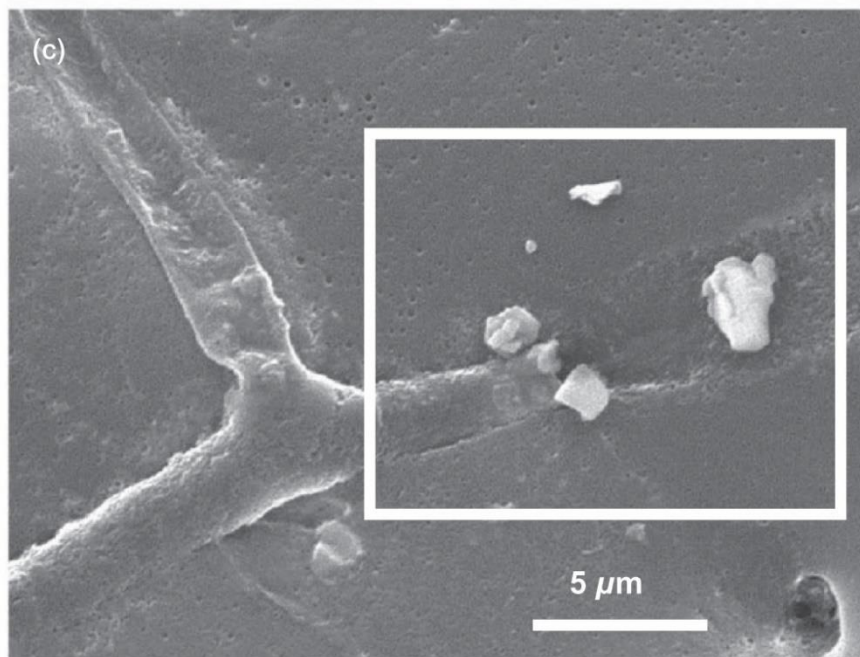
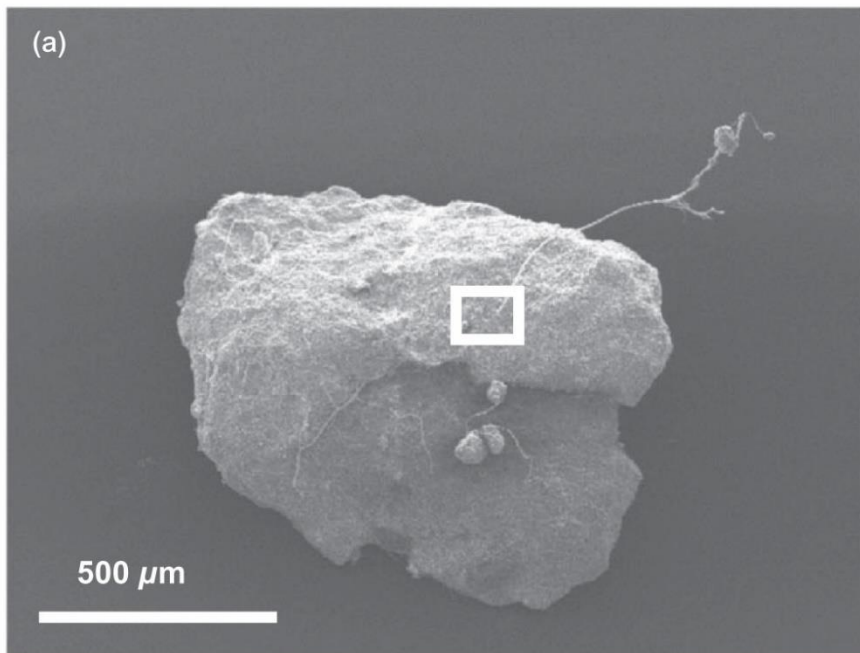


Figure 4. (a) SEM images of hyphae growing across the surface of a dolomite grain buried under *L. decidua*. Arrows indicate possible channels where hyphae have either detached from the rock surface, or have deflated *in situ*. Area highlighted is enlarged in b. Close up of surface detail and hypha channelling on dolomite grain. Scale bar = 3 μm and indicates typical diameter of an EM hypha.

Zvětrávání dolomitu pod borovicí – role ECM hub?



Zvětrávání dolomitu pod borovicí – role ECM hub?

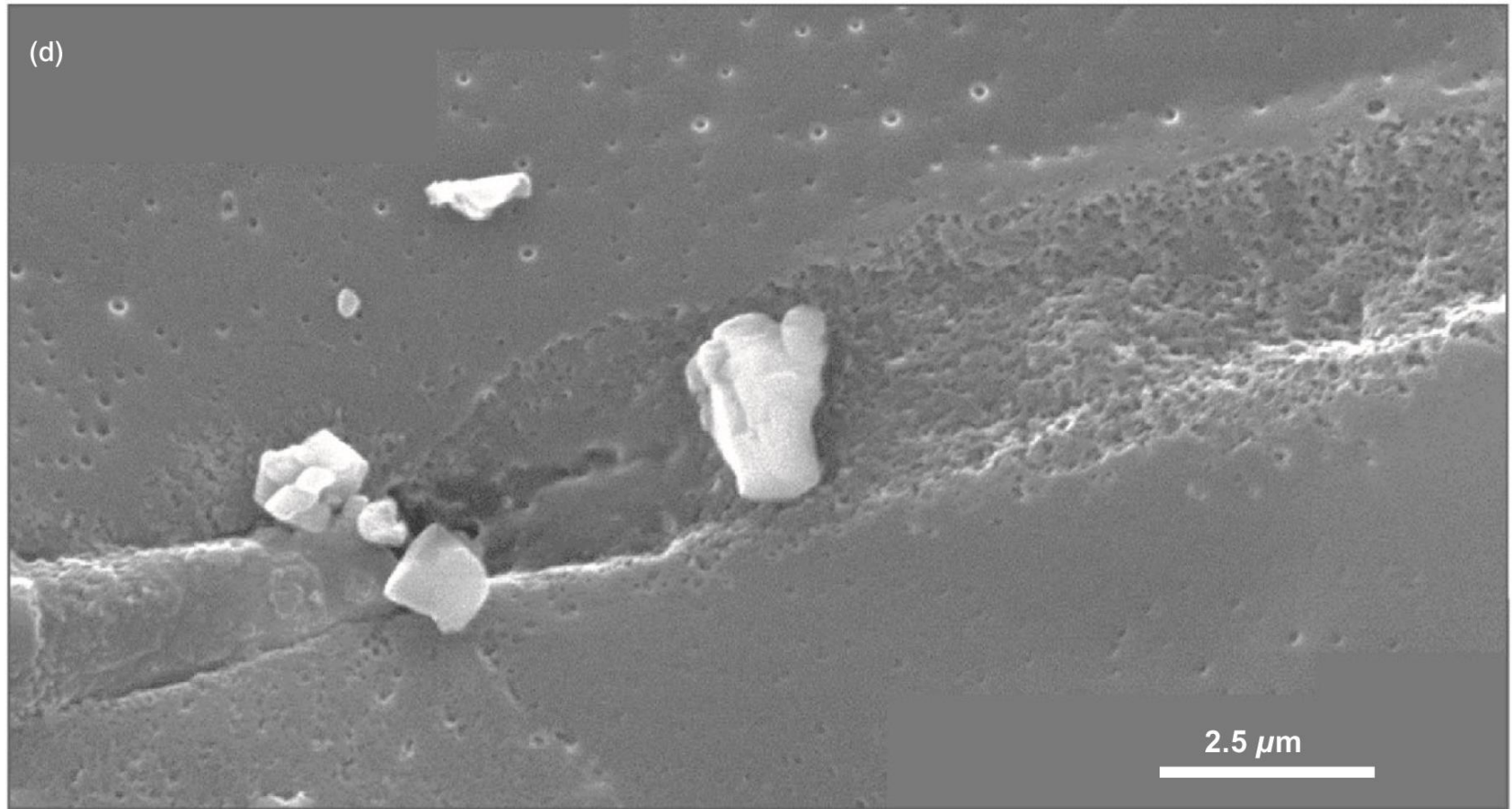


Figure 5. (a) SEM images of hyphae growing across the surface of a chalk grain buried under *P. sylvestris*. Area highlighted is enlarged in c. (b) Arrows indicate the location of smaller diameter branching hyphae. (c) Channelling by hypha on the surface of a dolomite grain buried under *L. decidua*, close-up of surface texture detail enlarged in d.



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Soil Biology & Biochemistry

journal homepage: www.elsevier.com/locate/soilbio

Review paper

Translocation of metals by trees and fungi regulates pH, soil organic matter turnover and nitrogen availability in acidic forest soils

Marianne Clarholm^{a,*}, Ulf Skjellberg^b^a Department of Forest Mycology and Plant Pathology, SLU, SE-75007 Uppsala, Sweden^b Department of Forest Ecology and Management, SLU, SE-901 83 Umeå, Sweden

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 September 2012

Received in revised form

26 February 2013

Accepted 17 March 2013

Available online 11 April 2013

Keywords:

AET
Aluminium
Base saturation
Calcium
Iron
Organo-metal complexes
pH
Soil-forming factors
SOM

ABSTRACT

In this paper we provide support for the hypothesis that trees and fungi modify their physical environment in acidic forest soils by actively translocating metal cations from the mineral to the organic horizon. We suggest that pH buffering and soil organic matter (SOM) turnover in organic horizons are regulated by Ca and Mg cycling via the tree canopy and litter fall and by fungal translocation of Al from mineral soil. Fungi in addition translocate Fe from mineral to organic horizons to enhance the degradation of aromatic structures in SOM. Together these processes are in control of N bioavailability, including new inputs via N fixation. Cycling of Ca and Mg via tree canopy typically increase the base saturation and pH towards the surface of organic forest soil horizons. This process is most clearly depicted at sites with laterally moving groundwater. An up-transport of Al from mineral to the organic horizon is most important as a pH buffering process in less productive, acid soils having a pH below approximately 4.5. At this pH, the non-acidic properties of organically complexed Al keep pH at a level sufficiently high for maintained microbial activity. Furthermore, the formation of bridging bonds between major organic functional groups (carboxyls and phenols) and di- and trivalent metal cations of Ca, Al and Fe possesses a strong influence on the tertiary structure of SOM and its persistence to degradation and delivery of N.

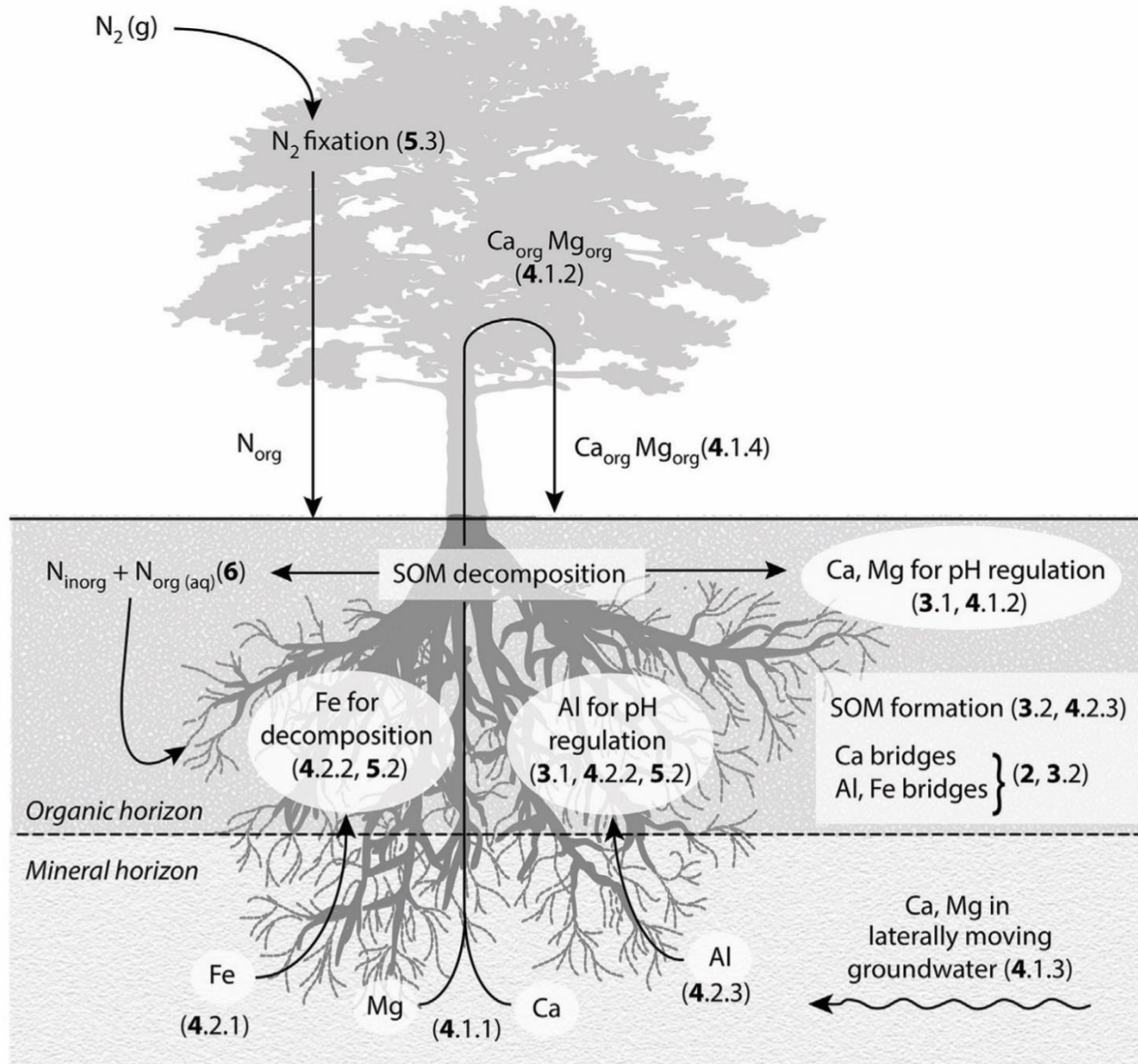


Fig. 2. A conceptual overview of translocations and biochemical processes presented and discussed in the denoted sections of this paper. Note that the compartments in the figure are not to scale.



ELSEVIER

Soil Biology & Biochemistry 38 (2006) 2487–2490

**Soil Biology &
Biochemistry**

www.elsevier.com/locate/soilbio

Short communication

Uptake of ^{87}Sr from microcline and biotite by ectomycorrhizal fungi in a Norway spruce forest

Håkan Wallander^{a,*}, David Hagerberg^a, Göran Åberg^b

^a*Department of Microbial Ecology, Lund University, Ecology Building, SE-223 62 Lund, Sweden*

^b*Department of Environmental Technology, Institute for Energy Technology, P.O. Box 40, NO-2027 Kjeller, Norway*

Received 7 October 2005; received in revised form 2 February 2006; accepted 14 February 2006

Available online 27 March 2006

Abstract

Ectomycorrhizal (EM) fungi growing in symbiosis with tree seedlings have been found in laboratory experiments to stimulate weathering and the uptake of nutrients from silicate minerals. In the present study, we used the natural abundance of strontium isotopes to confirm that these fungi obtain strontium from biotite and microcline under field conditions. Minerals enriched in radiogenic ^{87}Sr were introduced into fungal in-growth mesh bags and placed under a 5–10 cm thick humus layer developed on boulders in a Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) forest in south-western Sweden. EM root tips were sampled above the mesh bags and the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio was used to calculate the fraction of Sr in the root tips that originated from the minerals. In the EM root tips sampled above the mesh bags containing the different minerals, 1.5% of the Sr originated from biotite and 6.4% from microcline. The amount of Sr was more than 300 times higher in the mesh bags containing microcline than in those containing biotite, indicating that proportionally more Sr was released from the biotite. This study demonstrates that EM fungi have the potential to take up measurable amounts of nutrients, such as Ca and K, from microcline and biotite in the field.

© 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio; Biotite; Ectomycorrhiza; Microcline; Strontium isotopes; Weathering

Table 1
 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio ($\pm\text{SE}$, $n = 6$) in EM roots collected above mesh bags containing different minerals

Location of mesh bags	Minerals	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Fraction of Sr from mineral (%)
EM roots	Sand	0.707 ± 0.001 c	0
EM roots	Biotite	0.740 ± 0.008 b	1.5
EM roots	Microcline	0.832 ± 0.002 a	6.4
ANOVA	<i>p</i> -value	< 0.001	

The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio of minerals and roots and the Sr concentration in the roots (Table 2) is used to calculate the fraction of Sr derived from the mineral (see text for details). Effects of minerals on the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio in roots were analysed with one-way ANOVA and least significant difference (LSD) to separate the means. Different letters indicate statistically different values ($p < 0.001$).

Table 2
 Elemental concentration (mean \pm SE, $n = 6$) of La, Sr, Rb and K in EM roots collected above mesh bags containing different minerals

Location of mesh bags	Treatment	La ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Sr ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Rb ($\mu\text{g g}^{-1}$)	K (mg g^{-1})
EM roots	Sand	0.16 ± 0.06	8.2 ± 1.0	6.5 ± 2.3	1.5 ± 0.4
EM roots	Biotite	0.13 ± 0.02	9.4 ± 2.2	6.1 ± 1.3	1.2 ± 0.2
EM roots	Microcline	0.13 ± 0.04	9.5 ± 2.6	13 ± 2.3	1.4 ± 0.6
ANOVA	<i>p</i> -value	ns	ns	ns	ns

Effects of minerals on elemental concentrations were analysed with ANOVA and LSD to separate the means, ns denotes not significant.

Table 3
 Concentrations (mean \pm SE, $n = 6$) of PLFA 18:2 ω 6,9 (marker for fungal biomass) in mesh bags with different minerals

Location of mesh bags	Treatment	PLFA 18:2 ω 6,9 (nmol g $^{-1}$)
EM roots	Sand	0.08 ± 0.02
EM roots	Biotite	0.14 ± 0.06
EM roots	Microcline	0.18 ± 0.04
ANOVA	<i>p</i> -value	ns

The effects of minerals on fatty acids were analysed with ANOVA, ns denotes not significant.

**^{87}Rb (27.8%), $t_{1/2} = 4,92 \times 10^{10}$ y
 produkt přeměny je ^{87}Sr**

**Rb je homolog K, tj. izomorfní
 substituce v K-bohatých
 minerálech**

**různé minerály tedy mohou mít
 různý poměr $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$**

Distribuce genů pro 3 typy enzymů rozkládajících celulózu v rámci ECM a SAP druhů rodu *Amanita*

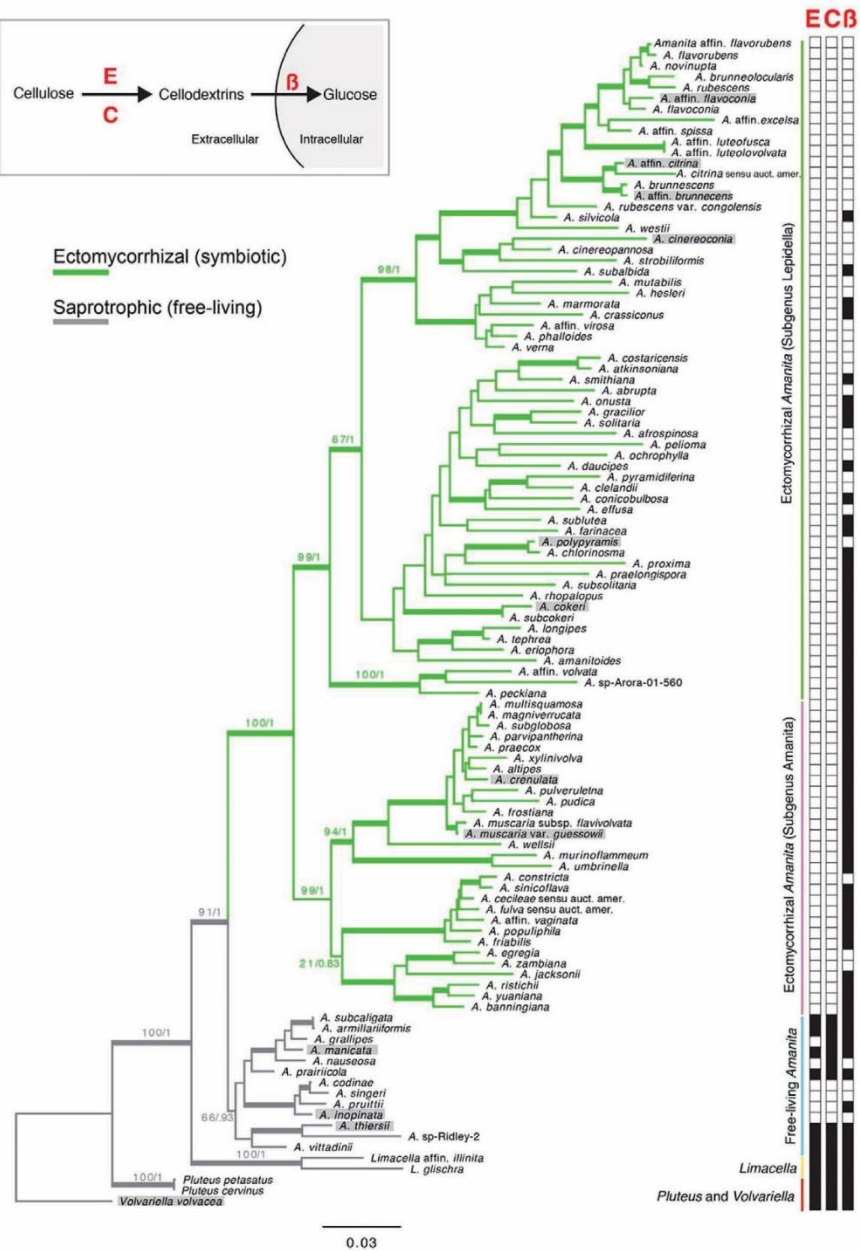
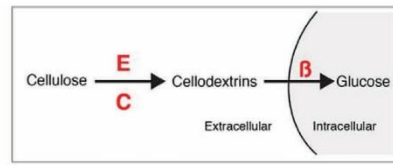


Figure 2. Maximum likelihood phylogeny of *Amanita* and closely related taxa. Support values at nodes indicate maximum likelihood bootstrap (MLB)/Bayesian posterior probability (BPP) values. Thick branches indicate branches with >90% MLB and >0.95 BPP. Boxes along right indicate presence/absence of three cellulase genes: endoglucanase (E), cellobiohydrolase (C), and beta-glucosidase (B). Black = present. White = absent. Species highlighted in grey are kept as cultures and were used for experimental assessment of saprotrophy (see text). Inset indicates putative role and location of cellulases in cellulose degradation pathway. Colors of branches are based on parsimony reconstructions of trophic status. doi:10.1371/journal.pone.0039597.g002

Houby v koloběhu uhlíku

Celková biomasa hub na Zemi dosahuje přibližně 15 Gt, z čehož asi 5 Gt tvoří uhlík (Hawksworth 2006).

Pro srovnání: celkový vstup uhlíku do atmosféry, který lze přičíst lidské činnosti, činí přibližně 5,5 Gt.

Nejde jen o uhlík vázaný v houbových tkáních, ale také o množství kyseliny šťavelové uvolňované houbami do půdy a hornin, kde dochází k tvorbě šťavelanů obsahujících uhlík (Hawksworth 2009).



Roots and Associated Fungi Drive Long-Term Carbon Sequestration in Boreal Forest

[K. E. CLEMMENSEN](#), [A. BAHR](#), [O. OVASKAINEN](#), [A. DAHLBERG](#), [A. EKBLAD](#), [H. WALLANDER](#), [J. STENLID](#), [R. D. FINLAY](#), [D. A. WARDLE](#), AND [B. D. LINDAHL](#) [Authors Info &](#)

[Affiliations](#)

SCIENCE • 29 Mar 2013 • Vol 339, Issue 6127 • pp. 1615-1618

Boreal forest soils function as a terrestrial net sink in the global carbon cycle. The prevailing dogma has focused on aboveground plant litter as a principal source of soil organic matter. Using ^{14}C bomb-carbon modeling, we show that 50 to 70% of stored carbon in a chronosequence of boreal forested islands derives from roots and root-associated microorganisms. Fungal biomarkers indicate impaired degradation and preservation of fungal residues in late successional forests. Furthermore, 454 pyrosequencing of molecular barcodes, in conjunction with stable isotope analyses, highlights root-associated fungi as important regulators of ecosystem carbon dynamics. Our results suggest an alternative mechanism for the accumulation of organic matter in boreal forests during succession in the long-term absence of disturbance.

Izotopy N a C v geomykologii

Izotopická frakcionace: proces, při kterém dochází ke změnám izotopických poměrů – někdy zde hraje roli i účast živých organismů. Nejmarkantnější rozdíly jsou u „velkých prvků“ (H, O, C, N). S rozvojem analytických metod jsme schopni detekovat i velmi malé rozdíly u těžších prvků (Ag, Cr, Cd, Cu, Fe, Sr, Ca, Mg, V, Zn aj.).

Příklady frakcionačních procesů:

- vypařování a kondenzace kapalin
- srážení z roztoků
- rozpouštění (biologické); **biologické procesy mohou frakcionovat i relativně těžké prvky jako např. Fe nebo Cd**
- při chem. reakcích typicky reagují rychleji molekuly s lehčími izotopy

Izotopy N a C v geomykologii

Izotopy N – stabilní ^{14}N (99.636%) a ^{15}N .

Izotopy C – stabilní ^{12}C (99%) a ^{13}C .

– radioaktivní ^{14}C , $t_{1/2} = 5730$ y

Využití pro řadu geochemických aplikací. Na rozdíl od izotopů Sr a Pb se zde nevyjadřují poměry jednotlivých izotopů jako $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, ale využívá se tzv. odchylka od standardu (δ , delta).

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{Sample}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{Standard}}} - 1 \right] \times 1000$$

$$\delta^{15}\text{N} = \left[\frac{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{Sample}}}{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{Standard}}} - 1 \right] \times 1000$$

Hodnota δ u standardů je tedy z definice nulová.

Kladné hodnoty δ (v promile, ‰) indikují obohacení těžším izotopem oproti standardu, záporné hodnoty δ indikují ochuzení těžším izotopem oproti standardu.

Izotopy N a C v geomykologii

Standard: materiál s definovaným izotopickým poměrem pro daný prvek.

H, O: tzv. SMOW, mořská voda

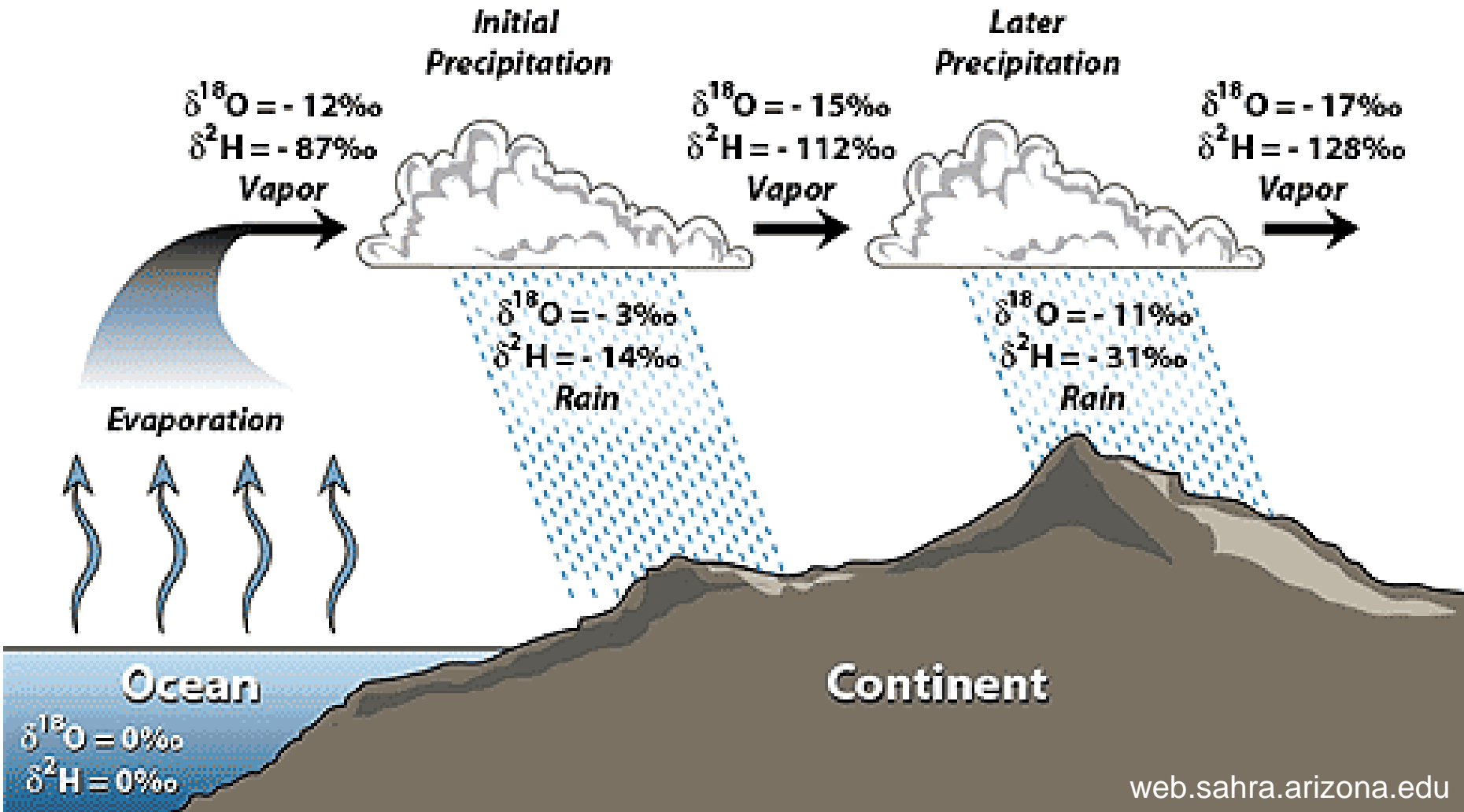
N: přírodní atmosférický dusík

C: tzv. PDB, křídová mořská fosilie (*Belemnitella americana*) z Jižní Karolíny

S: FeS (sulfid železa, troilit) z meteoritu Canyon Diablo

$\delta^{15}\text{N} +30\text{‰}$ znamená o 3% více ^{15}N ve vzorku oproti standardu.

Příklad frakcionace H/O izotopů



Izotopy N a C v geomykologii

Výzkumy zhruba od poloviny 90. let. Role hub v mykorhizní symbióze, translokace prvků (tok N do rostlin a C do hub).

(Obvykle se analyzují plodnice, výjimečně mykorhizy.)

Nejprve bylo zjištěno, že ECM houby jsou výrazně bohatší ^{15}N než symbiotické rostliny (Gebauer & Dietrich 1993). To se opakovaně potvrdilo, je to obecný jev. Značná část N do rostlin „teče“ skrze houby, takže nejspíš jde o izotopickou frakcionaci.

Existují i rozdíly v rámci ECM hub a to může souviset s rozdílnou schopností ECM hub využívat organicky vázaný dusík.

Izotopy N a C v geomykologii

Brzy se ukázalo, že ECM houby jsou oproti saprotrofním obohacené ^{15}N a také byly zjištěny rozdíly v ^{13}C – ECM houby jsou ochuzené oproti saprotrofům. To vedlo k možnosti zjišťovat ekologii některých druhů hub s nejasnou potravní specializací (ECM vs. SAP).

Tzv. **saprotrophic-mycorrhizal divide** (Henn & Chapela 2001).

Byl využit také ^{14}C , který umožňuje zjišťovat stáří organického materiálu. SAP druhy obsahovaly uhlík fotosynteticky vázaný před více než 6 lety, zatímco uhlík v ECM druzích byl 0-2 roky starý (Hobbie et al. 2002). Dobrá metoda, ale velmi drahá a velmi náročná na měření (AMS – akcelerator mass spectroscopy).

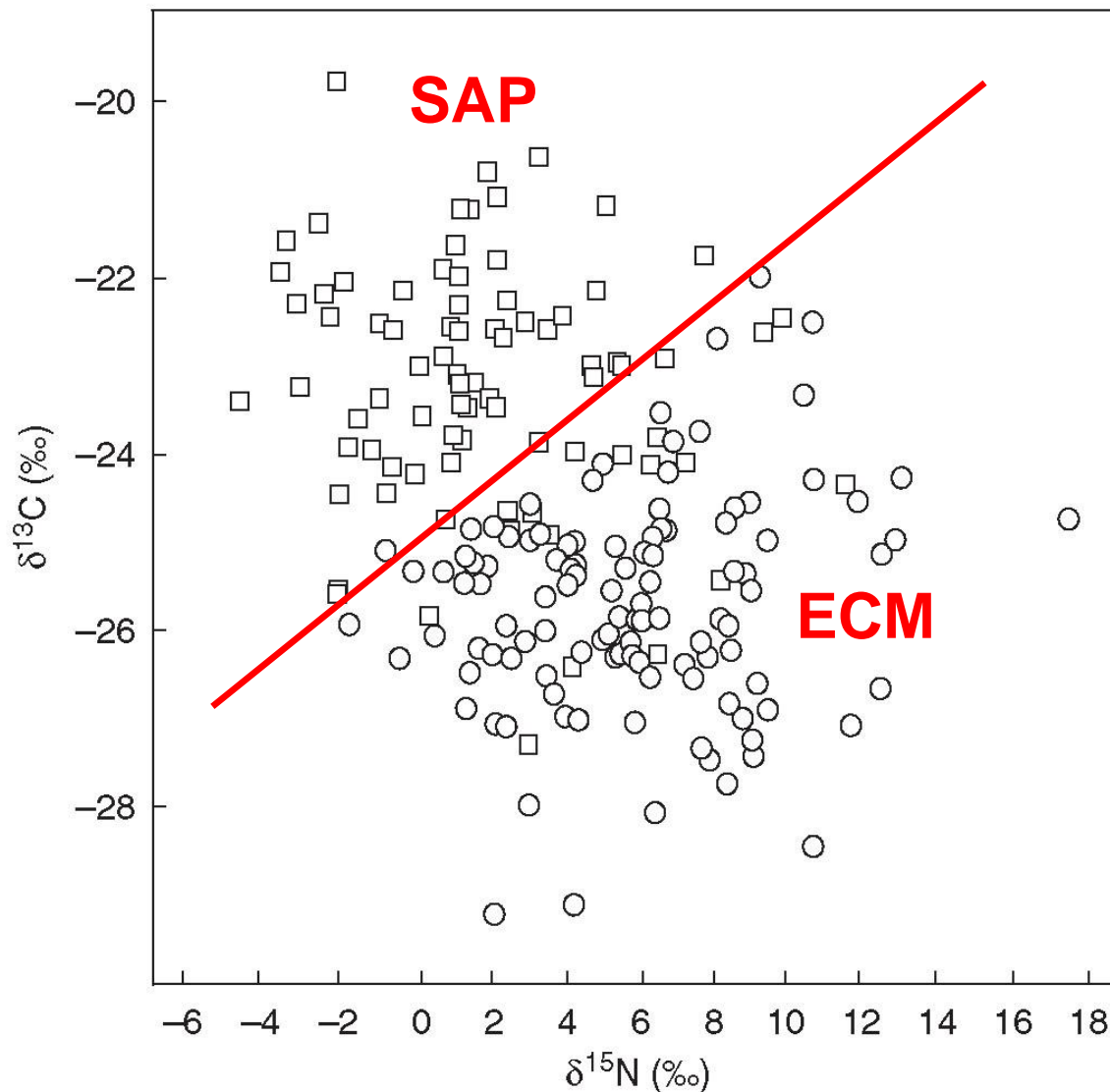


Fig. 7.1. Nitrogen (^{15}N) and carbon (^{13}C) stable isotope values for sporocarps of saprotrophic and ectomycorrhizal fungi collected in forests in and around Uppsala, central Sweden. Data points represent species means. Open squares, saprotrophic fungi; open circles, ectomycorrhizal fungi.

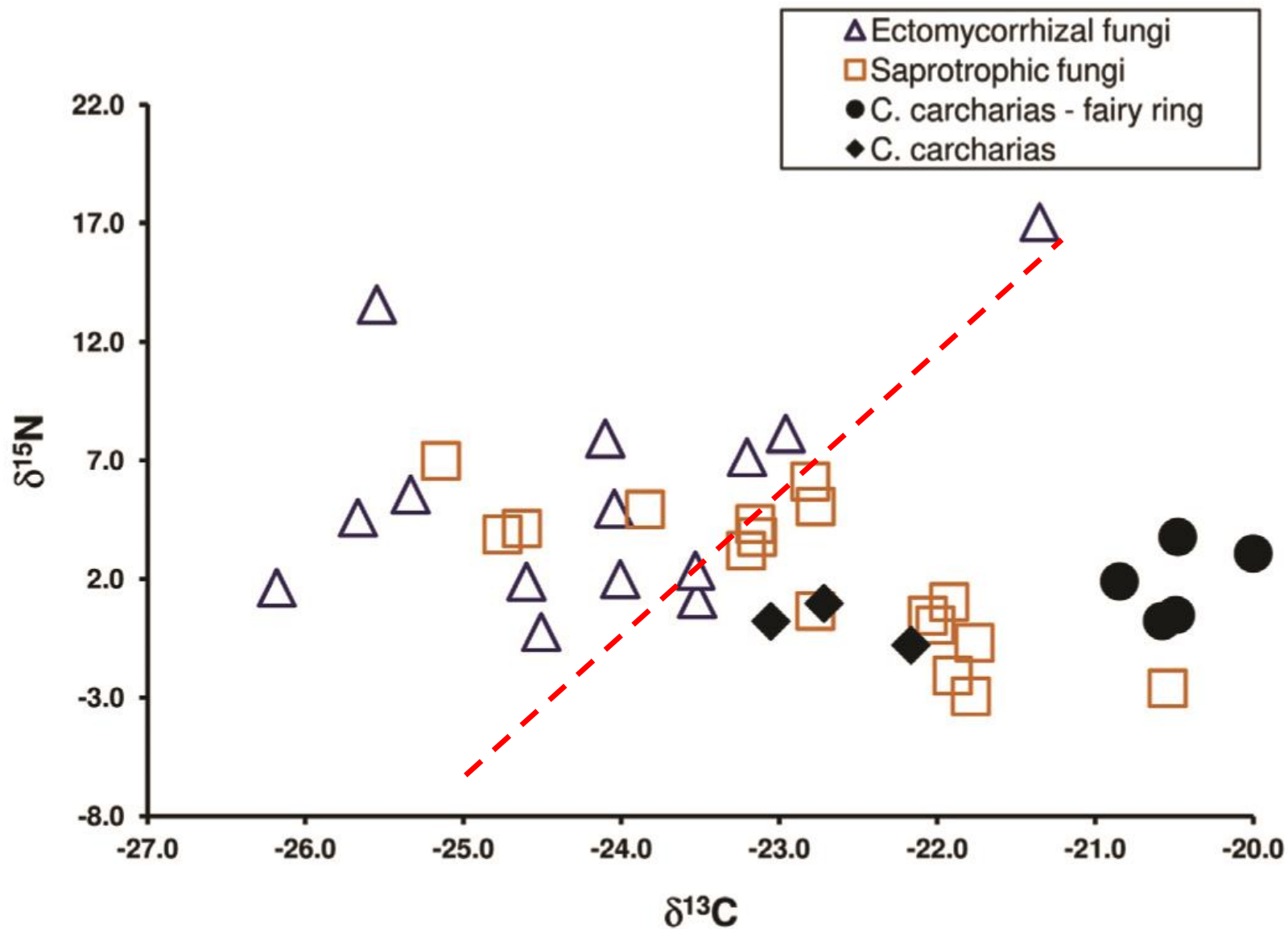


Fig. 2. Carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) stable isotope values for sporocarps of ectomycorrhizal/saprotrophic macrofungi and *Cystoderma carcharias* from the smelter-polluted area in Lhota near Přebíram.

Voskovka granátová – *Hygrocybe punicea*



Conservation of biotrophy in Hygrophoraceae inferred from combined stable isotope and phylogenetic analyses

Brian H. Seitzman¹

Department of Biology, 950 Main Street, Clark University, Worcester, Massachusetts 01610

Andrew Ouimette

Rachel L. Mixon

Erik A. Hobbie

Complex Systems Research Center, University of New Hampshire, Durham, New Hampshire 03824

David S. Hibbett

Department of Biology, 950 Main Street, Clark University, Worcester, Massachusetts 01610

Abstract: The nutritional modes of genera in Hygrophoraceae (Basidiomycota: Agaricales), apart from the ectomycorrhizal *Hygrophorus* and lichen-forming taxa, are uncertain. New $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values were obtained from 15 taxa under Hygrophoraceae collected in central Massachusetts and combined with isotopic datasets from five prior studies including a further 12 species using a data standardization method to allow cross-site comparison. Based on these data, we inferred the probable nutritional modes for species of *Hygrophorus*, *Hygrocybe*, *Humidicutis*, *Cuphophyllus* and *Gliophorus*. A phylogeny of Hygrophoraceae was constructed by maximum likeli-

INTRODUCTION

Hygrophoraceae is a widely distributed and conspicuous group in Agaricales. The monophyly of the family has yet to be established (Moncalvo et al. 2002), but it includes several genera of mushroom-forming species, such as *Hygrophorus* Fr., *Hygrocybe* (Fr.) P. Kumm., *Gliophorus* Herink, *Cuphophyllus* (Donk) Bon (approx. syn. *Camarophyllus* [Fr.] P. Kumm.) and *Humidicutis* Singer. Lichenizing forms, such as *Lichenomphalia* (Moncalvo et al. 2002), a symbiont with green algae, also are present in the group. Recent molecular evidence also supports the inclusion in Hygrophoraceae of *Dictyonema* C. Agardh ex Kunth, a lichenizing partner of cyanobacteria. Lichenizing basidiomycetes are few, and finding a concentration of those engaged in this form of symbiosis within a single family (Lawrey et al. 2009) raises questions about the nutritional status of the non-lichenizing Hygrophoraceae to which they are related. For the most part we lack evidence supporting the classification of genera in Hygrophoraceae as either ectomycorrhizal (ECM) or saprotrophic. Conflicting taxonomic schemes (Singer 1957, Hessler and Smith 1963, Arnolds 1986, Bougher and Young 1997) also have made it difficult to address the issue of nutritional status.

Hyphae of waxcap fungi colonise plant roots

Hans HALBWACHS^{a,*}, Bryn T.M. DENTINGER^{b,c},
Andrew P. DETHERIDGE^c, Peter KARASCH^d, Gareth W. GRIFFITH^c

^aBavarian Mycological Society, Danzigerstr. 20, D-63916 Amorbach, Germany

^bJodrell Laboratory, Royal Botanic Gardens, Kew, Surrey TW9 3DS, UK

^cInstitute of Biological, Environmental and Rural Sciences, Cledwyn Building, Aberystwyth University, Penglais, Aberystwyth, Ceredigion SY23 3DD, UK

^dBavarian Mycological Society, Taubenhüller Weg 2A, D-82131 Gauting, Germany



ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 April 2013

Revision received 17 August 2013

Accepted 20 August 2013

Available online 6 November 2013

Corresponding editor:

Björn Lindahl

Keywords:

Basal hyphae

Biotrophy

Endophyte

Hygrocybe

Nutritional lifestyle

ABSTRACT

The trophic strategy of the globally distributed waxcaps (Hygrophoraceae) is uncertain. Some clues point to a biotrophic mode, particularly the ¹³C and ¹⁵N (stable isotopes) signatures. The observation of dense basal hyphae of *Hygrocybe* fruit bodies being tightly attached to live fine roots may be indicative of a plant-derived nutritional habit. To further scrutinize this fungus–plant association, stipe base samples and attached plant fragments were examined histologically. Waxcap hyphae were found growing inside live fine roots of associated vegetation. Amplification and sequencing of waxcap DNA from living root tissues using species-specific PCR primers also confirmed their presence in live plant roots. We therefore conclude that this group of fungi has a biotrophic lifestyle with plants.

© 2013 Elsevier Ltd and The British Mycological Society. All rights reserved.

Hygrocybe virginea is a systemic endophyte of *Plantago lanceolata*

Sofia A. Tello · Patricia Silva-Flores · Reinhard Agerer · Hans Halbwachs · Andreas Beck · Derek Peršoh

Received: 29 May 2013 / Revised: 24 August 2013 / Accepted: 27 August 2013
© German Mycological Society and Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Abstract Species of *Hygrocybe* (waxcaps) are mostly colorful mushrooms, which are characteristic of undisturbed grasslands. These fungi are endangered in many places worldwide, but their biology remains a mystery: while isotopic signatures indicate that waxcaps are neither mycorrhizal nor saprotrophic, they were recently observed in plant roots and molecularly detected in aboveground tissues. We aimed to establish a model system of *Plantago lanceolata* plants colonized by *H. coccinea* for future detailed studies of the plant–fungus association, and species-specific primers were designed to control infection success and screen environmental samples for waxcaps. The experimentally treated plants grown from surface-sterilized seeds were indeed colonized by waxcaps after 22 weeks of incubation. However, the fungal infection was independent from the experimental treatment and apparently resulted from infected seeds. Screening of field material confirmed that at least one species, i.e., *H. virginea*, is a maternally transmitted endophytic fungus associated with *P. lanceolata*. In the experiments, it obviously expanded to the roots during or after seed germination. The endophytic growth is also consistent with the carbon isotopic signature of *Hygrocybe*, which deviates less from the host plants' signature than known from ectomycorrhizal associations. However, waxcaps obviously acquire nitrogen (N) from a source outside the plant, like mycorrhizal fungi do.

The extensive root system of *P. lanceolata* is hypothesized to facilitate reaching of nitrogen sources for *Hygrocybe* which are enriched in the heavier ^{15}N isotope.

Keywords *Hygrocybe virginea* · *Hygrocybe coccinea* · *Plantago lanceolata* · Endophytic · Basidiomycota · Isotopic signature

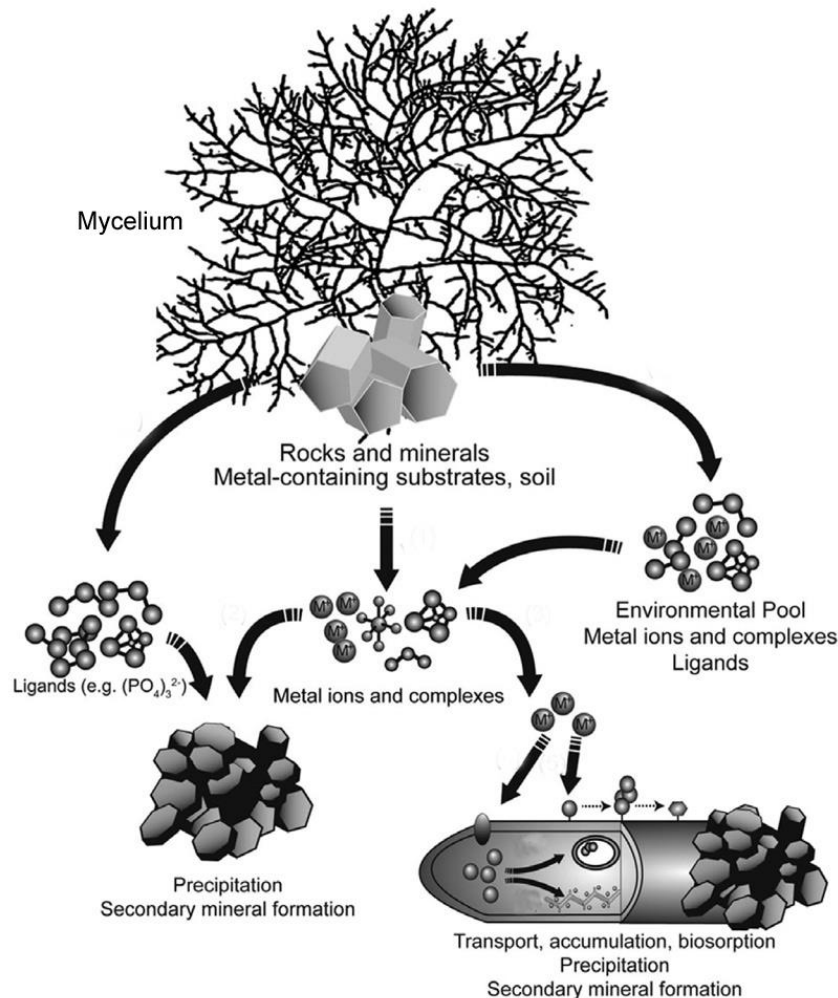


Endofyt: organismus žijící uvnitř těla rostliny.

Voskovka panenská byla prokázána jako endofyt u jitrocele kopinatého.

Voskovky však zřejmě získávají dusík ze zdroje mimo rostlinu, podobně jako mykorhizní houby.

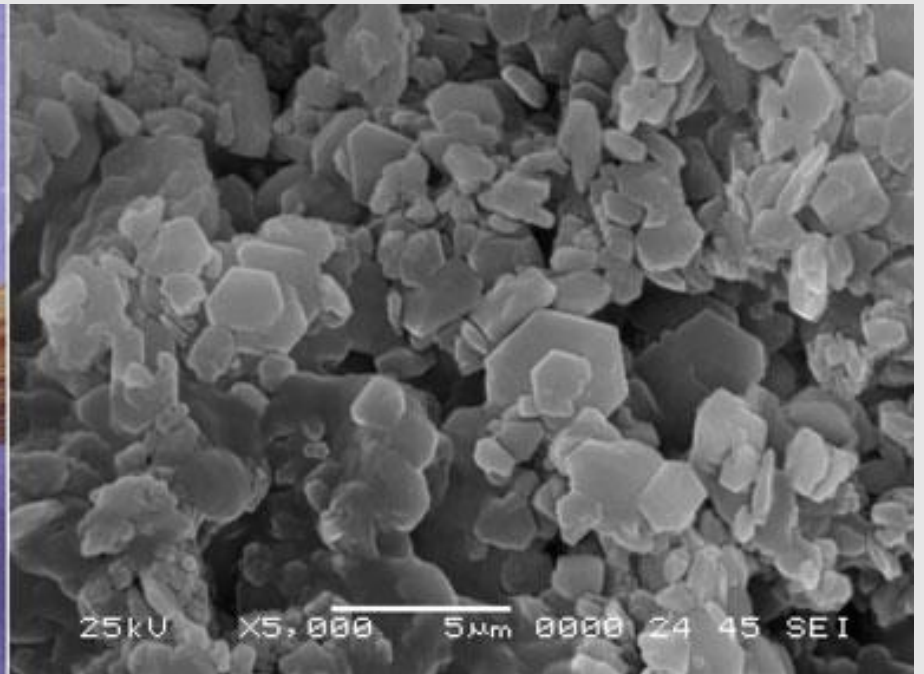
Mykogenní minerály



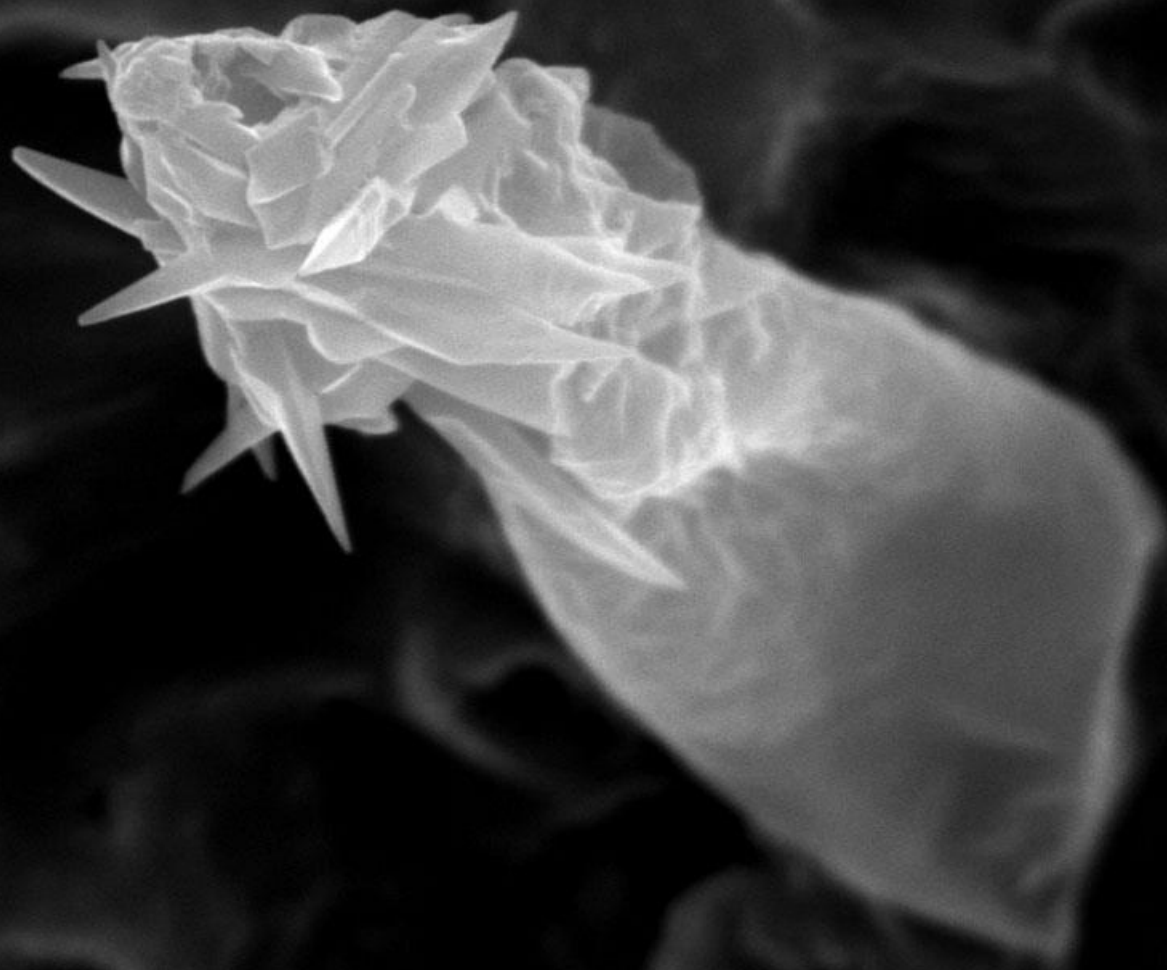
Houby mají schopnost vytvářet na hyfách mycelia či v plodnicích krystalické agregáty anorganických i organických sloučenin.

Minerály vzniklé činností hub nazýváme **mykogenní**.

Vznik v přírodě, značná část pozorována *in vitro*.



**Nejběžnější št'avelan vápenatý se vyznačuje
různorodou morfologií krystalů (monoklinická s.)**



Cystida tmavobělky – Melanoleuca sp.

25 kV

X4,300

5 μm

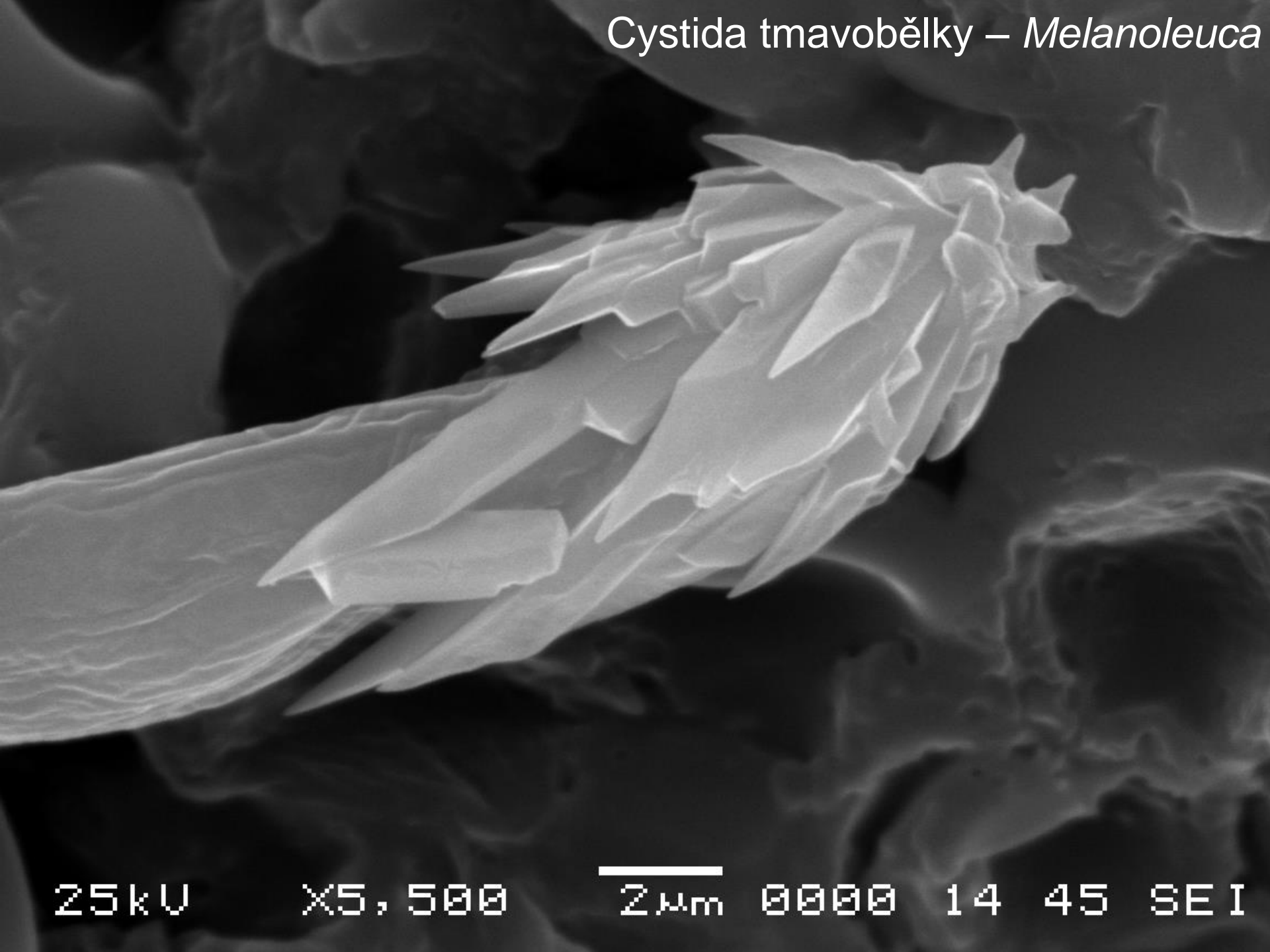
0000

14

45

SEI

Cystida tmavobělký – *Melanoleuca*



25kV

X5,500

2µm

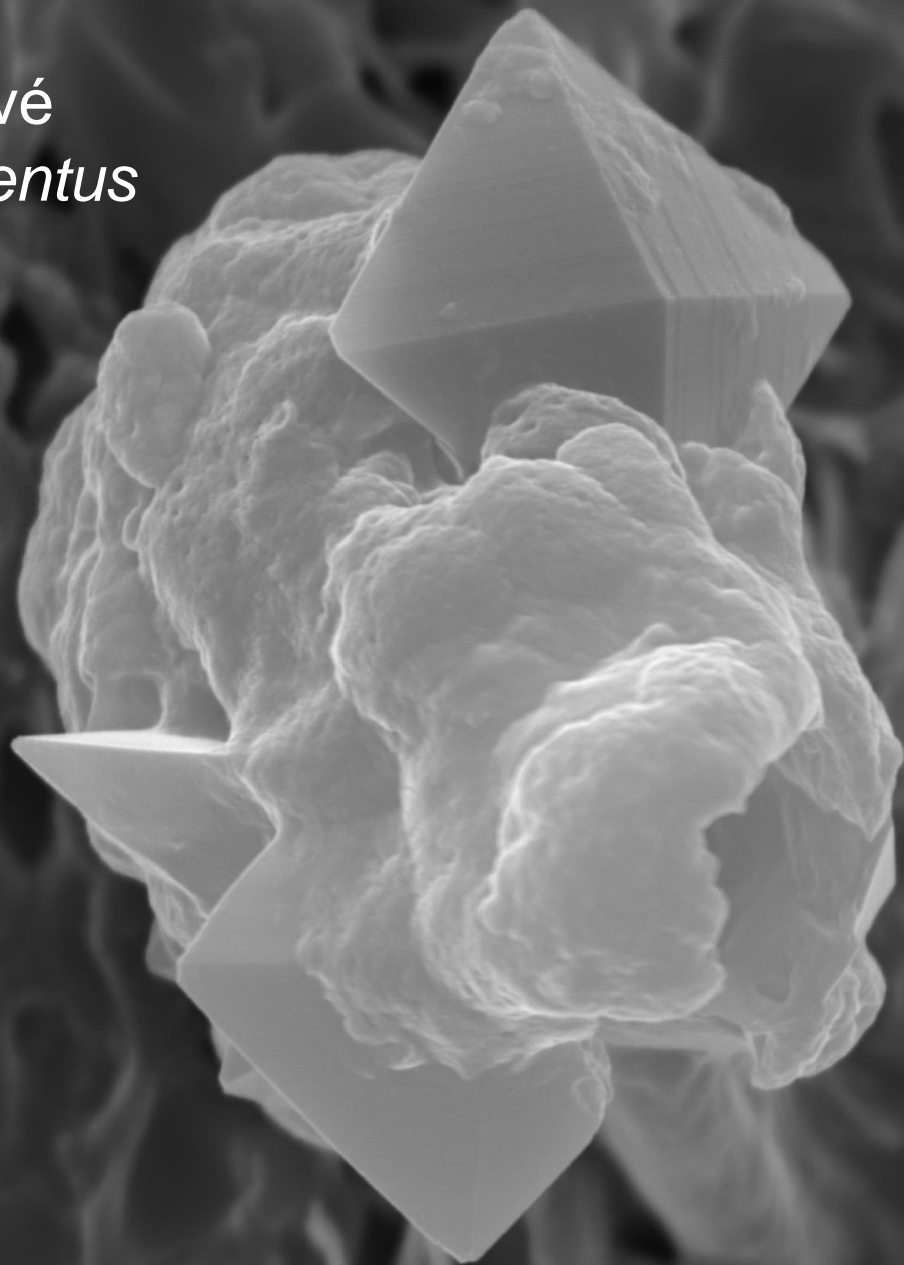
0000

14

45

SEI

Cystida
penízovky smrkové
Strobilurus esculentus



25kV

X4,000

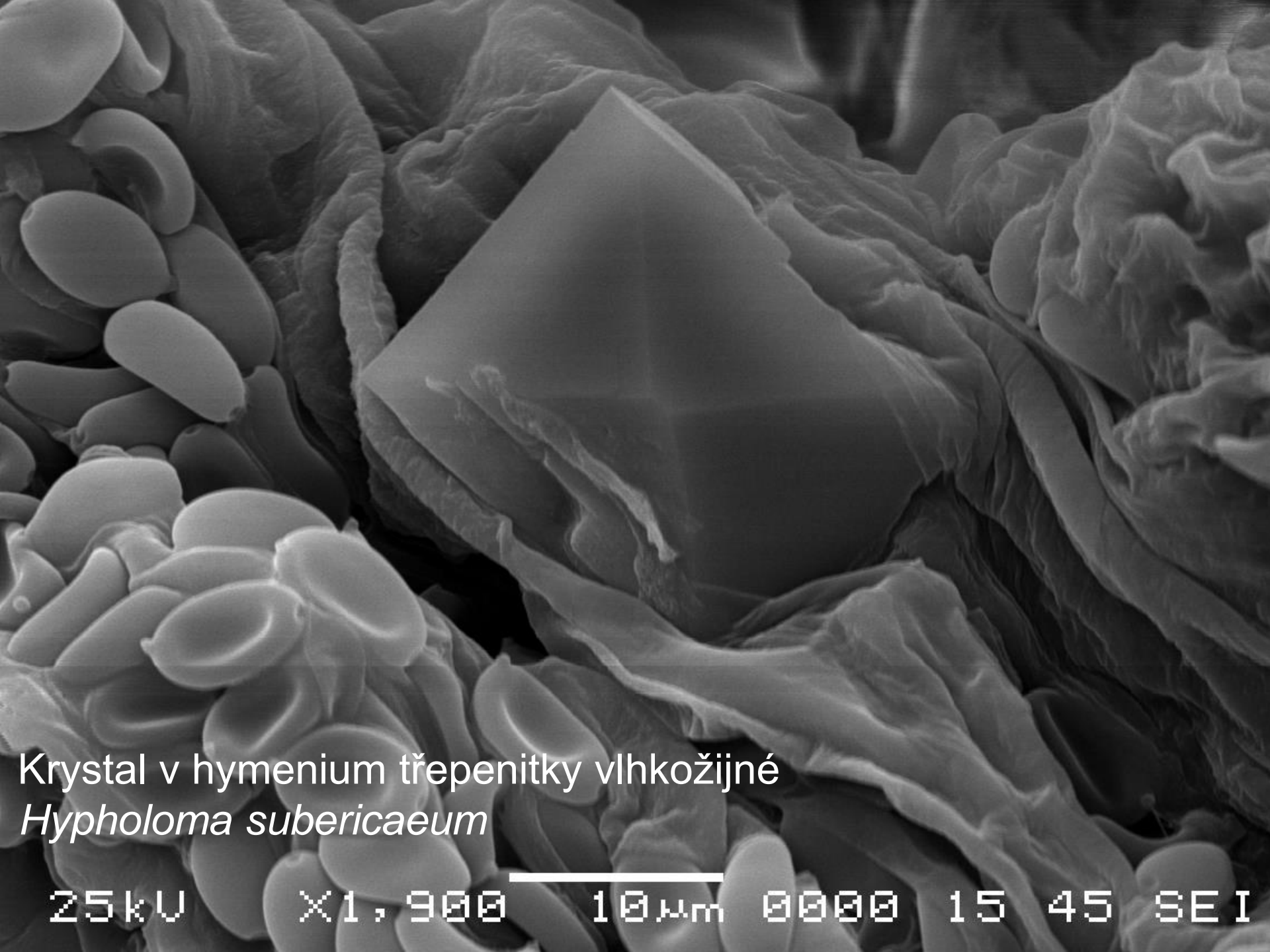
5µm

0000

09

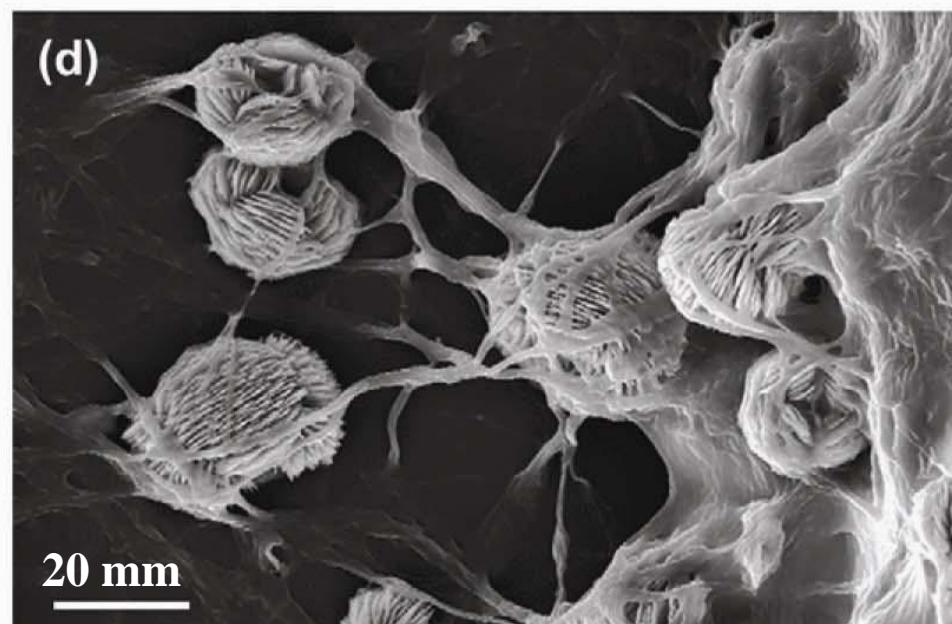
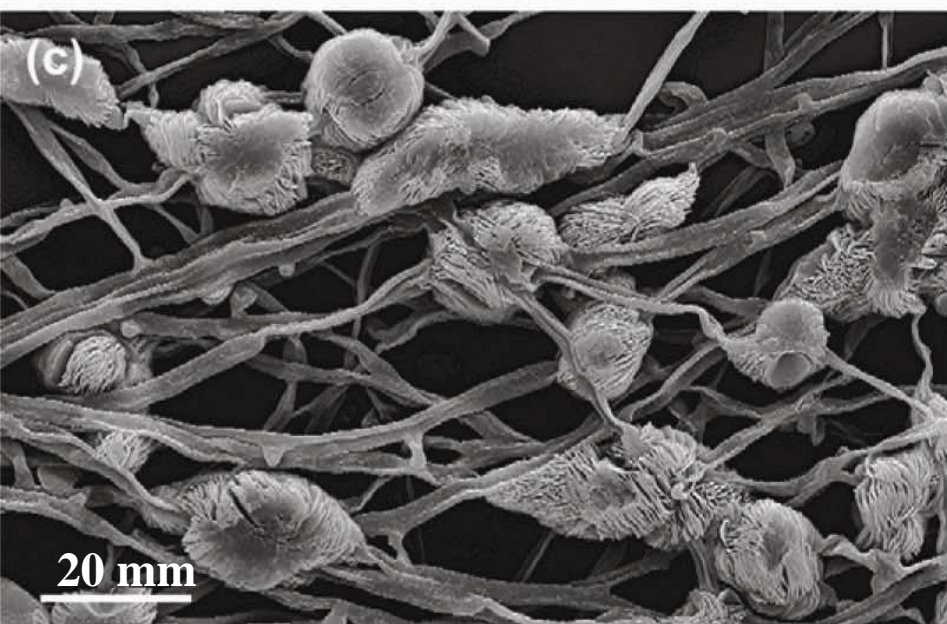
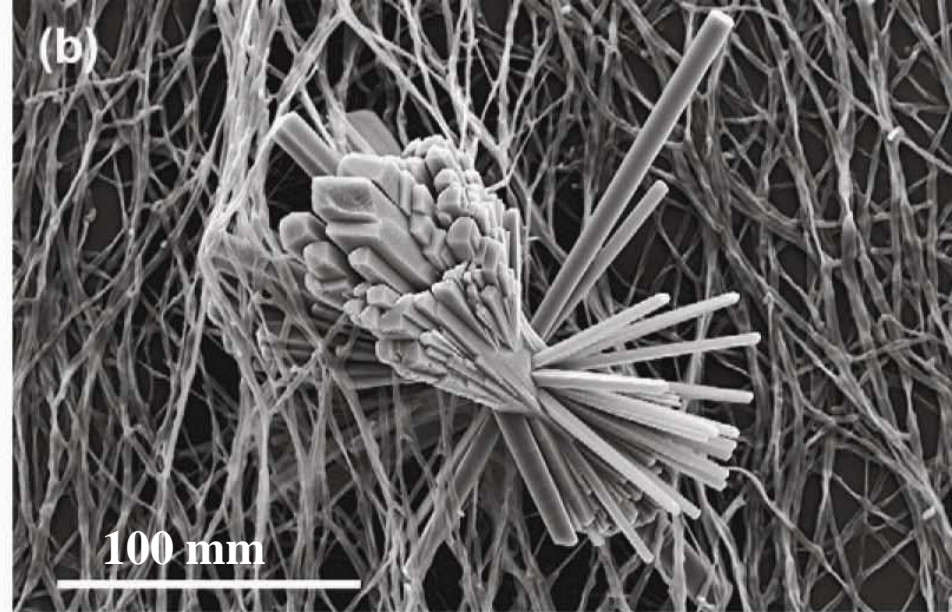
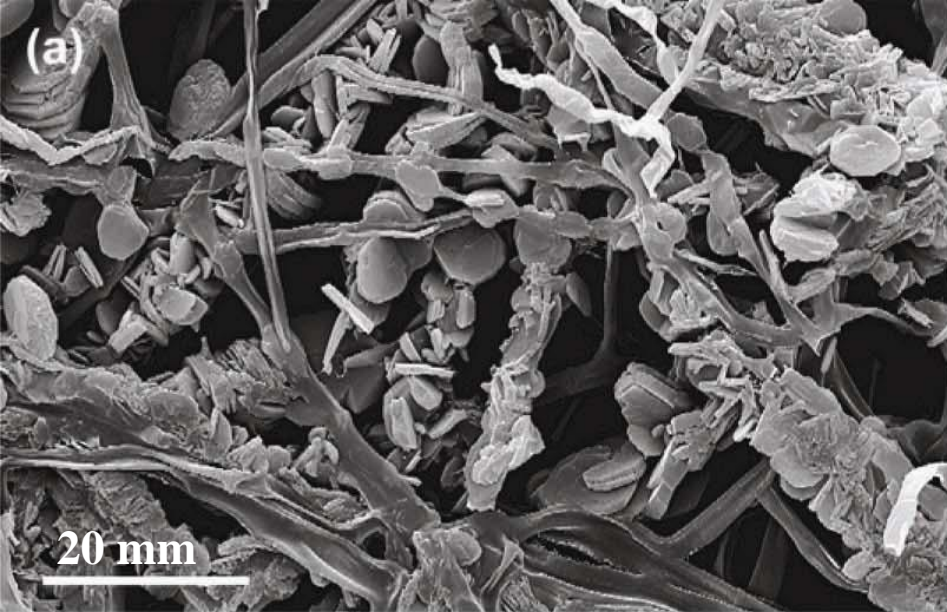
45

SEI



Krystal v hymenium třepenitky vlhkožijné
Hypholoma subericum

25kV X1,900 10µm 0000 15 45 SEI



a) Mg oxalate dihydrate: glushinskite and hydromagnesite b) Sr oxalate hydrate c) calcium oxalate monohydrate – whewellite & calcium oxalate dihydrate – weddellite d) copper oxalate hydrate – moolooite (Gadd 2007).

Kuřátka – *Ramaria* a *Phaeoclavulina*

Mykorrhizní a saprotrofní druhy, některé vytvářejí krystaly na povrchu mycelia či rhizomorf u báze třeně. Na základě absence/přítomnosti (+tvaru) krystalů je založeno určování jednotlivých druhů kuřátek.

Monografie: Josef Christan - Die Gattung *Ramaria* in Deutschland



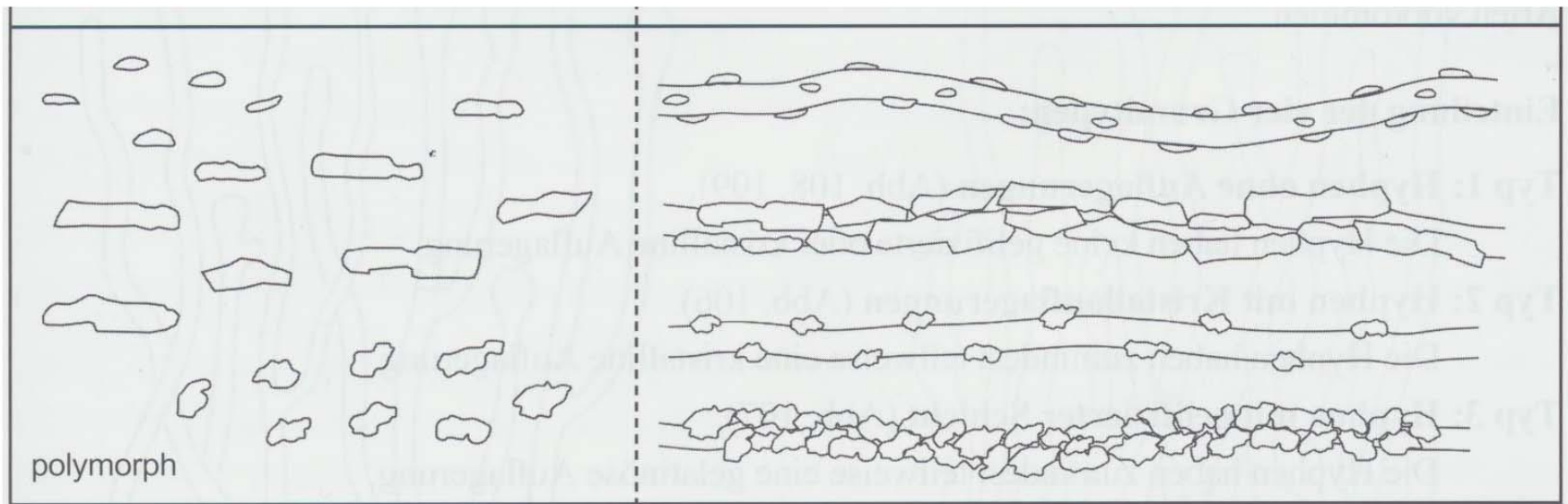
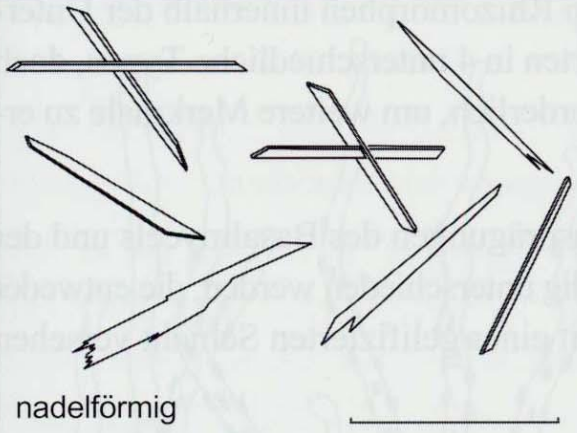
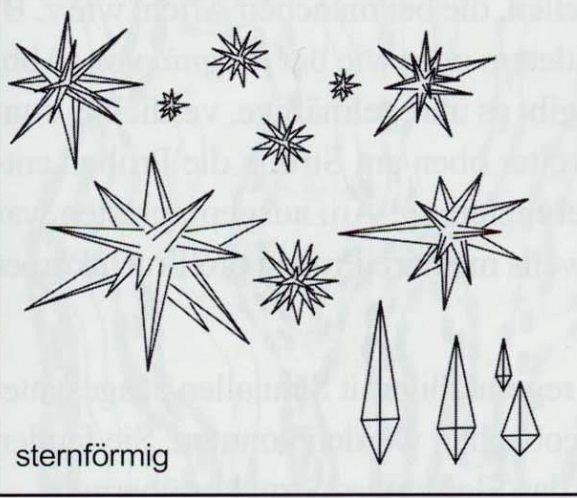
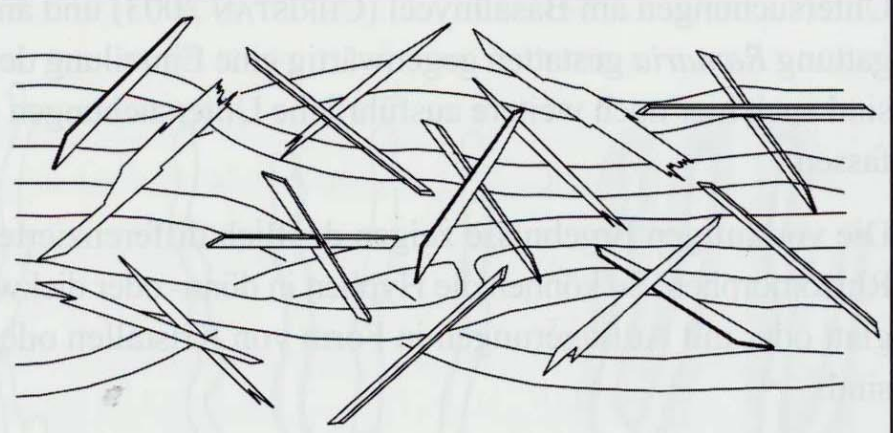


Abb. 105: Kristallformen in den Rhizomorphen und im Basalmycel bei *Ramaria*.

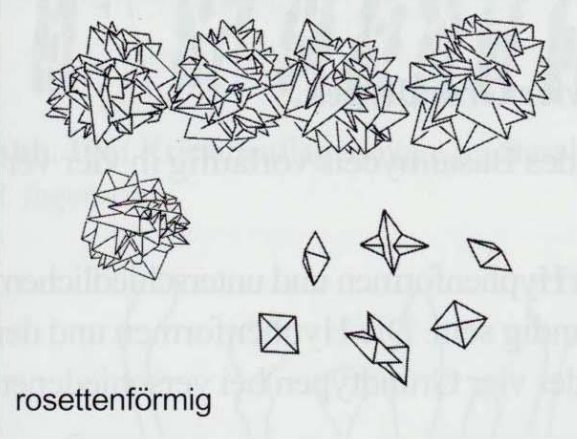
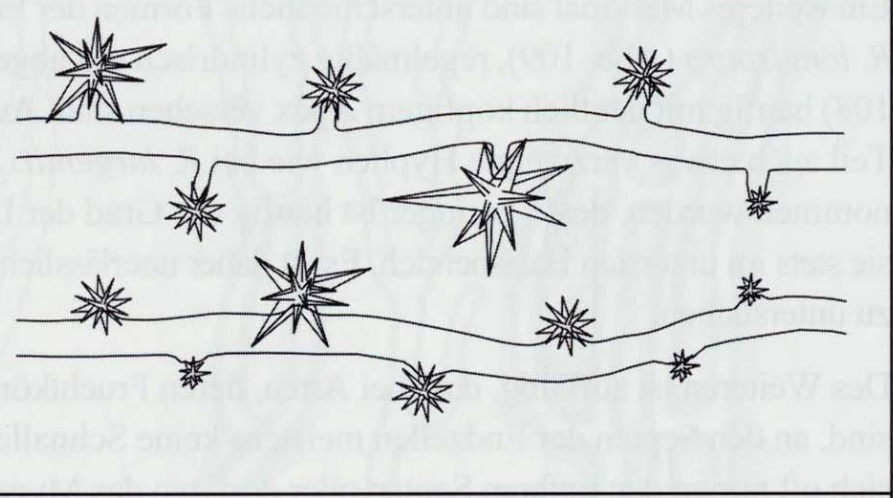
Celkem **4 typy krystalů** dle morfologie: **polymorfní**, **hvězdčovitě (astrocystidy)**, **jehličkovitě** a **růžicovitě**.
Složení není známo, pravděpodobně **šťavelan vápenatý**.
Studium: optický, ideálně elektronový mikroskop (**SEM**).



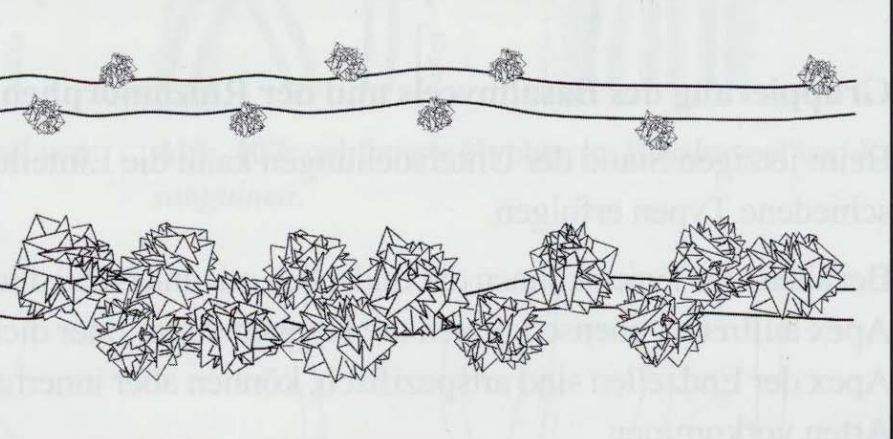
nadelförmig



sternförmig



rosettenförmig





Kuřátka přímá – *Ramaria stricta*

6.5.5 Kristallauf Lagerungen

Auflagerungen in Form von Kristallen, vor allem im Basalmycel, in den Rhizomorphen und im Mycel, sind von großer taxonomischer Bedeutung. Die unterschiedlichen Formen von Kristallen (Abb. 105, s. a. unter „REM-Aufnahmen“), vornehmlich in den äußeren Hyphen der Rhizomorphen, lassen eine vorläufige Trennung auf Untergattungsebene zu.

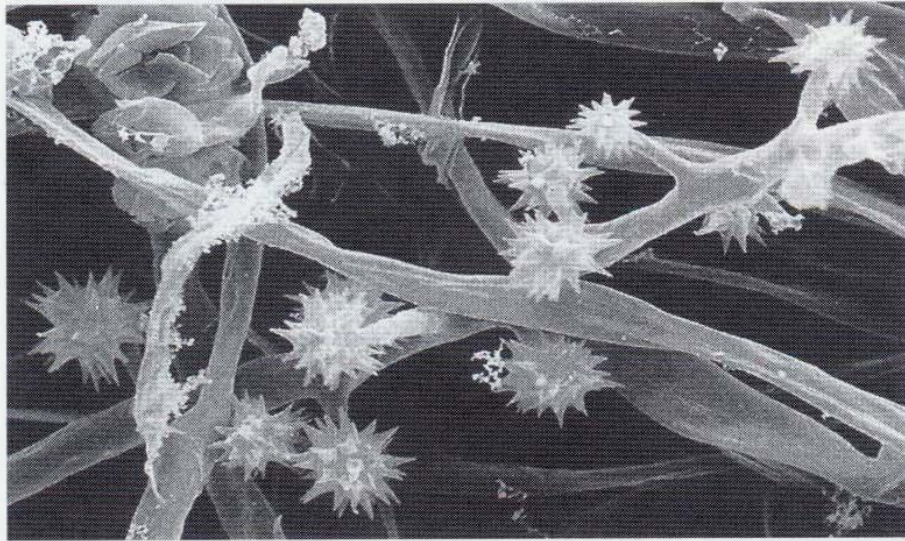


Abb. 103: kristalltragende Astrocystiden in den Rhizomorphen bei *R. flaccida*

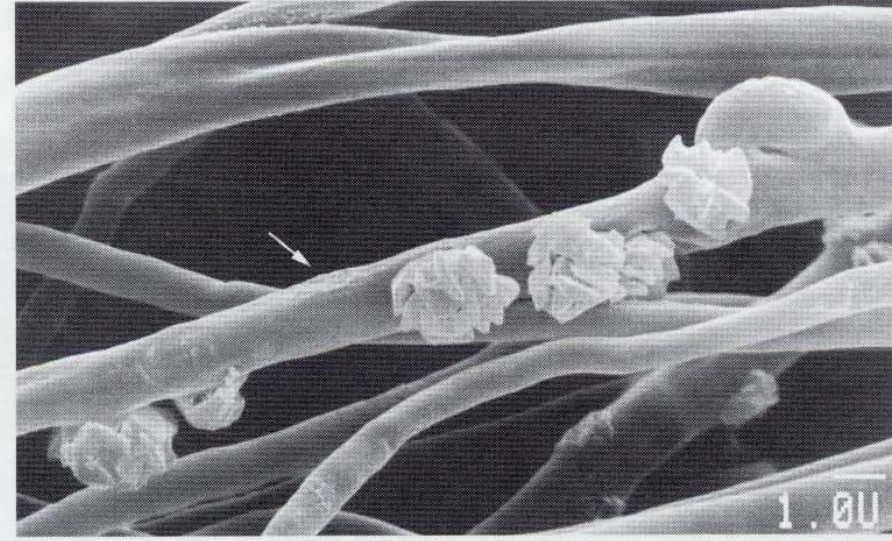


Abb. 104: rosettenförmige Kristallaggregate direkt auf der Hyphenwand bei *R. stricta*

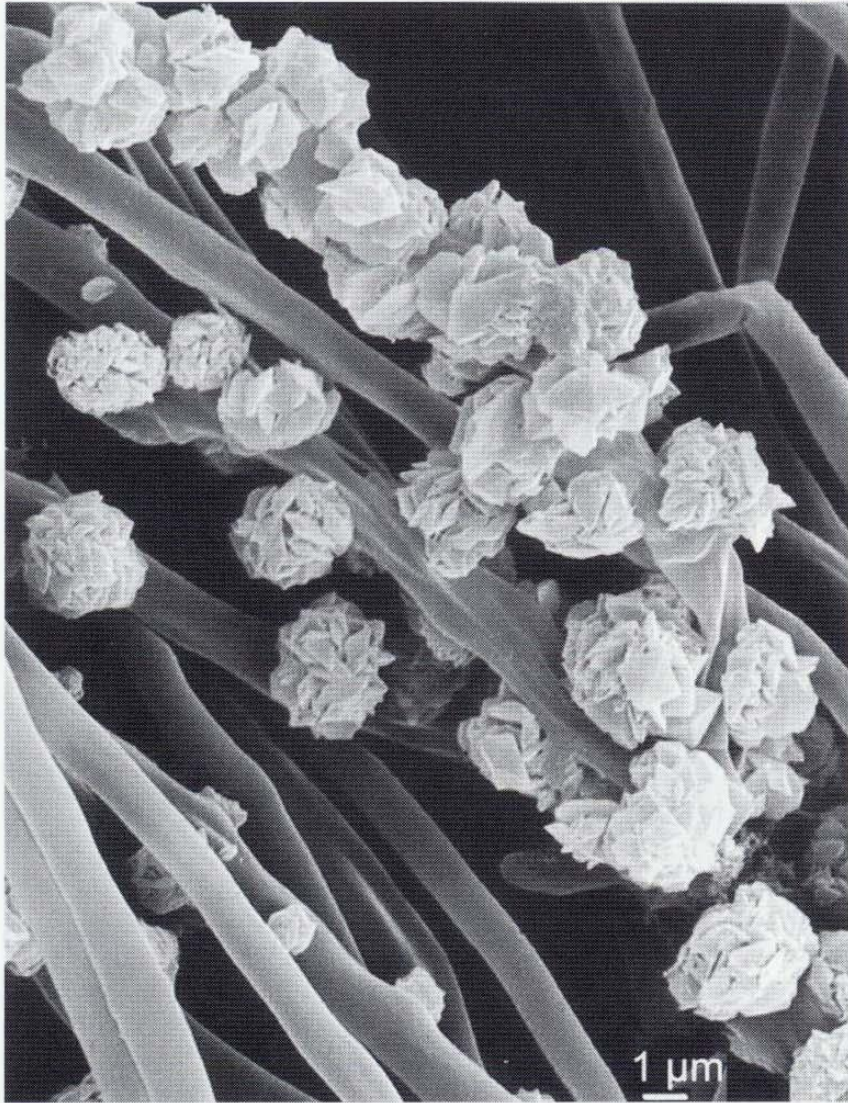


Abb. 327: rosettenförmige Kristalle bei *R. stricta*
Herb. Nr. 781



Abb. 328: rosettenförmige Kristalle bei *R. stricta*
var. *concolor* Herb. Nr. 253



Kuřátka finská – *Ramaria fennica*



Kuřátka rýhovaná – *Ramaria testaceoflava*

13.8 REM-Abbildungen kristalliner Strukturen in den Rhizomorphen

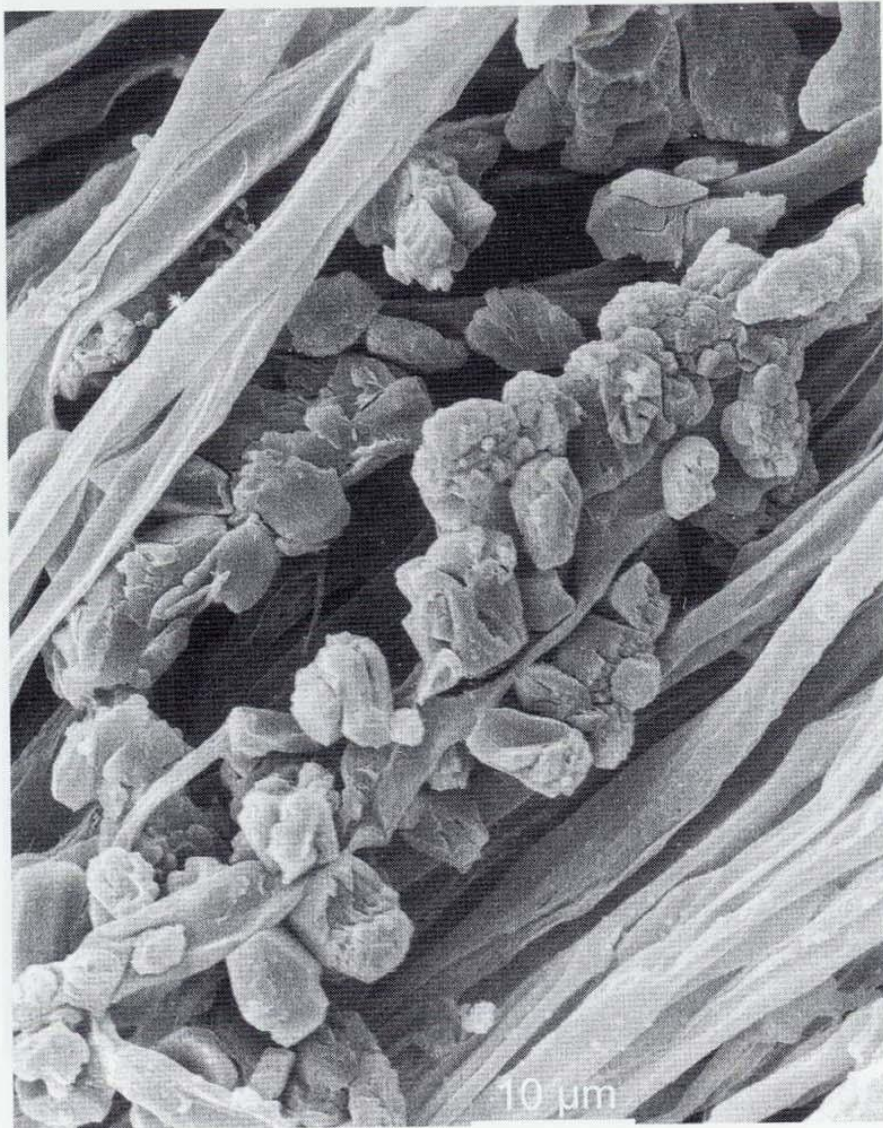


Abb. 323: polymorphe Kristalle bei *R. fennica*
Herb. Nr. 622

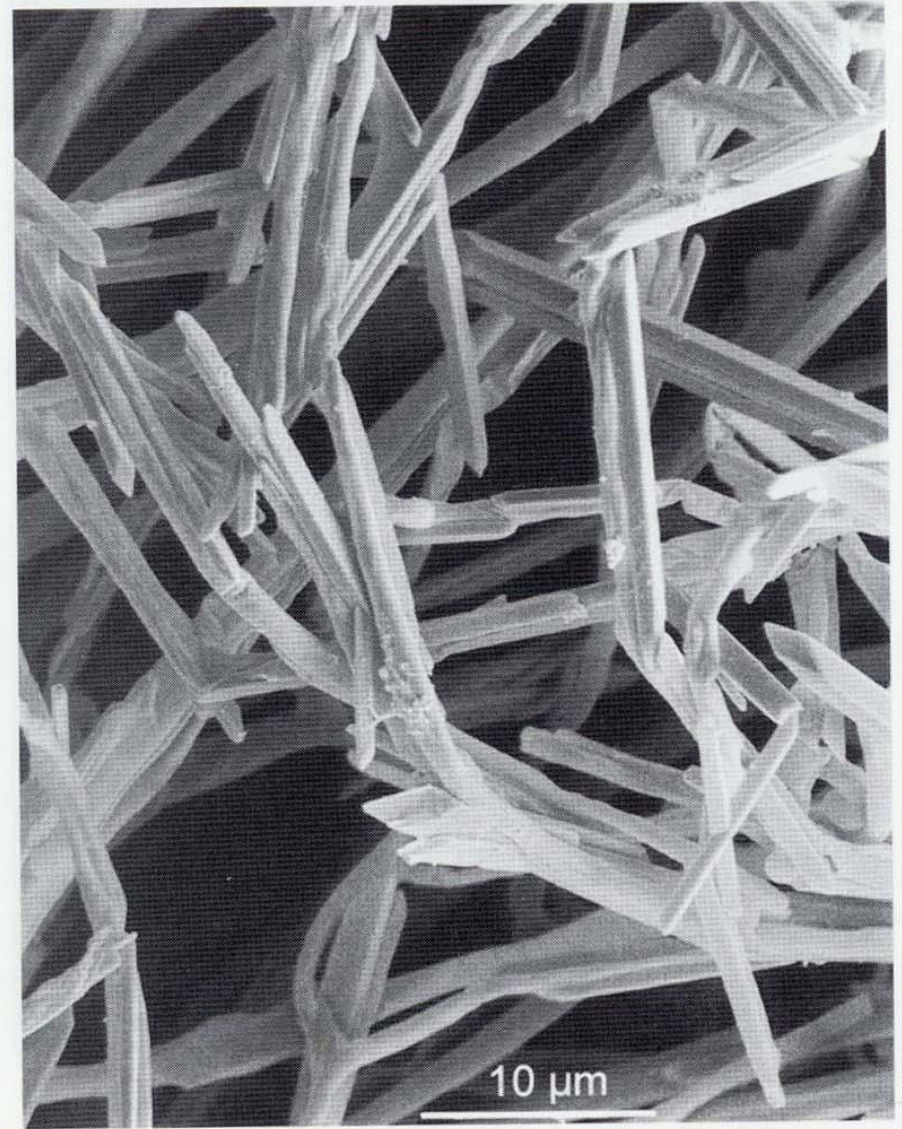


Abb. 324: nadelförmige Kristalle bei *R. testaceo-*
flava Herb. Nr. 129



Abb. 325: rosettenförmige Kristalle in den Rhizomorphen von *R. gracilis* Herb. JC Nr. 387

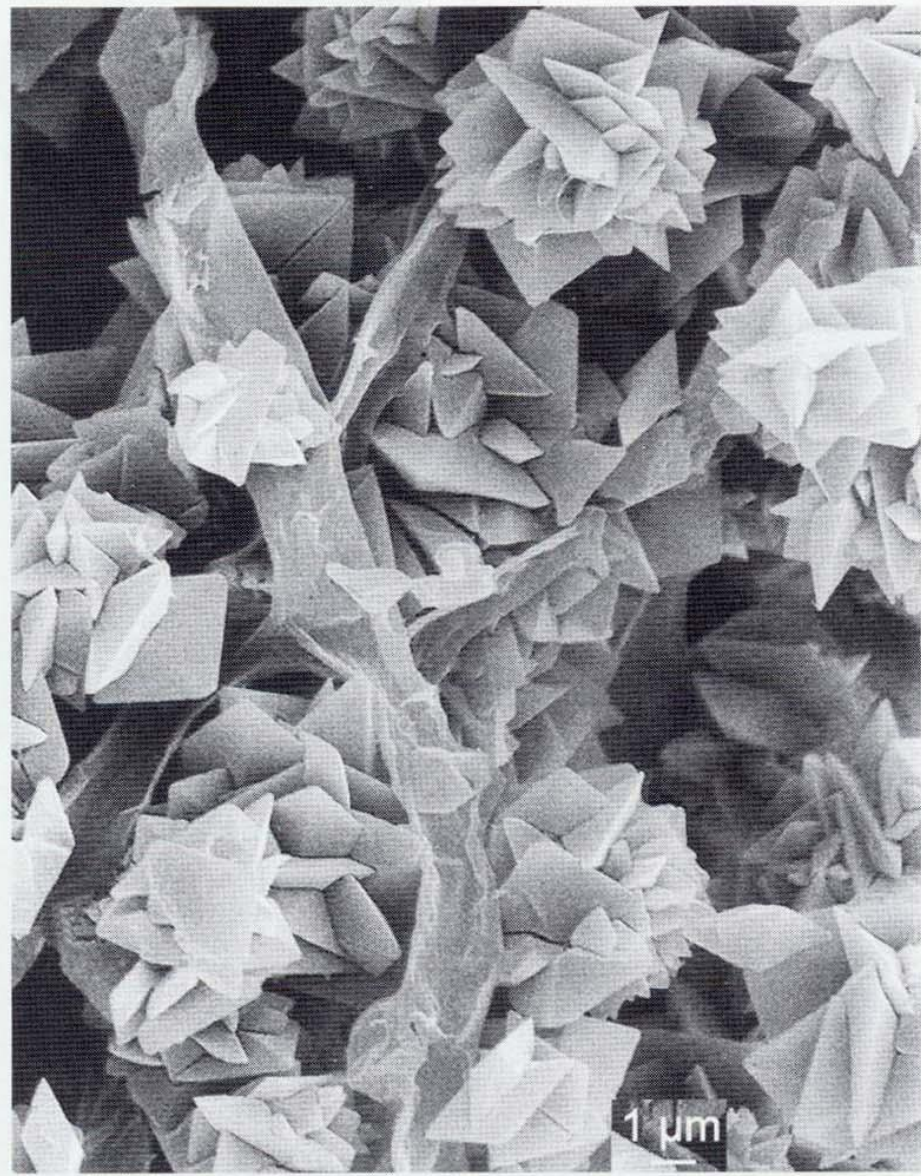


Abb. 326: rosettenförmige Kristalle in den Rhizomorphen von *R. gracilis* Herb. JC Nr. 387



Abb. 331: sternförmige Kristalle mit Asterozystiden bei *R. flacida* Herb. Nr. 209

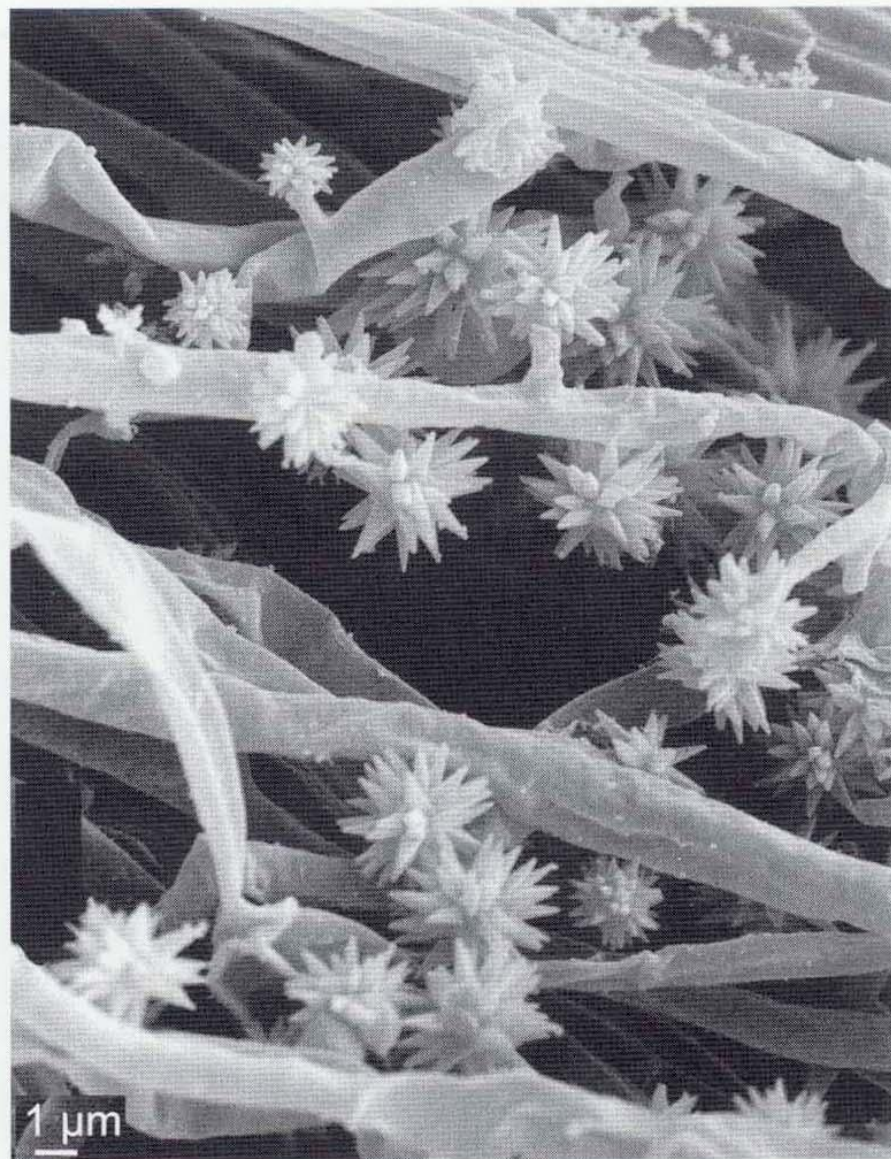


Abb. 332: sternförmige Kristalle mit Asterozystiden bei *R. flacida* Herb. Nr. 209

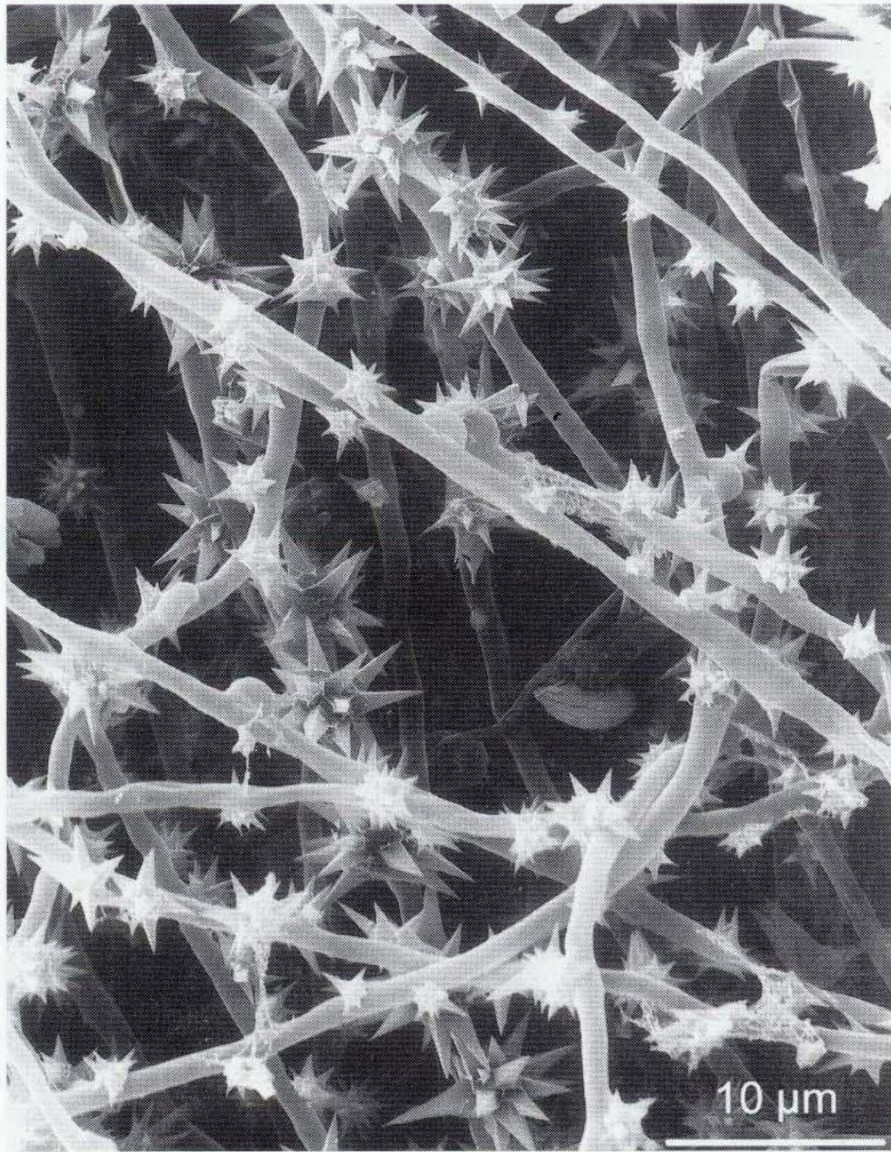


Abb. 329: sternförmige Kristalle ohne Asterocystiden bei *R. subdecurrens* Herb. Nr. 270

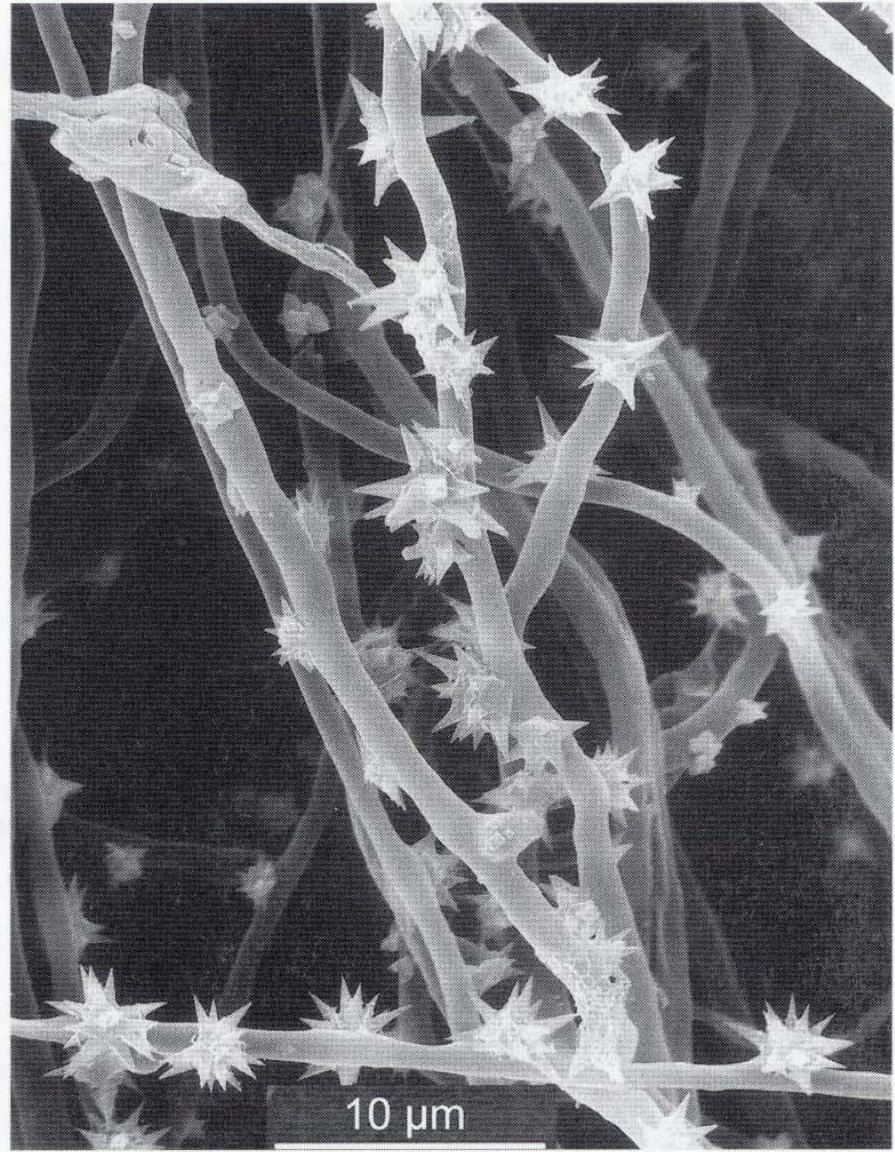


Abb. 330: sternförmige Kristalle ohne Asterocystiden bei *R. subdecurrens* Herb. Nr. 270



Abb. 333: sternförmige Kristalle bei *R. flacida*
Herb. Nr. 209

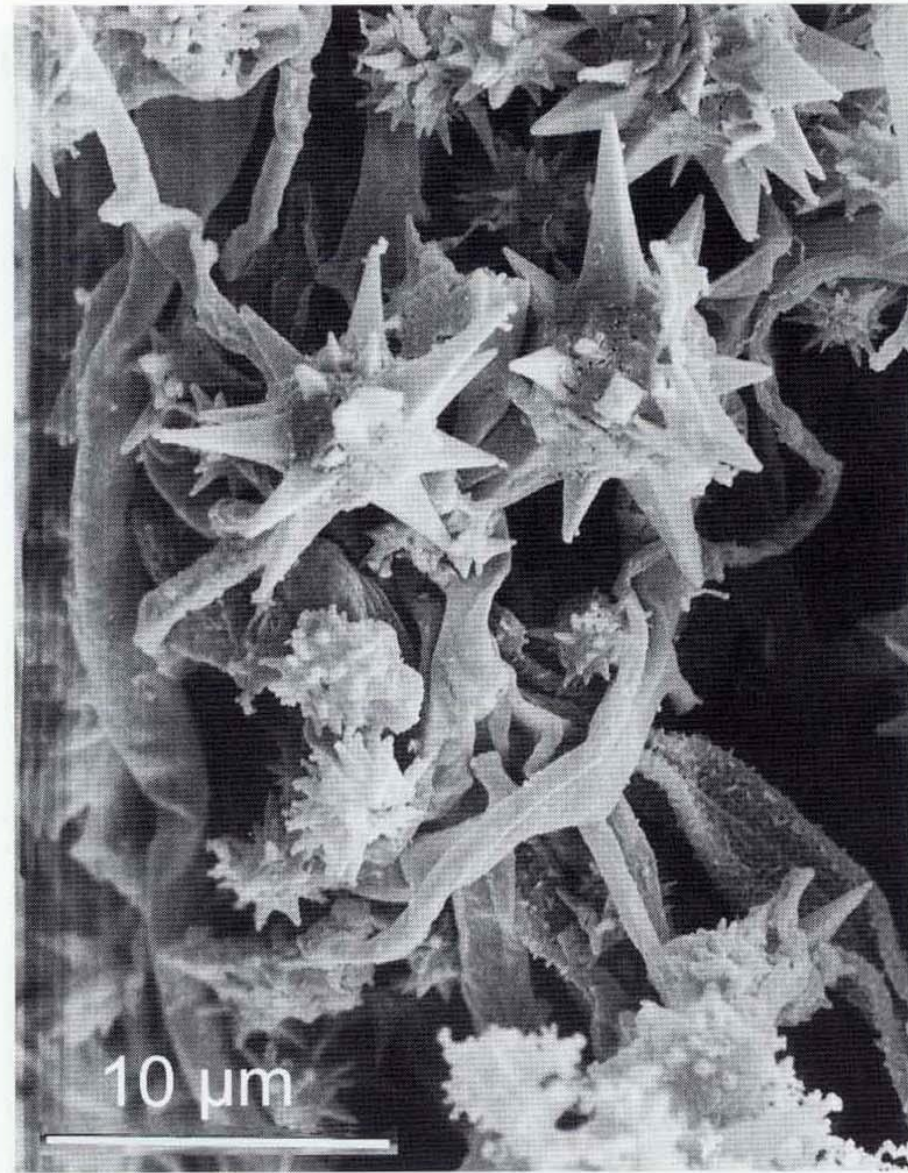


Abb. 334: sternförmige Kristalle bei *R. flacida*
Herb. Nr. 209

Další houby s krystaly v plodnicích

Velké množství hub rostoucích na dřevě vytváří krystaly a krystalické agregáty v plodnicích – zřejmě je to způsob, jak se vypořádat s nadbytkem Ca (šřavelan vápenatý).



Trechispora mollusca (Basidiomycota, Hydnodontaceae)

Rod *Trechispora*: Energy dispersive X-ray microanalysis shows that crystals on hyphae in 3 species contain calcium, presumably as calcium oxalate. In each species, crystals show a different and constant morphology which seems to be under genetical control. Crystal morphology is the most reliable separating character.

Larsson K.-H. (1994): Poroid species in *Trechispora* and the use of calcium oxalate crystals for species identification. *Mycol Res* 98: 1153–1172.

Další houby s krystaly v plodnicích

Dále mnoho druhů z rodu vláknice – *Inocybe* (ECM), hvězdovka – *Geastrum* (SAP) a křehutka – *Psathyrella* (SAP) vytváří krystaly šťavelanu vápenatého v plodnicích.

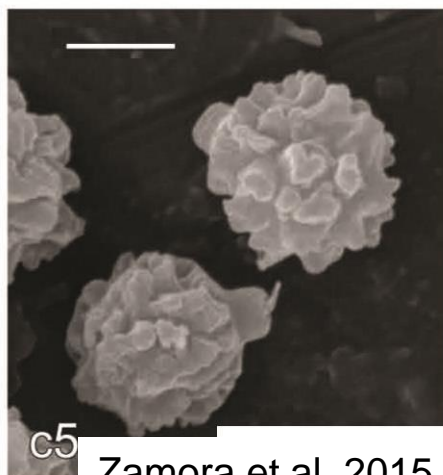
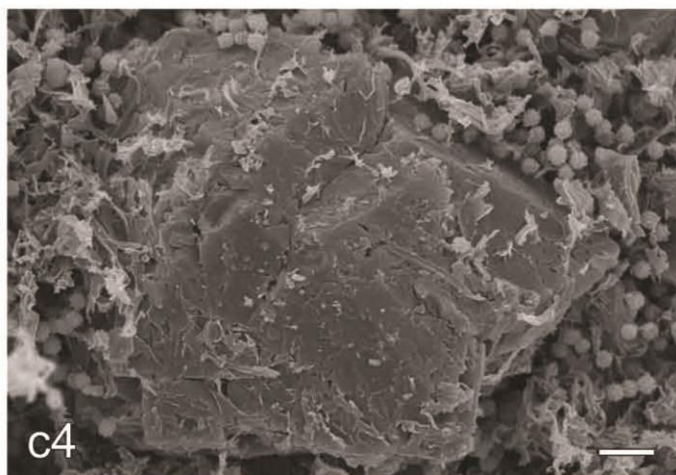
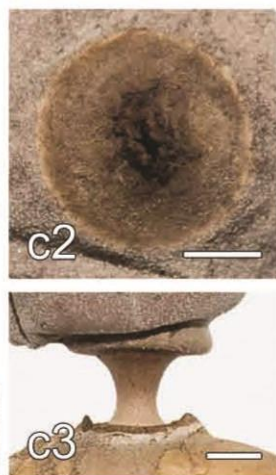
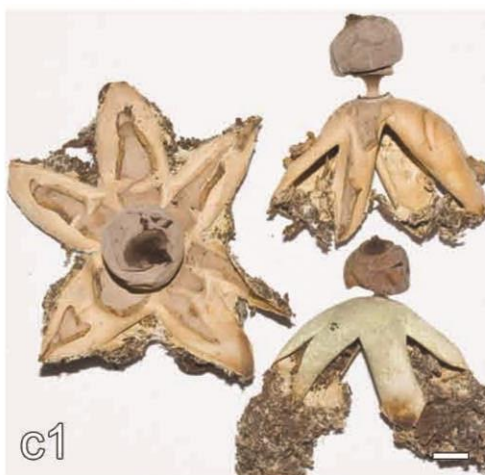
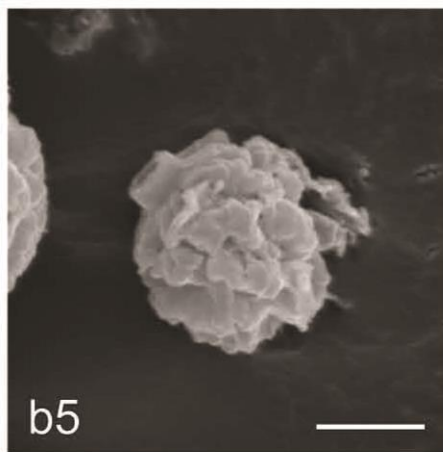
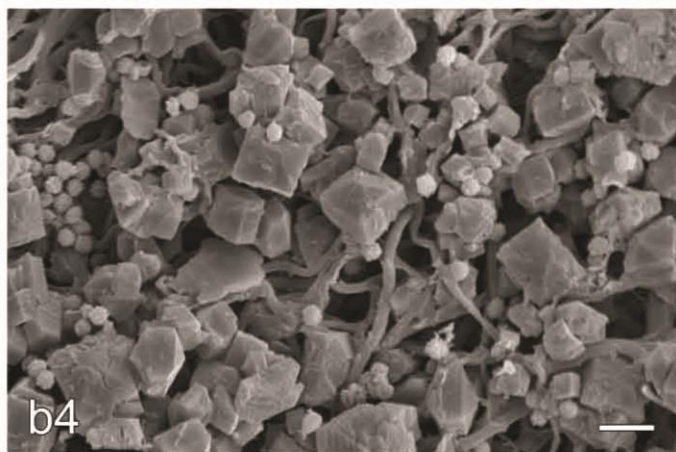
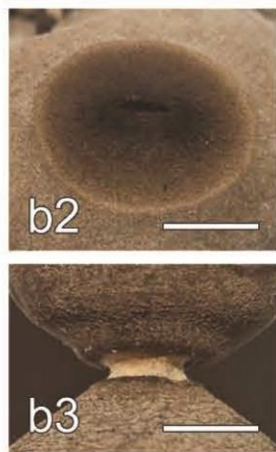
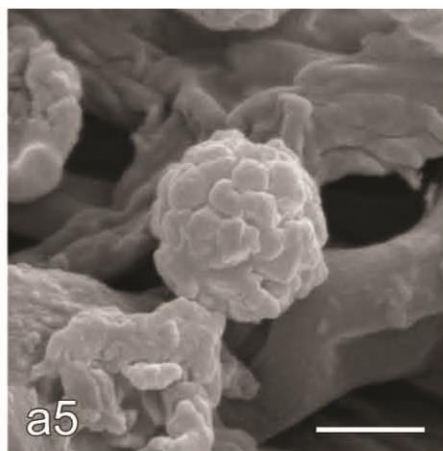
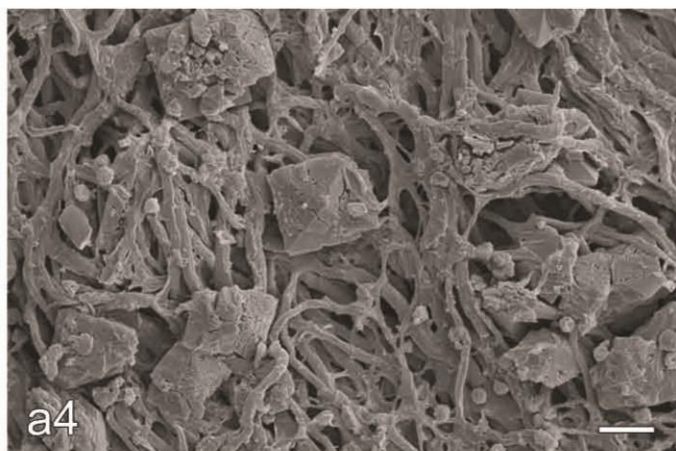
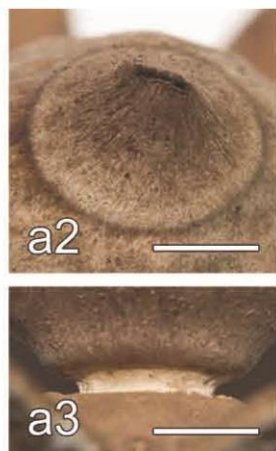


Inocybe cincinnata



Hvězdovka – *Geastrum* sp., Malajsie





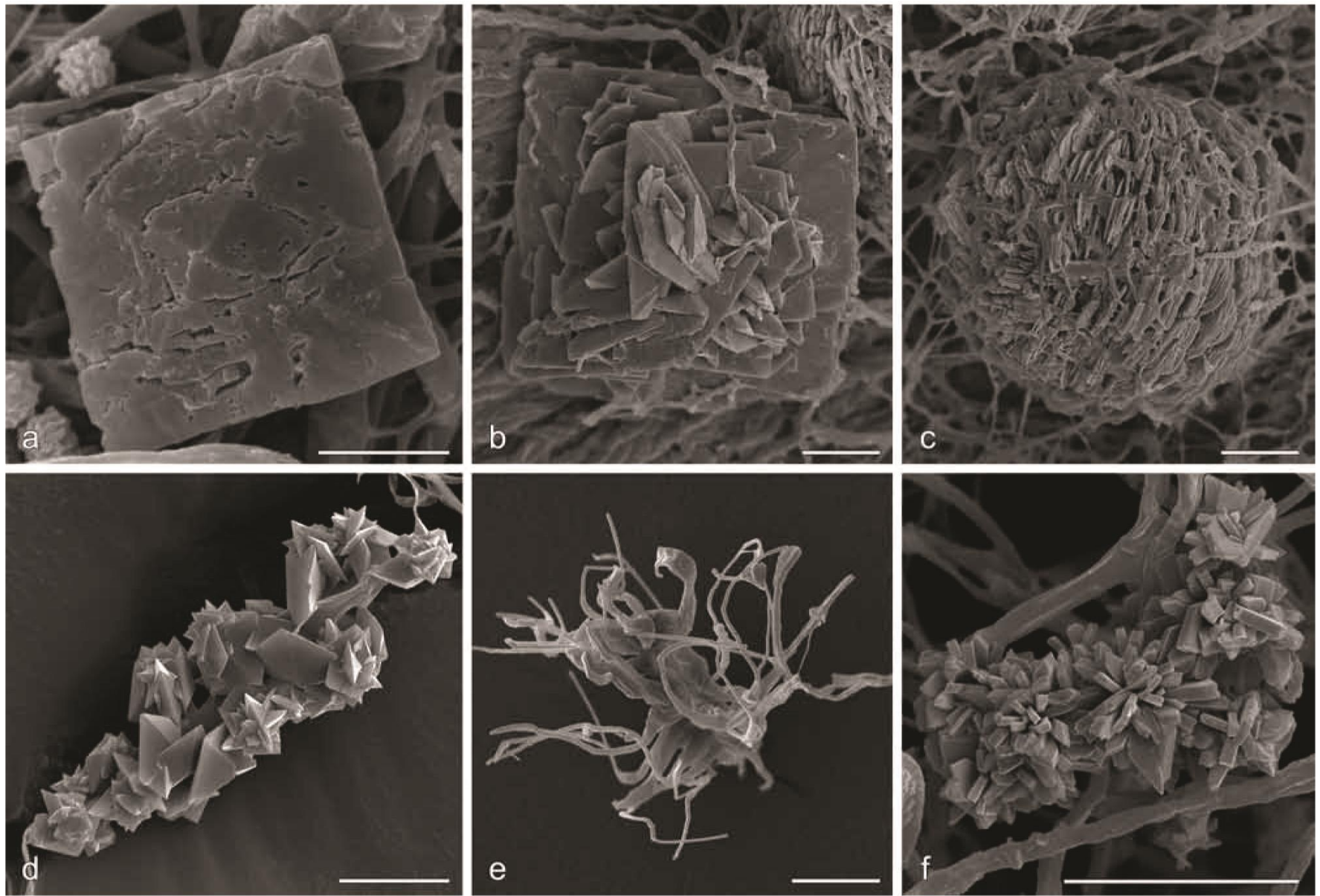


Fig. 2 Mesoperidial and rhizomorph calcium oxalate crystals. a–c. Mesoperidial crystals: a. *G. marginatum* (MA-Fungi 86669) single bipyramidal crystal of COD; b. *G. kuharii* (MA-Fungi 86913) twined bipyramidal crystals of COD; c. *G. kuharii* (MA-Fungi 86913) crystalline aggregate of COM scales. — d–f. Rhizomorph crystals: d. *G. parvistriatum* (Zamora 539) cystidioid cell covered by bipyramidal crystals of COD, some grouped in rose-like aggregates; e. *G. coronatum* (Zamora 484) arachnoid aggregate of thin horn-like COM crystals; f. *G. leptospermum* (lectotype) oblique prisms of COM grouped in stellate aggregates. — Scale bars = 10 μ m.

Houby a geologické podloží

Výskyt řady druhů hub je vázán na určitý typ geologického podloží, dominantní vliv má zřejmě pH substrátu

- Houby bez specifické vazby na podloží
- Houby vázané na kyselá podloží: žuly, ruly, kvarcity, svory, buližníky, pískovce a jiné sedimenty bez Ca složky.
- Houby vázané na bazická podloží: vápence, dolomitické vápence a dolomity, mramory a dolomitické mramory, bazalty, gabra, amfibolity, hadce/serpentinity, eklogity, spraše a sedimentární horniny s Ca složkou (slínovce, pískovce).

1. Houby bez specifické vazby na podloží

Saprotrofní - terestrické (i lignikolní) druhy.

Mykorhizní druhy.

Všechny typy geologického podloží, kyselé i bazické substráty.



Slizečka kořenující – *Xerula radicata*



Pečárka lesní – *Agaricus silvaticus*



Muchomůrka růžovka – *Amanita rubescens*



Holubinka namodralá – *Russula cyanoxantha*

Mírně kyselá až vápnomilná stanoviště.



Holubinka olivová – *Russula olivacea*

2. Houby na kyselých podložích a substrátech (acidofilní druhy)

Kyselý substrát se někdy může vyvinout i na karbonáty bohatých horninách (např. opuky) postupným odvápněním (tj. vymytím Ca iontů srážkami); postiženy bývají vrcholové partie. Smrčiny na vápencích = kyselá reakce v organické vrstvě půdy.

? Saprotrofové

Mykorhizní houby





Holubinka hlínožlutá – *Russula ochroleuca*



Holubinka páchnoucí – *Russula subfoetens*



Hřib hnědý – *Imleria badia*



Čirůvka sálající – *Tricholoma aestuans*



Muchomůrka plavá – *Amanita fulva*

Pavučince, podrod *Dermocybe*



Pavučinec oranžovolupenný – *Cortinarius malicorius*



Pavučinec červenošupinný – *Cortinarius bolaris*



Pavučinec kozlí – *Cortinarius traganus*

3. Houby na bazických podložích a substrátech (bazifilní druhy)

Bazifilní houby: na bazických horninách, ale také na stanovištích s živinami bohatým humusem typu mull (květnaté bučiny s jedlí).

Kalcifilní houby: vázané na vápence a mramory, popř. dolomity a dolomitické mramory, sedimenty s Ca složkou (opuka) nebo synantropní stanoviště bohatá na vápník.

Saprotrofové, hlavně terestriční (? obligátnost vazby)



Pečárka tlustonohá – *Agaricus litoralis*



Pečárka máslová – *Agaricus butyreburneus*

3. Houby na bazických podložích a substrátech (bazofilní h.)

Hlavně mykorhizní houby

Neexistují podrobné studie, které by se problematikou zabývaly – např. bazofilní (bazalt, gabro) vs. kalcifilní (vápenec, vápnité sedimenty)

vápnitý (obsahující CaCO_3) vs. **vápenatý** (Ca^{2+})

Velké skupiny některých rodů vázány na bazické podloží:

Cortinarius (hlavně tzv. podrod *Phlegmacium*)

Russula, *Hygrophorus*, *Tricholoma*, *Amanita*, *Rubroboletus*
a další



Holubinka smrdutá – *Russula foetens*



Holubinka vínově hnědá – *Russula vinosobrunnea*



Pavučinec – *Cortinarius olearioides*



Pavučinec habrový – *Cortinarius pseudovulpinus*



Pavučinec Meinhardův – *Cortinarius meinhardii*



Pavučinec olivový – *Cortinarius infractus* agg.



Čirůvka růžovotřenná – *Tricholoma basirubens*



Muchomůrka ježatohlavá – *Amanita solitaria*



Hřib satan – *Rubroboletus satanas*



Hřib skvrnitý – *Hemileccinum depilatum*



Cereňice

Poříčko

Malovice

Dráhnovice

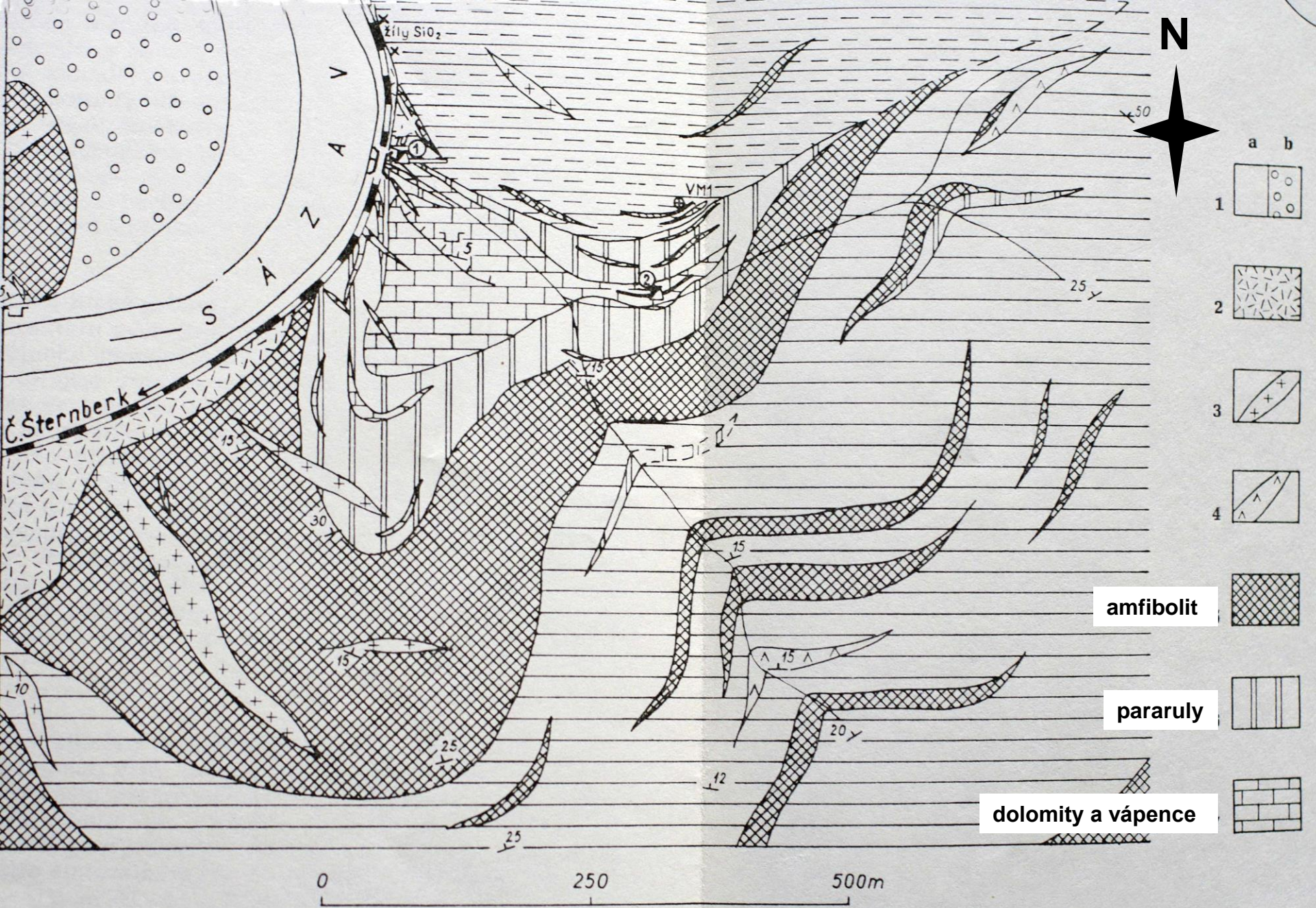
Český Sternberk

Prácheň

Nový Dvůr

Z. Čes. Sternberk st.

Sternov



- a b
- 1
- 2
- 3
- 4
- amfibolit**
- pararuly**
- dolomity a vápence**



Baňka veľkokališná – *Sarcosphaera crassa*



Pavučinec habrový – *Cortinarius pseudovulpinus*



Pavučinec olivový – *Cortinarius infractus* agg.



Šťavnatka oranžová – *Hygrophorus pudorinus*

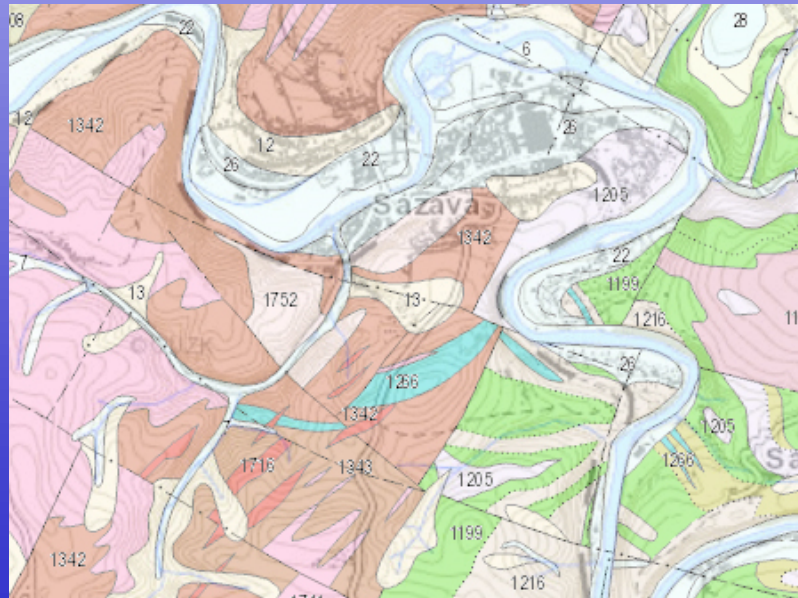


Kališník obecný – *Helvella acetabulum*

3. Houby na bazických podložích a substrátech – synantropní stanoviště

Stanoviště ovlivněná lidskou činností: depozice Ca (prach z těžby, vápnění lesů a rybníků, splach bohatý na Ca^{2+} , malta (staré zdivo).

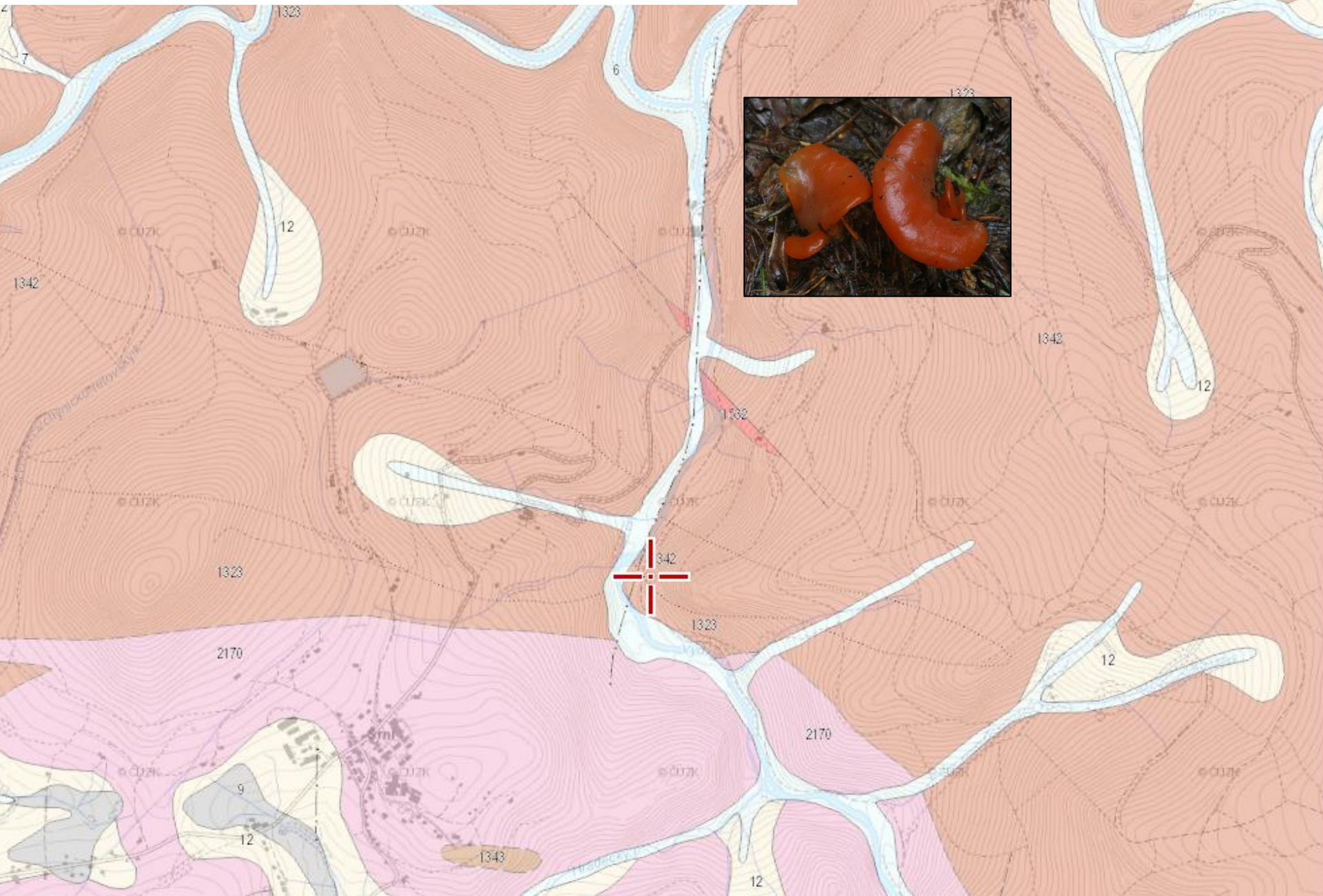
Houby mají schopnost najít v krajině i velmi malé anomálie.





Kališník obecný – *Helvella acetabulum*

Povydrží – kyselá horniny





Rosolovec červený – *Tremiscus helvelloides*

Houby a struktura substrátu

Saprotrofní houby – záleží na přítomnosti a formě vhodného humusu. Některé houby osidlují organikou bohaté, ale de facto minerální substráty (*Agaricus* spp.), Ah horizont.

Mykorrhizní houby – vzhledem k výživě mohou růst i na skalním minerálním substrátu, často prakticky bez humusové vrstvy (*Pisolithus*, *Astraeus*, *Inocybe*).

Psammofilní houby – houby rostoucí na písčitéch stanovištích (např. *Agaricus*).

Pečárka zápašná – *Agaricus xantherodermus*





Vláknice Bongardova – *Inocybe bongardii*

Ryzec pravý (borový) – *Lactarius deliciosus*



Hvězdák vláhojevný – *Astraeus hygrometricus*





Pečárka – *Agaricus dunensis*

Houby a struktura substrátu

Houby samy **ovlivňují fyzikálně chemické vlastnosti** půdy (kolonizovaná půda má při vyschnutí jinou strukturu než sterilní). Spojují částice hyfami a zároveň vylučují látky (myceliální exudáty), které způsobují agregaci částic, jsou hydrofobní nebo obtížně rozložitelné (např. **melanin** nebo **glomalin**), chemicky atakují povrch minerálů, což vede k tvorbě pórů atd.

***Melanin** je tmavá makromolekulární sloučenina, chemicky i biologicky velmi odolná (odolává lytickým enzymům, obtížně rozpustná). Lanýž černovýtrusý – Tuber melanosporum.*

***Glomalin** je glykoprotein produkovaný **arbuskulárními** mykorhizními houbami. Je to součást organické půdní hmoty, spojuje minerální částice, vznik drobných agregátů, vliv na kvalitu půdy. Rod Glomus.*

Glomalin – Truths, myths, and the future of this elusive soil glycoprotein

Jiří Holátko^{a,b}, Martin Brtnický^{a,b,c}, Jiří Kučerík^c, Michala Kotianová^d, Jakub Elbl^{e,f},
Antonín Kintl^{b,f}, Jindřich Kynický^g, Oldřich Benada^d, Rahul Datta^b, Jan Jansa^{d,*}

^a Institute of Geology and Pedology, Faculty of Forestry and Wood Science, Mendel University in Brno, Zemědělská 3, 61300, Brno, Czech Republic

^b Department of Agrochemistry, Soil Science, Microbiology and Plant Nutrition, Faculty of AgriSciences, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 61300, Brno, Czech Republic

^c Institute of Chemistry and Technology of Environmental Protection, Faculty of Chemistry, Brno University of Technology, Purkyňova 118, 61200, Brno, Czech Republic

^d Institute of Microbiology, Czech Academy of Sciences, Václavská 1083, 14220, Praha, Czech Republic

^e Department of Agrosystems and Bioclimatology, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 61300, Brno, Czech Republic

^f Agricultural Research Ltd, Zahradní 1, 66441, Troubsko, Czech Republic

^g BIC Brno, spol.s.r.o, Purkyňova 648/125, 61200, Brno, Czech Republic

ARTICLE INFO

Keywords:

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)

Extracellular polymeric substances (EPS)

Glomalin-related soil proteins (GRSP)

Glycoprotein

Microorganism

Soil organic matter (SOM)

ABSTRACT

The term “Glomalin” was originally used to describe a hypothetical gene product of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) that was assumed to be a nearly ubiquitous, thermostable and highly recalcitrant glycoprotein, deposited in soils in large amounts, and deemed to indicate soil health and quality. It was defined operationally as the fraction of soil organic matter (SOM) extractable by a hot citrate buffer and assessed either by Bradford assay or by cross-reactivity with monoclonal antibody MAb32B11. Later, it was recognized that the extracts contained a variety of compounds, including some of non-AMF origin, cross-reactive with both Bradford assay and the monoclonal antibody. This led to re-describing the pertinent (and still only operationally defined) SOM as “glomalin-related soil proteins (GRSP)”, albeit without any substantial change in the underlying concepts. Consequently, a great deal of confusion in this area arose among researchers in soil, plant, and environmental sciences. Glomalin or GRSP (often used interchangeably) has previously been linked to various soil features, including stability of soil aggregates, size of soil C and N pools, sequestration of heavy metals, and alleviation of various plant stresses. GRSP concentrations in soil often, but not always, have been correlated with AMF biomass measured by alternative (mainly microscopic) approaches. GRSP formation, deposition, and/or decomposition in soils seem to be largely dependent on a multitude of interactions among plants, AMF, and other soil microorganisms, including prokaryotes. The chemical structure of GRSP extracted from soil remains unclear and generally complex. That is due to the unspecific mode of its extraction and purification, as well as the great variety of analytical approaches that have been used heretofore to assess it. Future research needs to elucidate the exact composition of this operationally defined SOM fraction, the controls over its production and accumulation in soils, and its exact role in soil ecology generally and soil food webs in particular. Furthermore, novel and independent tools should be established to more specifically (as compared to current glomalin assays) assess AMF biomass and functioning in roots and soil and its involvement in soil processes.

Houby a geochemie substrátu

Výskyt řady druhů hub je vázán na specifickou geochemii substrátu:

Nitrofilní: (saprotrofní) houby s vazbou na N-bohatá stanoviště

Amoniové houby: houby s vazbou na močovinu a rozkládající se tkáň obratlovců, pH neutrální až alkalické

Koprofilní: (saprotrofní) houby rostoucí přímo na výkalech

Halofilní: saprotrofní houby rostoucí na zasolených půdách

Antrakofilní: houby rostoucí na spáleništích

Mykorrhizní houby se obvykle vyhýbají místům s vysokým obsahem N (eutrofním stanovištěm).





POZOR!
ELEKTRICKÝ
OHRADNÍK

Kamir & Co.

INFORMACE ☎ 565 442 959
www.kamir.cz



Pýchavka obrovská – *Calvatia gigantea*



Pečárka polní – *Agaricus campestris*





Čirůvka zašrcená – *Calocybe (Tricholomella) constricta*



Tmavobělka žlutavá – *Melanoleuca cognata*

Slzivka kořenující
Hebeloma radicosum,
dříve rod *Myxocybe*
(nepotvrzeno molekulárně)

Prokázána asociace výskytu
plodnic s krtinami

prof. Naohiko Sagara

Houba vyrůstá z latrín krtků.

Podobných druhů rodu
Hebeloma je více (*H.*
radicosoides, *H.*
vinosophyllum...) a byly
zjištěny vazby i na další
drobné obratlovce
(*Apodemus*).

? Mykorhizní symbióza.

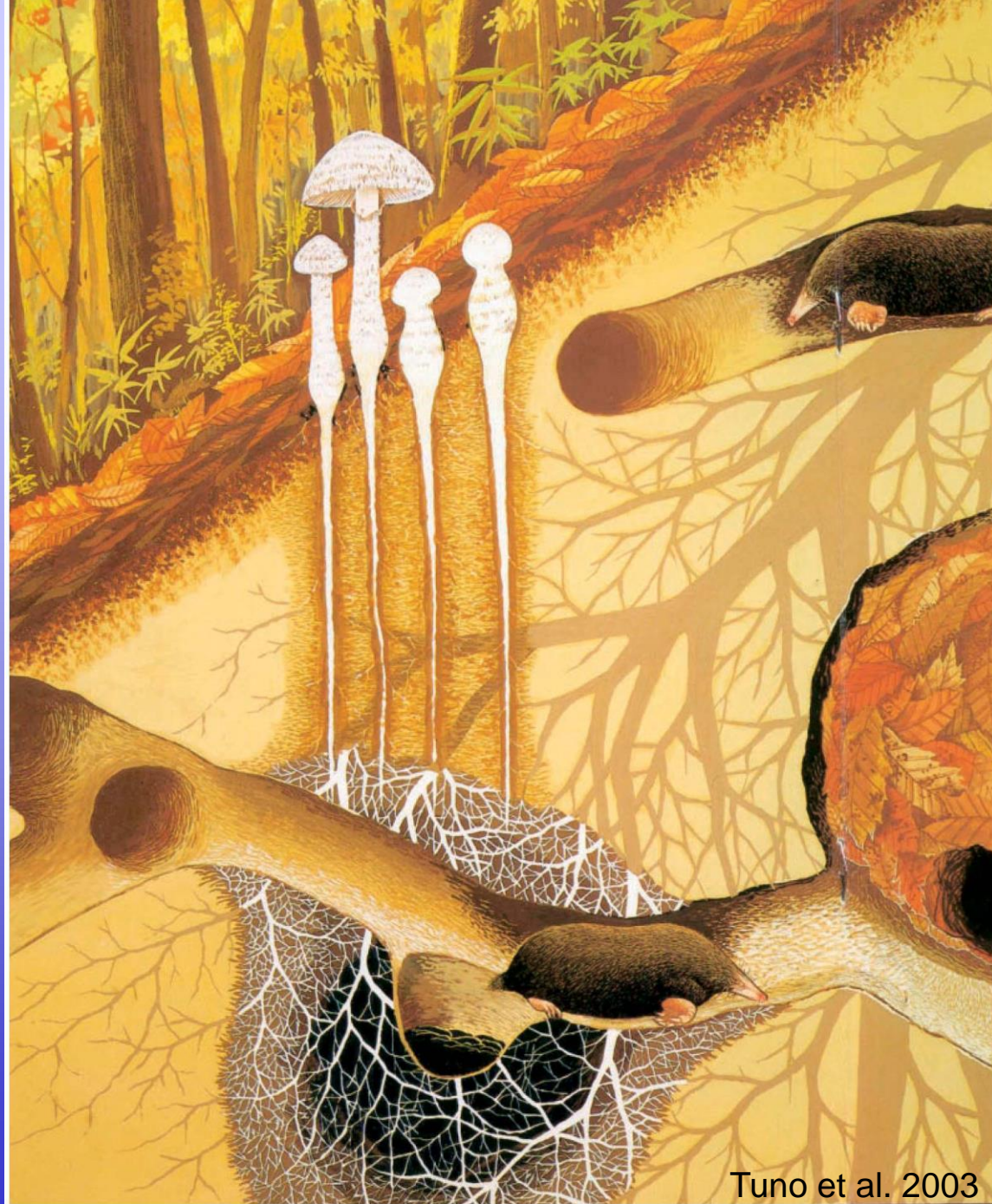


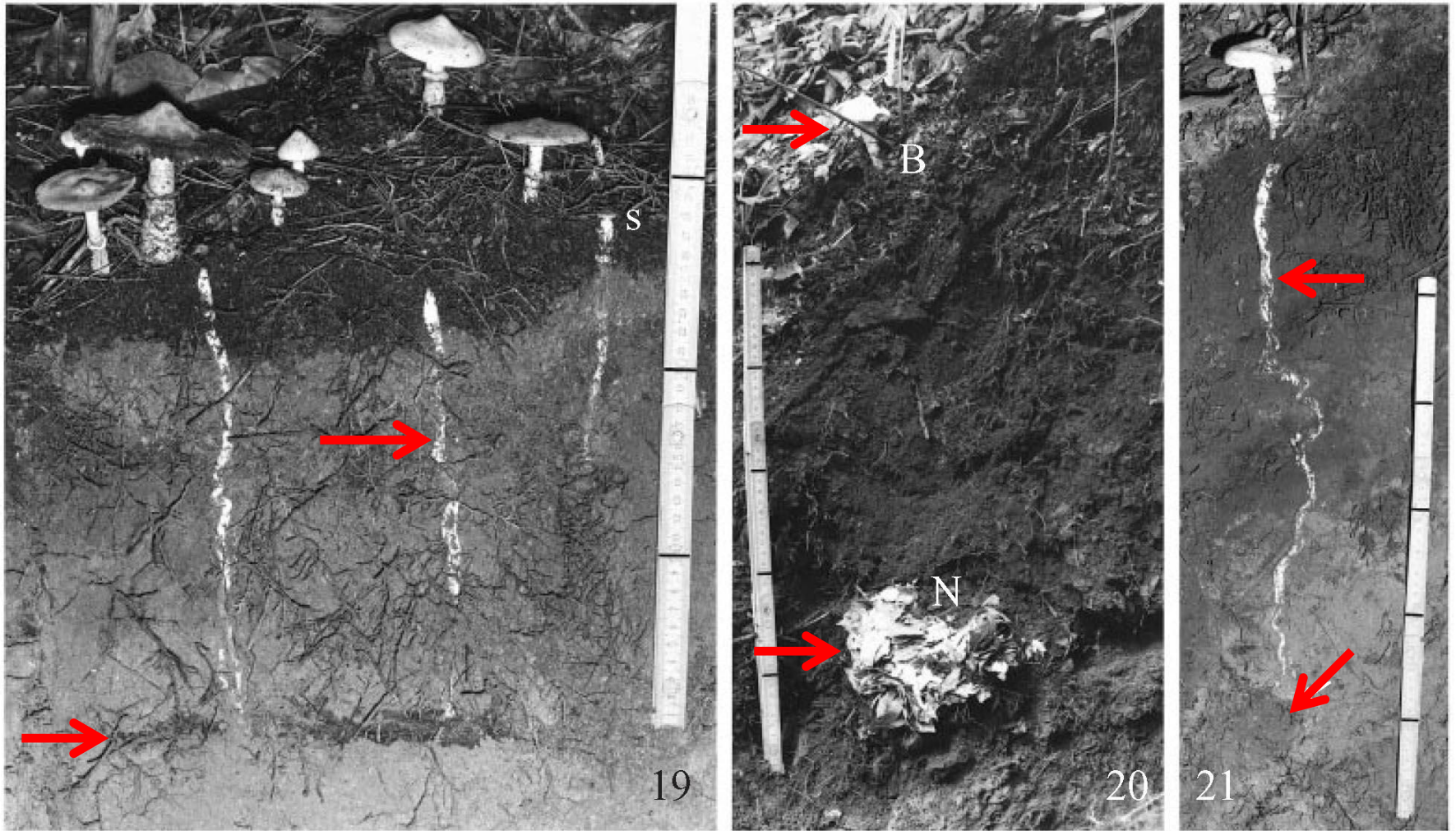
Fig 1 *Hebeloma radicosum* and its association with a mole latrine (by permission of the artist, Sakae Takayama).

Slzivka kořenující – *Hebeloma radicosum*





Slzivka kořenující – *Hebeloma radicosum*



Figs 19–21. Ecological features of *Hebeloma radicosoides* and *H. radicosum*. **Fig. 19.** *H. radicosoides* fruiting on a buried mixture of urea and litter, with long rooting stipes (3 cm thickness of L and L–F horizons, collected from the surrounding area, and 62.5 g of urea were buried together at the 25 × 25 cm bottom (arrow) of a 30 cm deep hole in a *Pinus densiflora*-*Quercus serrata* mixed forest, Otsu City, Shiga Pref., on 14 Jan. 1983; photograph on 17 Oct. 1983; s = *H. spoliatum*). **Figs 20, 21.** *H. radicosum* fruiting on a mole's deserted midden: **Fig. 20.** Basidioma (B) beside the mole's nest (N); **Fig. 21.** The same basidioma, having grown on the midden around a tunnel (arrow) in the vicinity of the nest. Thick lines on the scale at 10 cm intervals.



Figure 4.11 Soil profile showing *Hebeloma radicosum* (fallen) fruiting out of the deserted latrines (L) near the nest (N) of a mole; stick indicates occurrence a little before of another fruit body. The folded scale is 51.5 cm long. Place and date: *Quercus* forest, Hiroshima, Japan, November 11, 2000. Mole species concerned: possibly *Mogera imaizumii*. There is no other way than using this fungus to locate a mole's nest unless radio-tracking techniques are used.



Figure 4.7 *Hebeloma vinosophyllum* (arrowhead) fruiting beside the skull of an abandoned domestic cat body. The wrapped body seemed to have initially been buried 80–90 cm away but to have been dug out and moved by some animals. Place and date: *Quercus* forest, Hyogo, Japan, September 20, 1989. The folded scale is 51.5 cm long.

Kropenatec prstenitý –
Panaeolus semiovatus





Límcovka polokulovitá – *Protostropharia semiglobata*

Výskyt některých koprofilních druhů byl zaznamenán po celém světě – např. některé druhy límcovek a lysohlávek rostou jak v Evropě, tak v Americe. Proč?



Límčovka severní – *Stropharia alcis*



No bull: dung-dwelling mushrooms show reproductive trait syndromes different from their non-coprophilous allies

Hans Halbwachs¹  · Claus Bässler^{1,2} 

Received: 10 June 2020 / Revised: 27 June 2020 / Accepted: 30 June 2020

© German Mycological Society and Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2020

Abstract

The spores of most coprophilous mushrooms require passage through a mammalian gut. Guts and faeces constitute a chemically and microbially aggressive environment. Hence, the spores need to be armed, e.g. by melanisation and thick walls, possibly leading to large spores due to volume constraints. Conversely, litter is a less stressful substrate that may become colonised by mushrooms with less fortified spores. Compared with litter, dung pats are spatially constrained, which limits mycelial growth. Small mycelia can only produce small fruit bodies. Moreover, on quickly perishing faeces, fruiting takes place under fierce competition by microbes and dung-dwelling invertebrates. Therefore, coprophilous mushrooms are forced to mature fast, implying small fruit bodies as well. Competition in spatially less constrained litter substrates can be pronounced but should not lead to quick nutrient depletion as in dung, hence would allow for mushroom assemblages with on average larger fruit bodies. To find evidence for our assumptions, we compiled a database of fruit body and spore sizes of mushroom genera which contain coprophilous species, comprising 633 (including ca. 20% coprophilous) species across 18 genera worldwide. The data set was subjected to a phylogenetically informed statistical analysis. Our hypotheses were confirmed though the selective pressure of the faecal environment appears to be more forceful on spores considering the fact that the mean spore size differences are more pronounced than differences in mean fruit body size. It would be worthwhile to further elucidate this phenomenon and the coprophilous trait syndrome in general with molecular methods.

Houby a geochemie substrátu

Halofilní: saprotrofní houby rostoucí na zasolených půdách

- přirozená stanoviště (duny na mořském pobřeží, slaniska)
- synantropní stanoviště (města, příkopy u silnic)



Pečárka herinková – *Agaricus bernardii*





Pečárka herinková – *Agaricus bernardii*



Houby a geochemie substrátu

Antrakofilní: houby rostoucí na spáleništích (alkalická reakce, vysoká biodostupnost prvků (Ca, Mn))

- saprotrofní, ale i (?) mykorrhizní druhy
- postupná fruktifikace různých druhů dle stáří spáleniště
- ESCAPE strategy?

1/ lesní požáry

2/ ohniště (zejména po pálení větví po těžbě)







Šupinovka spáleníštní – *Pholiota highlandensis*

Kořenitka nadmutá – *Rhizina undulata*



Řubkatec pohárovitý – *Coltricia perennis*





Penízovka spáleníštní – *Tephrocycbe anthracina*



Chřapáč černý – *Helvella corium*

Kržatka hořká – *Alnicola amarescens*





www.luterra.com

langdoncook.com

Smrž – *Morchella* sp.



Foto D. Marounek

Smrž – *Morchella* sp.



Foto D. Marounek

Smrž koromilný – *Morchella importuna*



Houby a geochemie substrátu

Mykorhizní houby: citlivost na dusík

Eutrofizace: proces obohacování prostředí živinami (N, P)

Oxidy dusíku (NO_x): acidifikace i eutrofizace, vznik oxidací atmosférického N při spalovacích procesech, oxidace produktů látkové výměny živočichů. Význam N: terestrické i vodní ekosystémy. Význam fosforu hlavně ve vodách.

Druhy citlivé na zvýšené koncentrace N: obvykle uváděny lošákovité houby, tj. rody *Hydnellum*, *Bankera*, *Phellodon*

Dále houby na živiny chudých travnatých ploch: závojenky – *Entoloma* spp. (podrod *Leptonia*) a voskovky – *Hygrocybe* spp.

[Vesterholt J, Asman WAH, Christensen M (2000) Kvaelstofnedfald og tilbagegang for svampe på mager bund. *Svampe* 42:53–60]

Macrofungus communities correlate with moisture and nitrogen abundance in two old-growth conifer forests, Olympic National Park, Washington, USA

Steven A. Trudell and Robert L. Edmonds

Abstract: We characterized the epigeous macrofungus communities in two old-growth conifer forests by collecting sporocarps. Despite the similarity in dominant tree species in the two forests, the macrofungus communities were very different. At the drier, nitrogen-poor Deer Park area, the macrofungi were dominated by ectomycorrhizal species in the genera *Cortinarius*, *Tricholoma*, *Hydnellum*, *Suillus*, and *Sarcodon*. At the wetter, higher nitrogen Hoh Valley, the macrofungi were characterized by ectomycorrhizal species in different genera, such as *Inocybe*, *Russula*, *Amanita*, *Boletus*, and *Phaeocollybia*, and saprotrophic fungi accounted for a greater proportion of the community. Species richness was similar at the two areas, but sporocarp production was much higher at Deer Park. We propose that (i) these community differences developed over a long time; (ii) they are largely related to differences in ecosystem moisture and nitrogen abundance; and (iii) within the ectomycorrhizal fungi, possible causal mechanisms involve mycelial morphology and carbon allocation within the symbioses. The apparent response to relatively small but presumably long-term differences in nitrogen abundance suggests that sporocarp production by macrofungi could be an effective bioindicator and should be considered in determination of critical loads for atmospheric nitrogen deposition to temperate and boreal forests.

Key words: critical nitrogen loads, ectomycorrhizal fungi, macrofungi, macrofungus communities, nitrogen, old-growth conifer forests.

Oligotrofní stanoviště



Lošákovec blankytný – *Hydnellum caeruleum*



Lošákovec rezavý – *Hydnellum ferrugineum*



Čirůvka obrovská – *Tricholoma colossus*



Mycorrhizal mushroom diversity and productivity—an indicator of forest health?

Simon Egli

Depozice N v horských regiónech Švýcarska: 5-20 kg/ha/rok

(2007)

Depozice N v regiónech s intenzivní živočišnou produkci: 60 kg/ha/rok

Od cca poloviny 70. let zjištěn pokles biodiverzity a plodnic ECM druhů v Evropě; saprotrofních druhů se to moc netýká.

Experimenty prokázaly, že aplikace N má tento vliv + snižuje biomasu mycelia ECM hub v půdě. Výjimky: *Paxillus involutus*, *Lactarius rufus*, *Thelephoraceae*.

Může pokles biodiverzity a produkce plodnic indikovat stav lesních ekosystémů?

Mycorrhizal mushroom diversity and productivity—an indicator of forest health?

Simon Egli

Hypotéza: stav lesních dřevin souvisí s jejich schopností poskytovat organické látky ECM symbiontům.

Fellner a Pešková (sledované plochy), Arnolds a Boujon (data z exkurzí) – **sledování poměru ECM/SAP; zjevný pokles ECM hub (1964-1989)**. To se potvrzuje asi i nyní... ALE: důvod není jasný.

„Barevné hříby“ v posledních letech: nárůst počtu i pozorovaných druhů!

(Vlivy: kyselá depozice, N depozice, teplota...)





In this grassland locality the lower part (where it is possible to drive farm machinery) is fertilised and mowed, and it appears deep green in contrast to the upper part which has not been fertilised and appears grey-green to brownish green. The photo shows a part of one of the best *Hygrocybe* localities in Denmark, where 27 species have been recorded, all in the unimproved upper parts.



Voskovka bažinná – *Hygrocybe helobia*

Závojenka – *Entoloma* z podrodu *Leptonia*



Mulching has negative impact on fungal and plant diversity in Slovak oligotrophic grasslands

Miroslav Caboň^{a,1,*}, Dobromil Galvánek^{a,2}, Andrew P. Detheridge^{b,3}, Gareth W. Griffith^{b,4},
Silvia Maráková^a, Slavomír Adamčík^{a,5}

^a Institute of Botany, Plant Science and Biodiversity Centre, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Dúbravská cesta 9, Bratislava 84523, Slovakia

^b IBERS, Aberystwyth University, Aberystwyth, SY23 3DD, NSW, United Kingdom

ARTICLE INFO

Article history:

Available online xxx

Keywords

Soil metabarcoding
Managements
Trophic interactions
Functional diversity
Biomass degradation
Clavariaceae
Hygrophoraceae
Entoloma
Geoglossaceae
Dermoloma

ABSTRACT

Mulching (cutting of vegetation without removal of clippings) is used as a low-cost method for maintaining remote or abandoned grasslands in Slovakia. The likely consequence of mulching is seasonal nutrient enrichment resulting from decomposition of plant litter by saprotrophic organisms. The potential changes in biodiversity of the ecosystem caused by long-term application of mulching are to date only very poorly understood. In order to examine the impact of mulching on soil mycobiota, we compared six different grassland management regimes applied over nine years on a sub-montane oligotrophic *Nardus* pasture in the Central Slovakia. The diversity of soil fungi was assessed using DNA metabarcoding of the ITS2 regions of the nrRNA locus performed by Illumina MiSeq. We focused on a particular group of macrofungi which is characteristic of traditionally managed and undisturbed European grasslands, and which are often the dominant soil fungi in these habitats. These are collectively known as CHEGD fungi (the acronym of the constituent taxa: Clavariaceae, Hygrophoraceae, Entolomataceae, Geoglossaceae and Dermoloma). We compared the relative abundance and diversity of CHEGD fungi with the total fungal and plant diversity. CHEGD fungi were dominant across all management treatments. Although there were no statistical effects of treatments on total fungal richness and diversity, CHEGD fungi and vascular plants diversity and richness were lower on plots where mulching or no management were imposed, suggesting that such management regimes would have a negative impact on grassland fungi. However, no single treatment covered the total CHEGD diversity of the study, indicating that the localized use of mulching in addition to traditional managements can enhance overall diversity of grasslands in the area. Our results also suggest that the impact of mulching depends on the season when the grassland is mulched and it might be reduced by combination with other management treatments. The high relative abundance and sensitivity of CHEGD fungi in oligotrophic grasslands to management treatments makes them excellent indicators of grassland natural quality and is consistent with the ecological importance of this fungal group.

Houby a geochemie substrátu

Olšiny: eutrofizované (indikace: kopřivy) a oligotrofní.
Různé asociace makromycetů.







Olšovka – *Alnicola (Naucoria) citrinella*

Oligotrofni olšiny



Olšovka *Alnicola badia* a pavučinec *Cortinarius pulchellus*

Pavučinec olšinný – *Cortinarius alnetorum*





Holubinka olšinná – *Russula pumila*

Muchomůrka olšinná – *Amanita friabilis*





Ryzec lilákový – *Lactarius lilacinus*

Houby a vodní toky

Některé askomycety rostou na zbytcích dřeva nebo detritu v proudící oligotrofní vodě v lesích, např. míhavka vodní (kmenová) – *Vibrissea truncorum*.



Foto Lucie Zíbarová



Houby na kovy bohatých půdách

1) Přírozená stanoviště

- půdy na peridotitech, resp. serpentinitech
- přírozené anomálie (ložiska kovů a polokovů)

2) Antropogenní znečištění

- těžba rud a jejich zpracování (prašnost, atm. depozice)
- spalování surovin (uhlí, benzín, TKO)
- zpracování kovů (hutnění) aj. průmyslová výroba
- haldy, odkaliště



NÁRODNÍ
PŘÍRODNÍ PAMÁTKA
Hadce u Želivky

Peridotit

Olivín: $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

Pyroxen: $\text{MgCaSi}_2\text{O}_6$

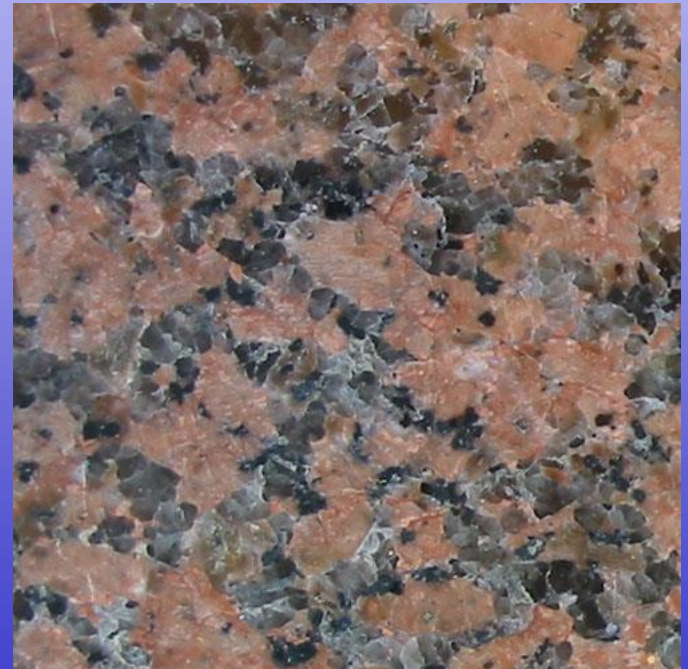


Žula (granit)

Křemen SiO_2

Živec (ortoklas) KAlSi_3O_8

Muskovit $\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$



Peridotit

Další významné prvky:

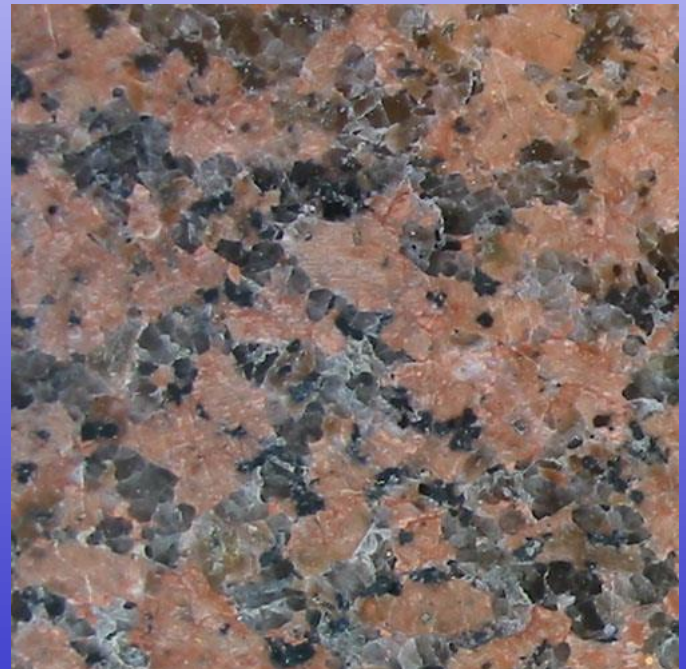
Ni, Cr



Žula (granit)

Další významné prvky:

(litofilní, např. Rb, Na, Cs...)



Hadec (serpentinit)

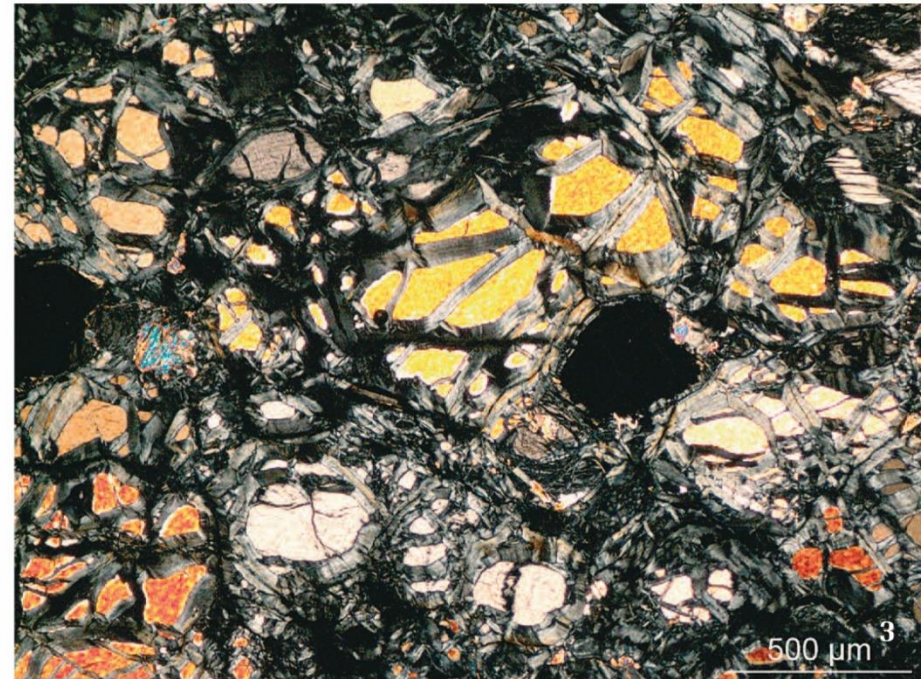
Druh metamorfované horniny, vznik metamorfózou peridotitu. Skládá se ze serpentinu, magnetitu, granátu, pyroxenu a amfibolu.

Vysoké koncentrace Mg, Ni, Cr a Fe v půdách – „exotické“ podloží, toxicita pro řadu rostlin.



Hadec (serpentinit) za své české i latinské jméno vděčí pověře, že nošen jako talisman uchrání před hadím uštknutím. Povrch nezvětralého kamene skutečně při troše fantazie může připomínat šupinatou kůži hada...

Horninový výbrus serpentinitu v procházejícím polarizovaném světle. Základní matrix tvoří šedě zbarvené minerály skupiny serpentinu (antigonit a α -chrysotil) se zbytky původních pyroxenů a olivínu (žlutooranžově a modře). Mladší minerální asociace tvoří Mg-chlorit, případně magnezit (světle hnědá zrna). Některá černá zrna jsou tvořena rudními minerály (hematit a chromit).





Prvotní příčinou podivuhodného složení hadcové flóry jsou zvláštní chemické a fyzikální vlastnosti samotného hadce, které se však projevují v různé míře v závislosti na místních klimatických a geomorfologických podmínkách.



ziva.avcr.cz

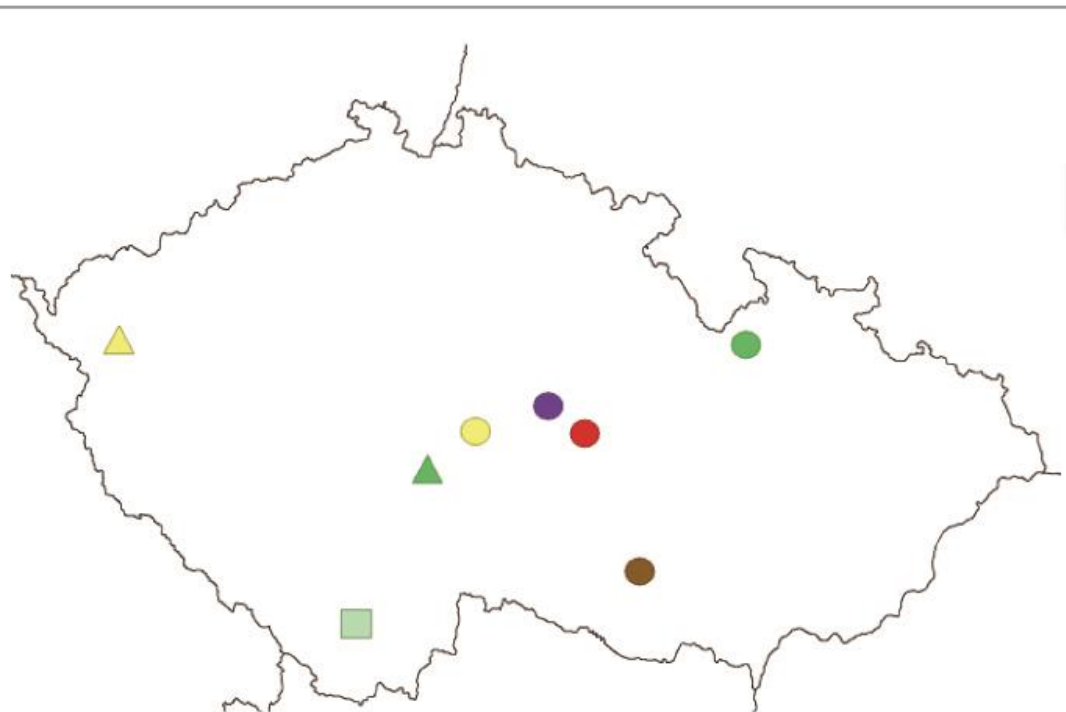
Extrémní podmínky substrátu a izolovanost hadcových oblastí, které jsou u nás roztroušeny po celé republice, mohly vést až k evoluci hadcových (sub)endemitů.



Serpentinofyty – rostliny vázané na hadce

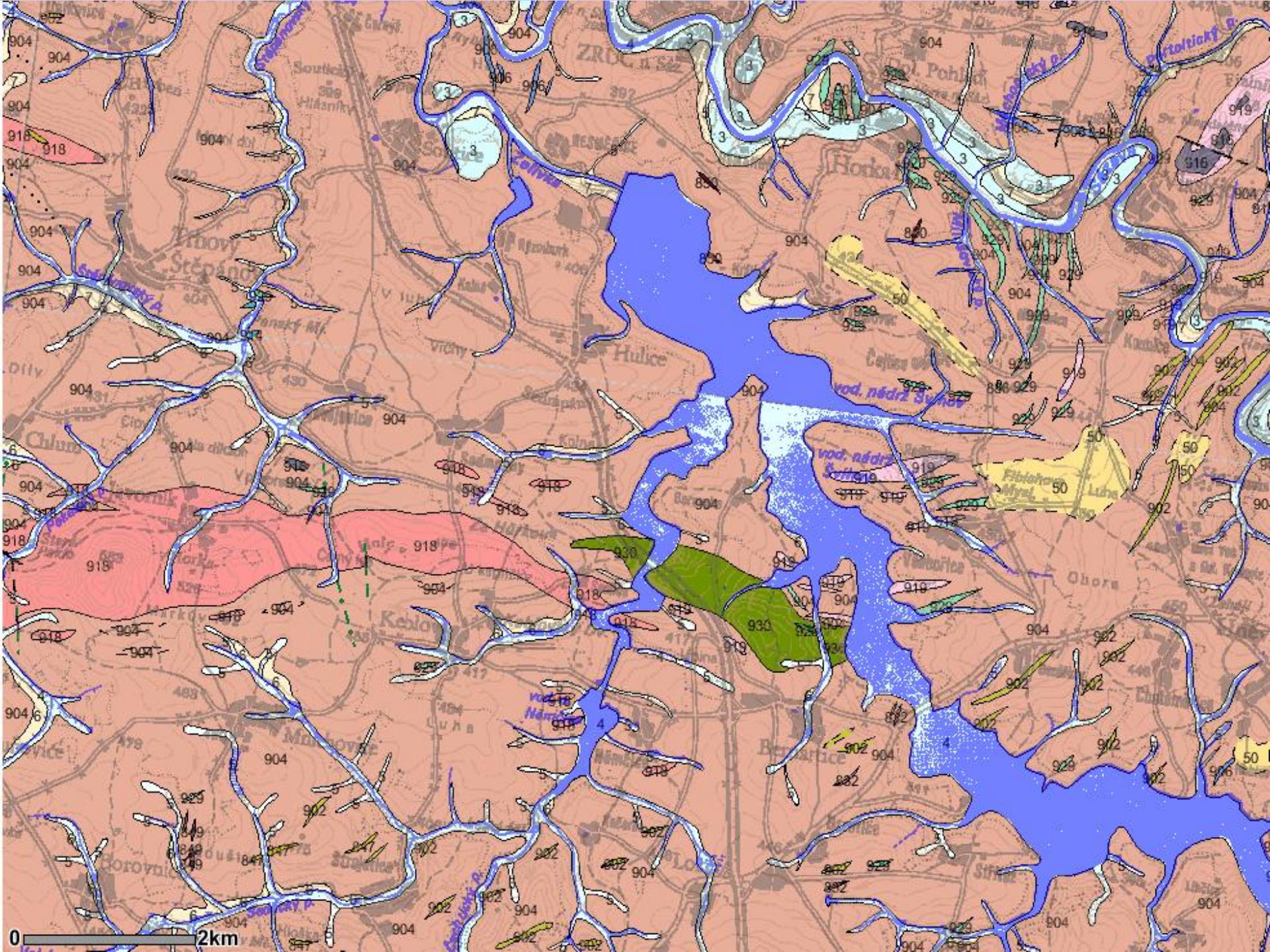
Kuřička hadcová, též kuřička Smejkalova (*Minuartia smejkalii*), je rostlina z čeledi hvozdíkovité, která je endemitem jihovýchodní části Českého masivu. Kromě České republiky tedy jinde neroste, z hlediska ohrožení je proto řazena do kategorie C1, kriticky ohrožený druh.

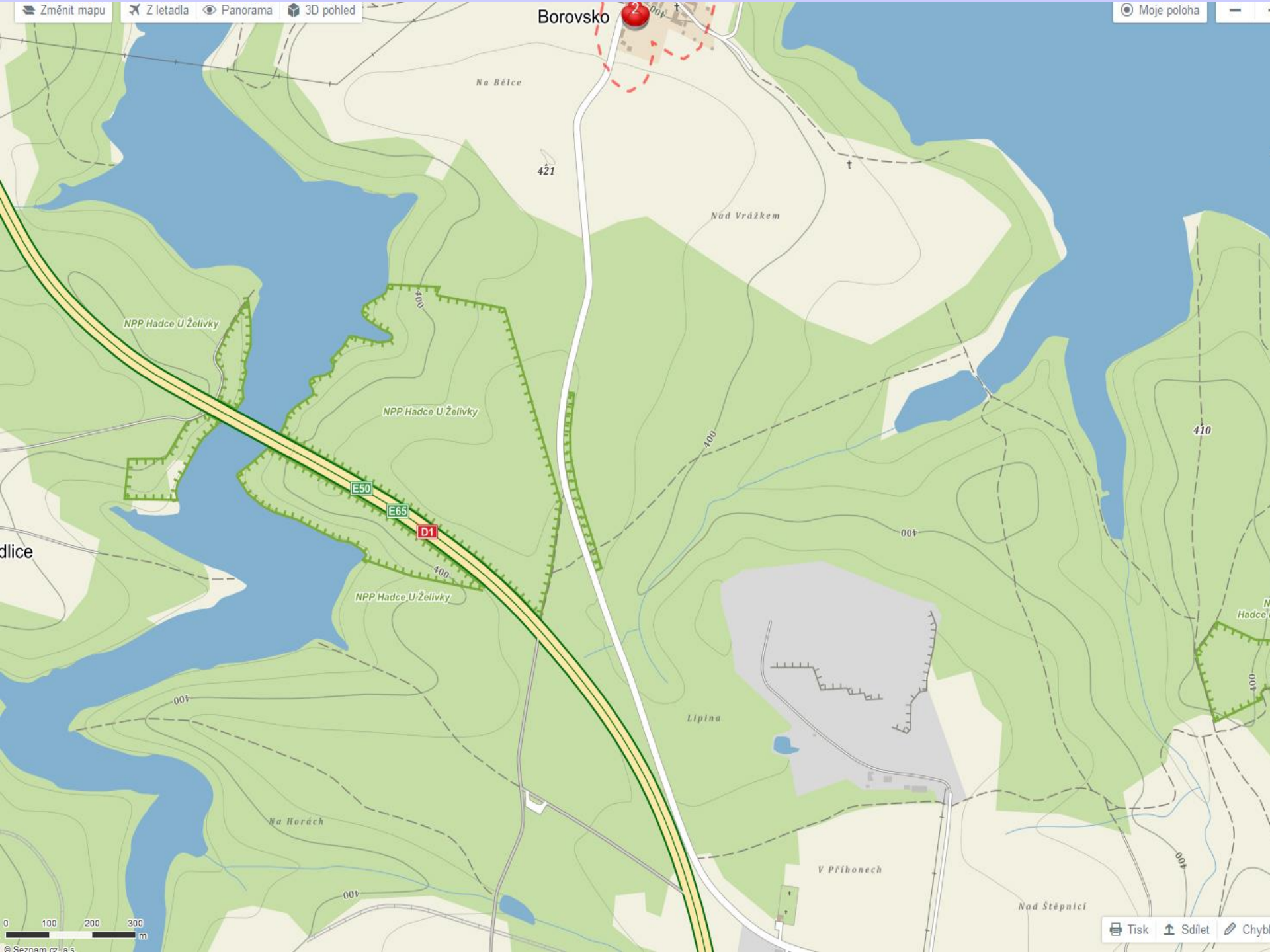




Nejvýznamnější hadcové lokality
v České republice: ● Borek u Chotě-
boře, ● Mohelno, ● dolnokralovické
hadce, ▲ Slavkovský les, ■ Křemže,
▲ Mladá Vožice, ● Raškov, ● Staré
Ransko

1





(Velké) houby specificky vázané na hadce zřejmě neexistují, protože...

- houby tolerují vysoké koncentrace kovů (Ni, Cr, Mg) na hadcích
- ale výskyt druhů charakteristických pro vápnité podloží





Pavučinec elegantní – *Cortinarius elegantior*



Pavučinec zlatohnědý – *Cortinarius percomis*



Pavučinec šedonohý – *Cortinarius pseudoglaucopus*



Pavučinec modrošedý – *Cortinarius caesiocanescens*



Pavučinec nádherný – *Cortinarius cupreorufus*

Houby na kovy bohatých půdách

Výchozy ložisek („rudní aureoly“)

- v ČR např. ložisko Au na Mokrsku s vysokými koncentracemi As v půdách: bez zjevného negativního efektu na mykoflóru

Antropogenní kontaminace kovy

- haldy a výsypky
- okolí silnic (Pb a další kovy)
- okolí kovohutí

(je třeba odlišit vliv samotného charakteru stanoviště vs. vliv kovů v půdách)

KOV**OVHUTĚ**
P ř í b r a m a.s.

Lhota u Příbramě: kovohut'









Slzivka pásovaná – *Hebeloma mesophaeum*



Měcháček písečný – *Pisolithus tinctorius*



Vláknice hnědoučká – *Inocybe fuscidula*

Houby na kovy bohatých půdách

Kovy nejspíš ovlivňují mikrobiotu, ale co houby?

V okolí kovohutě extrémně vysoké koncentrace Pb a vysoké obsahy dalších prvků: Ag, As, Cd, Cu, Sb, Zn.

Stanoviště v okolí kovohutě a houby na nich působí přirozeným, nenarušeným dojmem; velmi bohatá fruktifikace makromycetů.

Rühling & Söderström 1990, Rühling et al. 1984

- výzkum efektu znečištění vlivem kovohutě (As, Cd, Cu, Pb, Zn) ve Švédsku na fruktifikaci a biodiverzitu makromycetů
- koncentrace kovů v půdách zvýšené, nejvyšší u Pb (rozmezí 80-8500 ppm)

Houby na kovy bohatých půdách

Rühling & Söderström 1990, Rühling et al. 1984

- lakovka obecná (*Laccaria laccata*) jako jediná více fruktifikovala na kontaminovaných plochách (+ korelace s gradientem znečištění)

Je to známý
„pionýrský druh“

Mykorhiza s jehličnany
i listnáči.



Laccaria laccata

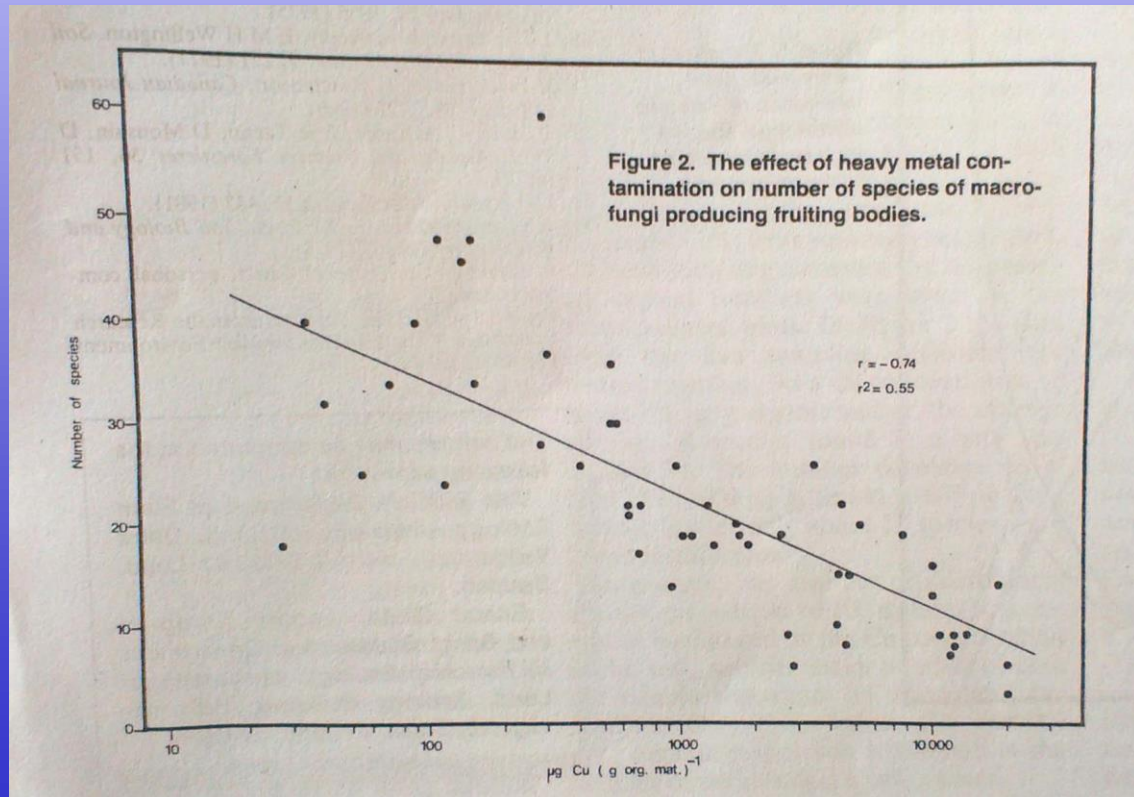
Houby na kovy bohatých půdách

Rühling & Söderström 1990, Rühling et al. 1984

- některé druhy nebyly gradientem znečištění ovlivněny (např. muchomůrka červená – *Amanita muscaria*, zrnivka žraločí – *Cystoderma carcharias*)
- biodiverzita řady hub negativně korelovala s gradientem znečištění



(graf: počet druhů vs. Cu v substrátu)

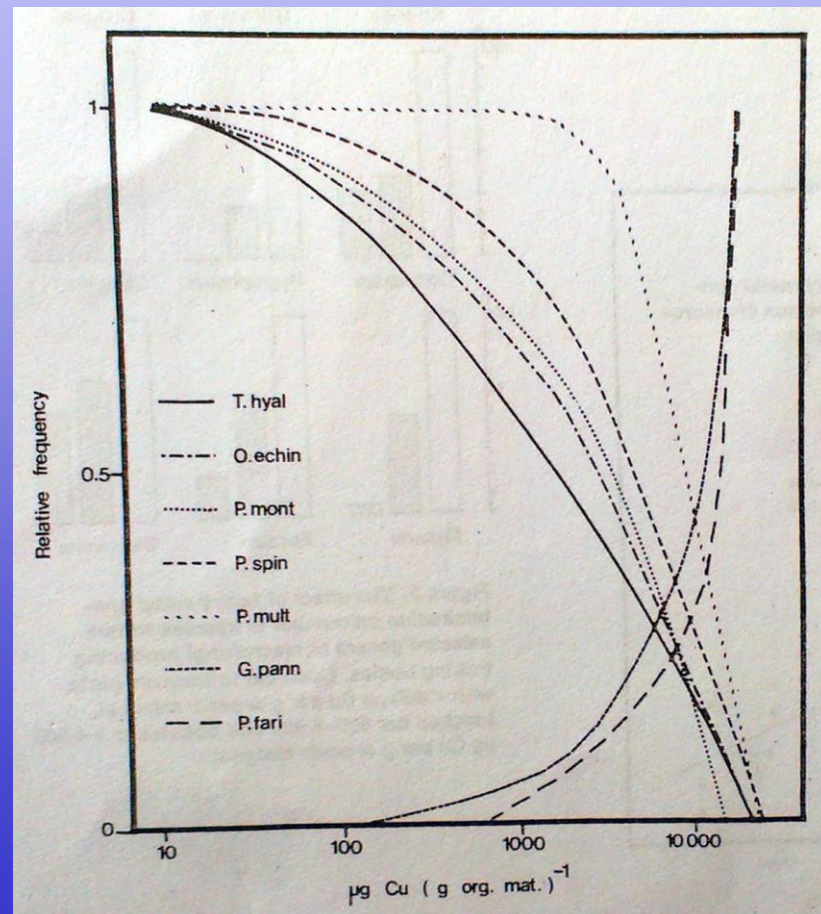


Houby na kovy bohatých půdách

Rühling & Söderström 1990, Rühling et al. 1984

Mikroskopické houby – zjištěno kultivací ze vzorků půd.

Běžné rody jako např. *Penicillium* nebo *Oidiodendron* byly na těžce kontaminovaných půdách méně hojné než na čistých (klesalo získaných množství izolátů). Některé druhy hub byly nalezeny jen na těžce kontaminovaných půdách: autoři uvádějí např. *Paecilomyces farinosus*, což je ale druh rostoucí na kuklách motýlů.



Houby na kovy bohatých půdách

Rühling & Söderström 1990, Rühling et al. 1984

Problémy s makromycety:

1/ Biodiverzita hub je posuzována jen na základě fruktifikace, tedy nespolehlivého ukazatele.

- řešením je dnes aplikace molekulárních metod

2/ Reprezentativnost a srovnatelnost studovaných ploch

- tj. hrálo zásadní roli nehomogenní prostředí (charakter stanovišť), anebo samotná koncentrace kovů v substrátech?

Ectomycorrhizal fungal communities associated with Masson pine (*Pinus massoniana* Lamb.) in Pb–Zn mine sites of central south China

Jian Huang · Kazuhide Nara · Chunlan Lian ·
Kun Zong · Kejian Peng · Shengguo Xue ·
Zhenguo Shen

Received: 5 January 2012 / Accepted: 1 March 2012 / Published online: 16 March 2012
© Springer-Verlag 2012

Abstract To advance our understanding of ectomycorrhizal fungal communities in mining areas, the diversity and composition of ectomycorrhizal fungi associated with Masson pine (*Pinus massoniana* Lamb.) and soil chemistry were investigated in Taolin lead–zinc (Pb–Zn) mine tailings (TLT), two fragmented forest patches in a Huayuan Pb–Zn mineland (HY1 and HY2), and a non-polluted forest in Taolin in central south China. Ectomycorrhizal fungal species were identified by morphotyping and sequence analyses of the internally transcribed spacer regions of ribosomal DNA. The two study sites in the Huayuan mineland (HY1 and HY2) were significantly different in soil Pb, Zn, and cadmium (Cd) concentrations, but no significant difference was observed in ectomycorrhizal colonization, ectomycorrhizal fungal richness, diversity, or rank–abundance. In addition, the similarity of ectomycorrhizal

fungal communities between HY1 and HY2 was quite high (Sørensen similarity index=0.47). Thus, the concentration of heavy metals may not be determining factors in the structure of these communities. In the tailings, however, significantly lower ectomycorrhizal colonization and ectomycorrhizal fungal richness were observed. The amounts of Pb and Zn in the tailing sand were higher than the non-polluted forest but far lower than in HY1. Thus, these heavy metals did not account for the reduced colonization and ectomycorrhizal fungal richness in TLT. The ectomycorrhizal fungal community in TLT was dominated by four pioneer species (*Rhizopogon buenoi*, *Tomentella ellisii*, *Inocybe curvipes*, and *Suillus granulatus*), which collectively accounted for 93.2 % of root tip colonization. The immature soil conditions in tailing (low N and P, sand texture, and lack of organic matter) may only allow certain pioneer ectomycorrhizal fungal species to colonize the site. When soil samples from four sites were combined, we found that the occurrences of major ectomycorrhizal fungal taxa were not clearly related to the concentrations of Pb, Zn, and Cd. In conclusion, our results suggest that ectomycorrhizal fungal communities in mining areas are not necessarily affected by heavy metals themselves but could be largely determined by soil maturity.

Houby a kyselá dešť





Holubinka kolčaví – *Russula mustelina*



Liška obecná – *Cantharellus cibarius*



Ryzec syrovinka – *Lactarius volemus* agg.



Holubinka hlínožlutá – *Russula ochroleuca*



Hřib hnědý – *Imleria badia*

Houby a kyselá dešť

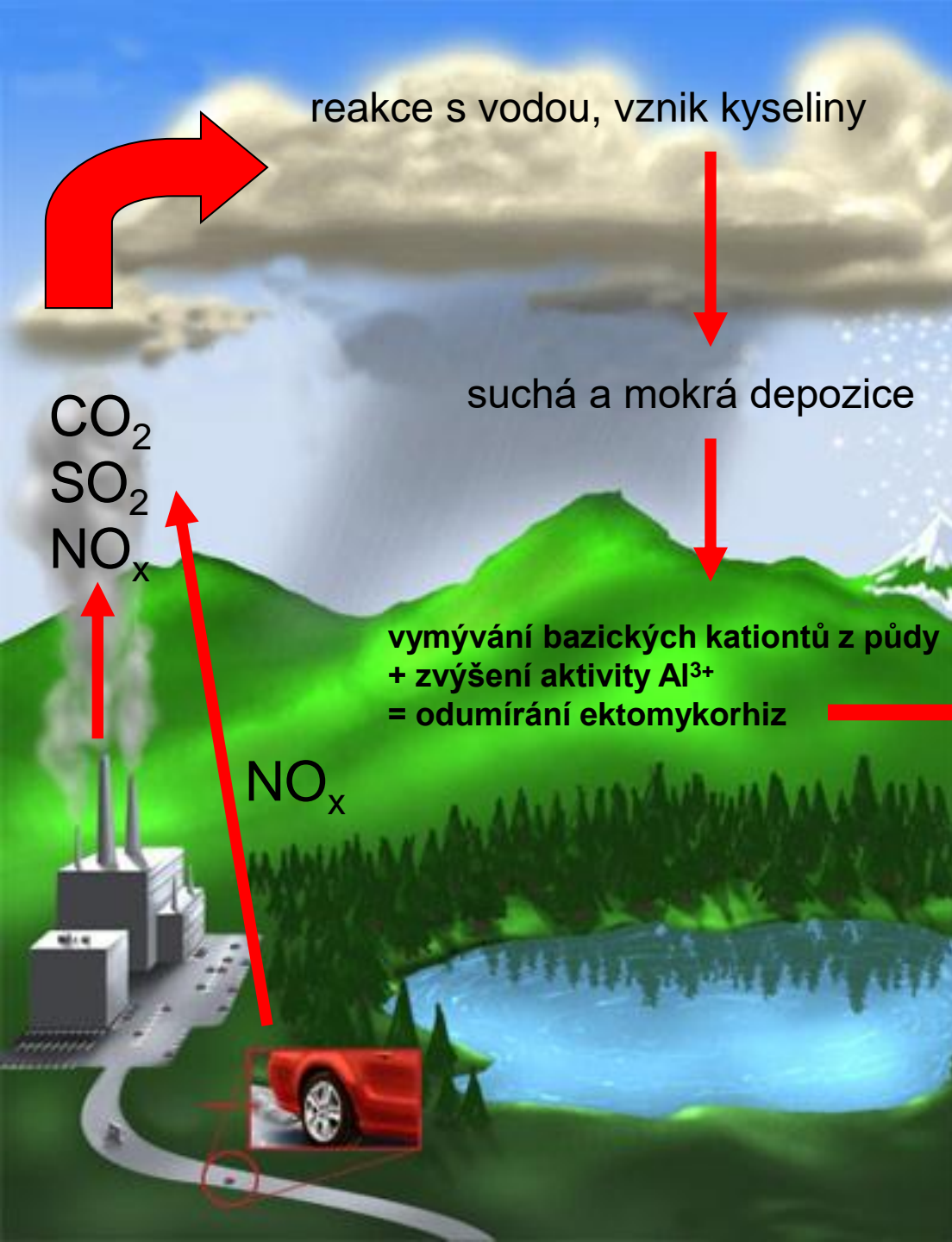
Oxid uhličitý: přirozeně v ovzduší, kyselina uhličitá je slabá kyselina.

Oxidy síry: pálení hnědého uhlí s obsahem S v elektrárnách a teplárnách.

Oxidy dusíku: obecně spalovací procesy, nyní hlavně doprava.

Suchá a mokrá depozice. Efektivita „vyčesávání“ škodlivin z ovzduší se významně liší u smrku a buku!





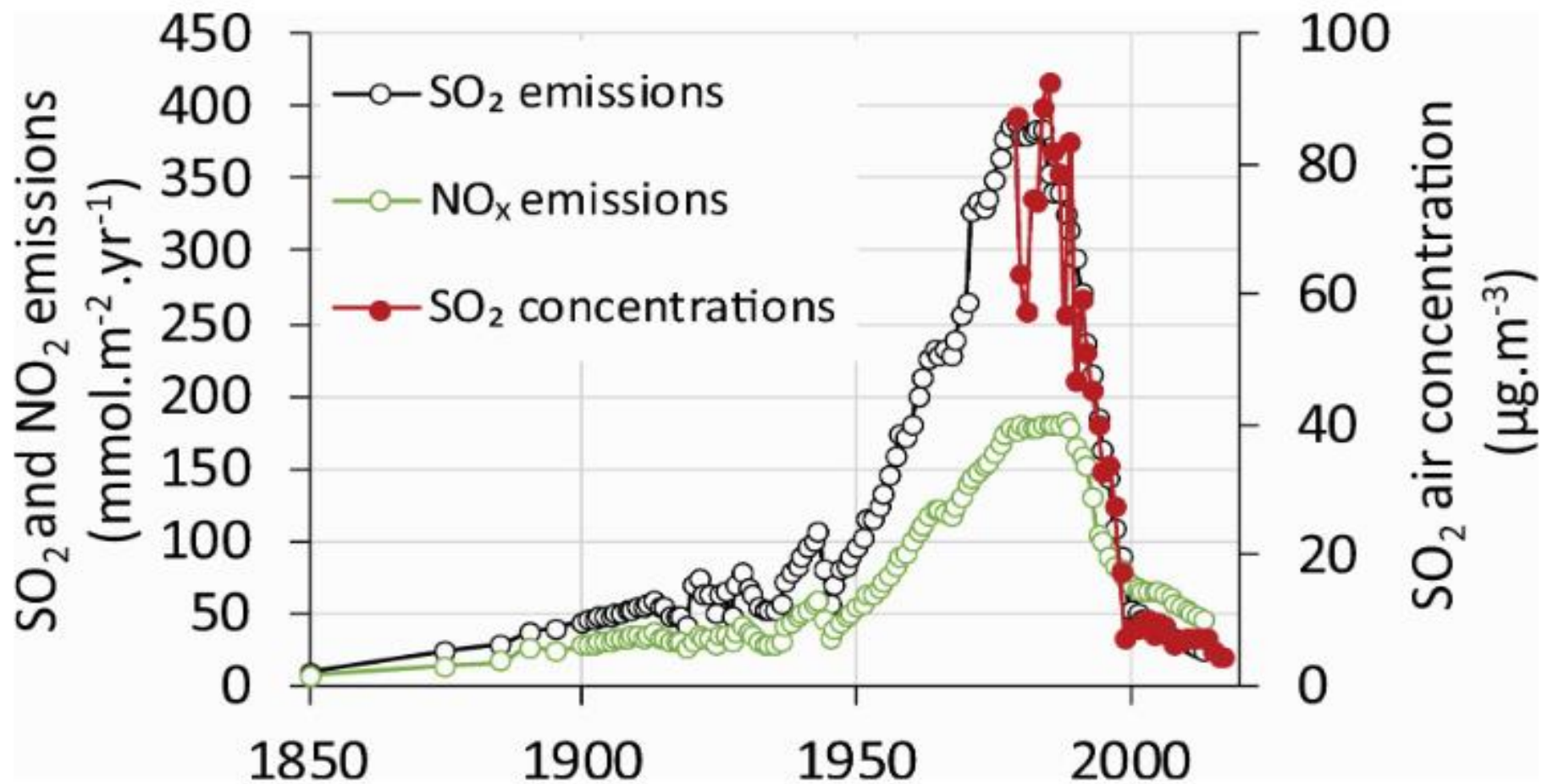
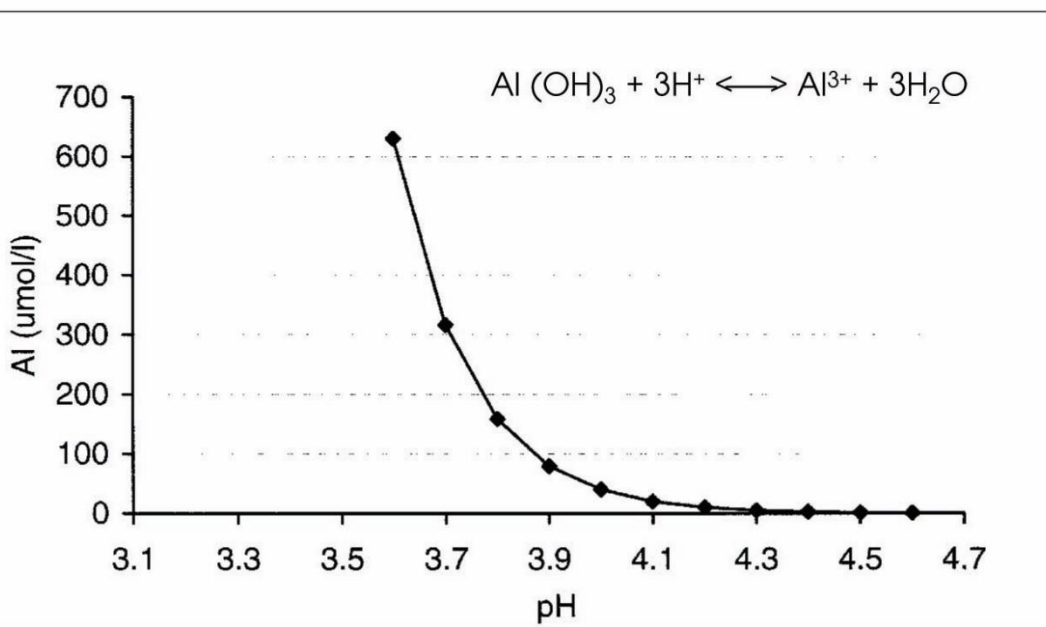


Fig 3. SO_2 emissions (Czech Republic) between 1850–2017 and ambient annual SO_2 concentrations measured at Cínovec (Zinwald) at the Czech/German border between 1979–2017.

Houby a kyselá dešť

Kyselý déšť z půdy postupně vymývá bazické kationty Ca, Mg a K = **úbytek živin** (únik z lesního ekosystému podzemní vodou) a **pokles pH**. Horské lesy, u nás na kyselých horninách, mají nedostatek disponibilních minerálních živin, zejména Mg.

Pokles pH postupně vede k rostoucí mobilitě iontů Al^{3+}



Similar to Ca and Mg, the release of Al during silicate weathering results in a corresponding consumption of H^+ on a charge basis. However, if pH is above ~ 5 released Al initially precipitates as a secondary mineral: $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$ (gibbsite), and the pH buffering step by Al will not take place until pH decrease below approximately 4.5, when gibbsite will decompose to Al^{3+} under the consumption of hydrogen ions:



In addition to a required pH below ~ 4.5 , the dissolution of gibbsite and concurrent H^+ neutralization is facilitated by the complexation of Al with organic functional groups. Therefore this process is mainly taken place in surface horizons, where organic acids of SOM can deliver the hydrogen ions and bind Al^{3+} . Similarly to Ca and Mg, Al replaces H^+ at organic cation-exchange sites, and at pH values less than 4.5 therefore Al^{3+} can be considered a trivalent “base cation” equivalent to Mg^{2+} and Ca^{2+} . If pH increases above ~ 4.5 , however, Al^{3+} becomes an acidic cation that undergoes hydrolysis under the formation of gibbsite and 3H^+ , according to the right reaction (1).

Houby a kyselá dešť

Vysoké koncentrace hliníku, respektive nízký poměr bazických kationtů a hliníku (dále Bc/Al) v půdním roztoku, působí fyziologické problémy kořenovému systému smrků. Při nízkém poměru soutěží ionty hliníku (Al) úspěšně s kationty vápníku (Ca), hořčíku (Mg) a draslíku (K) na výměnných místech buněčných membrán kořenového apoplastu, kde porušují iontovou rovnováhu. Al brání aktivnímu transportu iontů přes buněčné membrány tím, že obsazuje místa, která jsou určena pro bivalentní nebo monovalentní ionty, které mají podobné sférické vlastnosti jako iontový Al. Ten se zde usadí ve formě Al^{3+} , čímž je porušena elektrostatická rovnováha a membrána neplní svůj účel. Typicky, v případě hliníku, dochází k významnému blokování příjmu Mg. Dále dochází k odumírání takto zasažených orgánů - typicky jemných kořenů - s následným špatným příjmem živin, vody a celkovým oslabením rostliny. Tento mechanismus je typický pro B-horizonty lesních půd v celé střední Evropě i jižní Skandinávii.

Dalším mechanismem, který může rostlinu poškodit, je blokování enzymů a následných reakcí katalyzovaných těmito enzymy. Al může zaujmout místa kovů, které jsou přirozenou součástí těchto enzymů. Tento mechanismus je ale typičtější například pro kadmium, Al se uplatňuje méně. Němečtí autoři (Rost-Siebert 1985, Ebben 1991) uvádějí, že smrk a buk se velmi liší odezvou na tuto toxicitu. Smrk ztepilý (*Picea abies*) je relativně odolný proti vysoké koncentraci protonů (tedy nízkému pH), ale je velmi náchylný k poškození hliníkem vlivem změny poměrů Bc/Al, zatímco buk lesní (*Fagus sylvatica*) je daleko odolnější k hliníkové toxicitě.

HRUŠKA J., CIENCIALA E. (2001): Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd - limitující faktor současného lesnictví. ČGS, Praha.

= odumírání mykorrhiz, dorůstání kořenů do toxického prostředí, opakované vyčerpávání rezerv, kolaps, mrtvý les



Forest growth responds more to air pollution than soil acidification

Jakub Hruška^{1,2}*, Filip Oulehle^{1,2}, Tomáš Chuman^{1,2}‡, Tomáš Kolář^{2,3}, Michal Rybníček^{2,3}‡, Miroslav Trnka¹‡, William H. McDowell⁴†

1 Global Change Research Institute, Czech Academy of Sciences, Brno, Czech Republic, **2** Czech Geological Survey, Praha 1, Czech Republic, **3** Department of Wood Science and Technology, Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University in Brno, Brno, Czech Republic, **4** Department of Natural Resources and the Environment, University of New Hampshire, Durham, NH, United States of America

☉ These authors contributed equally to this work.

‡ TC, MR, MT and WHM also contributed equally to this work.

* jakub.hruska@geology.cz



Abstract

The forests of central Europe have undergone remarkable transitions in the past 40 years as air quality has improved dramatically. Retrospective analysis of Norway spruce (*Picea abies*) tree rings in the Czech Republic shows that air pollution (e.g. SO₂ concentrations, high acidic deposition to the forest canopy) plays a dominant role in driving forest health. Extensive soil acidification occurred in the highly polluted "Black Triangle" in Central Europe, and upper mineral soils are still acidified. In contrast, acidic atmospheric deposition declined by 80% and atmospheric SO₂ concentration by 90% between the late 1980s and 2010s. In this study we observed that annual tree ring width (TRW) declined in the 1970s and subsequently recovered in the 1990s, tracking SO₂ concentrations closely. Furthermore, recovery of TRW was similar in unlimed and limed stands. Despite large increases in soil base saturation, as well as soil pH, as a result of repeated liming starting in 1981, TRW growth was similar in limed and unlimed plots. TRW recovery was interrupted in 1996 when highly acidic rime (originating from more pronounced decline of alkaline dust than SO₂ from local power plants) injured the spruce canopy, but recovered soon to the pre-episode growth. Across the long-term site history, changes in soil chemistry (pH, base saturation, Bc/Al soil solution ratio) cannot explain observed changes in TRW at the two study sites where we tracked soil chemistry. Instead, statistically significant recovery in TRW is linked to the trajectory of annual SO₂ concentrations or sulfur deposition at all three stands.

OPEN ACCESS

Citation: Hruška J, Oulehle F, Chuman T, Kolář T, Rybníček M, Trnka M, et al. (2023) Forest growth responds more to air pollution than soil acidification. PLoS ONE 18(3): e0256976. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256976>

Editor: John Toland Van Stan, II, Georgia Southern University, UNITED STATES

Received: August 18, 2021

Accepted: January 20, 2023

Published: March 8, 2023

Copyright: © 2023 Hruška et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Decline of ectomycorrhizal fungi following a mountain pine beetle epidemic

ROLAND TREU,¹ JUSTINE KARST,^{2,3,5} MORGAN RANDALL,² GREGORY J. PEC,² PAUL W. CIGAN,³ SUZANNE W. SIMARD,⁴
JANICE E. K. COOKE,² NADIR ERBILGIN,³ AND JAMES F. CAHILL, JR.²

¹*Centre for Science, Athabasca University, 1 University Drive, Athabasca, Alberta T9S3A3 Canada*

²*Department of Biological Sciences, Biological Sciences Building, University of Alberta, Edmonton, Alberta T6G 2E9 Canada*

³*Department of Renewable Resources, 442 Earth Sciences Building, University of Alberta, Edmonton, Alberta T6G 2E3 Canada*

⁴*Department of Forest and Conservation Sciences, Forest Sciences Centre, 2424 Main Mall, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia V6T 1Z4 Canada*

Abstract. Forest die-off caused by mountain pine beetle (MPB; *Dendroctonus ponderosa*) is rapidly transforming western North American landscapes. The rapid and widespread death of lodgepole pine (*Pinus contorta*) will likely have cascading effects on biodiversity. One group particularly prone to such declines associated with MPB are ectomycorrhizal fungi, symbiotic organisms that can depend on pine for their survival, and are critical for stand regeneration. We evaluated the indirect effects of MPB on above- (community composition of epigeous sporocarps) and belowground (hyphal abundance) occurrences of ectomycorrhizal fungi across 11 forest stands. Along a gradient of mortality (0–82% pine killed), macromycete community composition changed; this shift was driven by a decrease in the species richness of ectomycorrhizal fungi. Both the proportion of species that were ectomycorrhizal and hyphal length in the soil declined with increased MPB-caused pine mortality; <10% of sporocarp species were ectomycorrhizal in stands with high pine mortality compared with >70% in stands without MPB attacks. The rapid range expansion of a native insect results not only in the widespread mortality of an ecologically and economically important pine species, but the effect of MPB may also be exacerbated by the concomitant decline of fungi crucial for recovery of these forests.

Key words: extraradical hyphae; forest die-off; lodgepole pine, *Pinus contorta*; macromycetes; mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosa*; mycorrhizal symbionts; northwestern Alberta, Canada.

Houby a lesní hospodaření



NP České Švýcarsko: 7 900 ha,
cca 600 druhů makromycetů

Vliv hospodaření na
biodiverzitu hub a vlastnosti
lesních půd, význam dřevní
hmoty.



NPR Žofínský prales:
98 ha, cca 600 druhů
makromycetů

Houby a lesní hospodaření

Dlouhodobé citlivé maloplošné zásahy (výběrová těžba) versus holosečná těžba pomocí harvestorů – vliv na mykorhizní houby.

- zánik mykorhizních partnerů
- utužení půdy
- eutrofizace

Mrtvá dřevní hmota na lokalitě:



Ohňovec rezavohnědý (*Phelinus ferrugineofuscus*) byl u nás prvně nalezen v roce 1964 právě v Boubínském pralese. Až metrové plodnice se objevují na relativně tvrdém dřevě jen několik málo let po pádu stromu, a na kmeni vytrvávají většinou po dobu dvou až tří let.

Houby a lesní hospodaření

Specifické ekologické nároky –výhradně na kmenech, které uschly nastojato a dlouho stály jako souše.

Vliv na houbové společenstvo.

Skeletocutis delicata roste pouze na starých plodnicích ohňovce rezavohnědého nebo v jejich těsné blízkosti.

= důležité je ponechávání mrtvého dřeva v lesích ke spontánním rozkladným procesům, pokud možno v co nejpeštrejší struktuře. Každý typ substrátu může být klíčový pro jiné druhy hub.



Phelinus ferrugineofuscus

foto Lucie Zíbarová

Houby a lesní hospodaření

Štítovky (*Pluteus*) množství druhů souvisí s množstvím a stavem odumřelé dřevní biomasy na lokalitě.



Poříčko nad Sázavou

Populární mykologická lokalita v polovině 20. století. Výskyt pralesních horských druhů díky specifickým klimatickým podmínkám (sevřené chladné údolí potoka) a přítomnosti dřevní hmoty (staré smrky).



Kalichovka zlatolupenná
Chrysomphalina chrysophylla
foto Lucie Zíbarová

Poříčko nad Sázavou

Vybudování silnice v údolí.

Intenzivní hospodaření – postupný úbytek dřevní hmoty.

Sucho 2018: zcela vyschl Křešický potok.

Kůrovcová kalamita a následná holosečná těžba v celé oblasti.





ČERENICE

Poličko

Poříčko nad Sázavou

Nyní je lokalitu možné považovat za zaniklou. Pouze pozůstatky starých smrků s posledními lignikolními druhy.



Houžovec bobří – *Lentinellus castoreus*

Gyromitra infula



Gyromitra infula

Climacocystis borealis



Houby a disturbance v krajině

Photo Jens H. Petersen, Denmark



In conifer plantations, road and track sides are often among the best place to look for *Tricholoma* species, and some species, especially *Tricholoma terreum*, truly seem to favour such habitats.

Borovsko

© GEODIS, © Seznam.cz

© GEODIS, © Seznam.cz

© GEODIS, © Seznam.cz

© GEODIS, © Seznam.cz

© GEODIS, © Seznam.cz



Houby na lesních cestách a jejich okrajích

Lesní cesty tvoří specifický biotop – zejména staré mechaté a málo používané.

Okraje cest s obnaženou minerální půdou: vláknice – *Inocybe*, nálezy podzemek (lanýže – *Tuber* aj.)



Hydnellum mirabile 0338-9-2014
© Petr Mückstein
www.bio-foto.com

Cotylidia pannosa (Lupénka suknovitá)

Nezaměnitelná houba rostoucí na zemi v květnatých bučinách, často při okrajích cest mezi nízkým mechem. Nejmohutnější zástupce rodu *Cotylidia* v Evropě, ostatní zástupci mají tenké blanité plodnice a chybí jim oranžové barvy - viz lupénka vlnatá (*Cotylidia undulata*) a lupénka mechová (*Cotylidia muscigena*).



Cotylidia pannosa PR Libochovka, květnatá bučina, lesní cesta, sub Fagus, Tilia, 15.10.2017, (c) Lucie Zíbarová

Houby ohrožující faktory

Lignikolní druhy: způsob lesní hospodaření (složení dřevin, odumřelá dřevní hmota)



Hlívovec ostnovýtrusý
Rhodotus palmatus

foto Lucie Zíbarová

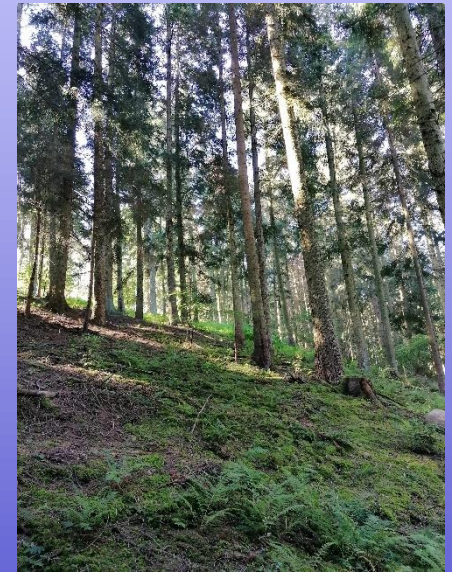
Vazba na jilmy.

Houby ohrožující faktory

Mykorrhizní druhy: způsob lesního hospodaření (složení dřevin, těžká mechanizace a utužení půdy, holosečná těžba, kontinuita výběrové těžby, patogenní organismy).

Chemie prostředí: eutrofizace a kyselá dešť.

Geologické podloží + specifický porost.




Štavnatka oranžová
Hygrophorus abieticola


Vazba na jedle + bazické podloží

Je sběr hub ohrožujícím faktorem?


**ANO: sběrem se omezuje šíření výtrusů.
Ale co dál..?**



Biological Conservation
Volume 129, Issue 2, April 2006, Pages 271-276

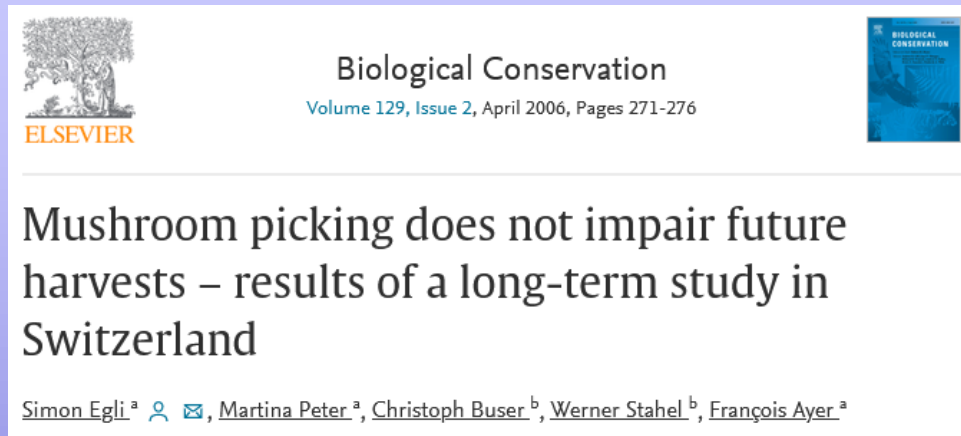


Mushroom picking does not impair future harvests – results of a long-term study in Switzerland

Simon Egli ^a, , Martina Peter ^a, Christoph Buser ^b, Werner Stahel ^b, François Ayer ^a

Forest fungi not only have important functions within the forest ecosystem, but picking their fruit bodies is also a popular past time, as well as a source of income in many developing and developed countries. The expansion of commercial harvesting in many parts of the world has led to widespread concern about overharvesting and possible damage to fungal resources. In 1975, we started a field research project to investigate the effects of mushroom picking on fruit body occurrence. The three treatments applied were the harvesting techniques picking and cutting, and the concomitant trampling of the forest floor. The results reveal that, contrary to expectations, long-term and systematic harvesting reduces neither the future yields of fruit bodies nor the species richness of wild forest fungi, irrespective of whether the harvesting technique was picking or cutting. Forest floor trampling does, however, reduce fruit body numbers, but our data show no evidence that trampling damaged the soil mycelia in the studied time period.

Je sběr hub ohrožujícím faktorem?



Autoři dlouholeté studie provedené ve Švýcarsku očekávali **vliv sběru hub na produkci plodnic, což se nepotvrdilo.**

- plodnice sbírali celé/uřezávali/sešlapávali povrch půdy
- nepozorovali vliv na počet plodnic ani druhovou diverzitu v případě rozdílných způsobů sběru
- sešlap snižuje počet tvořených plodnic, ale výsledky nesvědčí pro vážné poškození mycelia

Ochrana hub?

Červené seznamy (2006, **2024**)

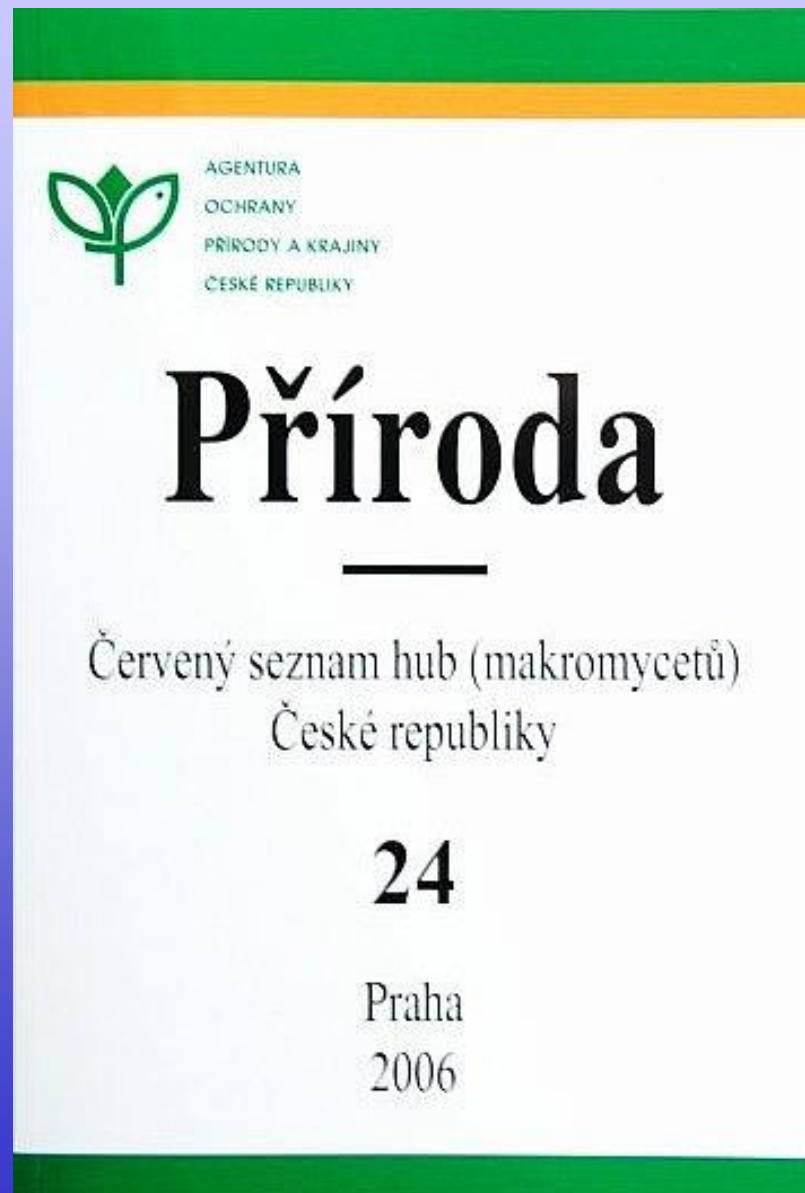
Červené knihy

Legislativní (zákonná) ochrana

V ČR zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody krajiny.

Zvláště chráněné houby:

46 druhů ve **třech kategoriích ohrožení** uvedené ve vyhlášce č. 395/1992 Sb.



Ochrana hub



PROPOSED



UNDER ASSESSMENT



PRELIMINARY ASSESSED



ASSESSED



PUBLISHED

Hydnellum mirabile (Fr.) P. Karst.

Search for another species...

Hydnellum mirabile (Fr.) P. Karst.

Scientific name *Hydnellum mirabile*

Author (Fr.) P. Karst.

Common names  raggtaggsvamp

 børstebrunpigg

 lošákovec podivný

IUCN Specialist Group  Mushroom, Bracket and Puffball

Kingdom Fungi

Phylum Basidiomycota

Class Agaricomycetes

Order Thelephorales

Family Bankeraceae

Assessment status Published

Assessment date 2015-04-27

IUCN Red List Categ... VU

IUCN Red List Criteria A2c+3c+4c

Assessors Nitare, J.

Reviewers Dahlberg, A.



Country occurrence 



**KRITICKY
OHROŽENÝ DRUH**

**SILNĚ OHROŽENÝ
DRUH**



Kalichovka lužní –
Omphalina discorosea



Holubinka olšinná –
Russula pumila

Roste v ČR

Mnohem hojnější než jsme předpokládali, i eutrofizovanější olšiny.



Holubinka olšinná –
Russula alnetorum

Neroste v ČR

Roste jen v Alpách.

OHROŽENÝ DRUH

**KRITICKY
OHROŽENÝ DRUH?**



Muchomůrka Vittadiniho
– *Amanita vittadinii*