

Ekologie lišejníků

3. lekce

Sekundární metabolity,
biotické interakce



7

Biochemistry and secondary metabolites

J. A. ELIX AND E. STOCKER-WÖRGÖTTER

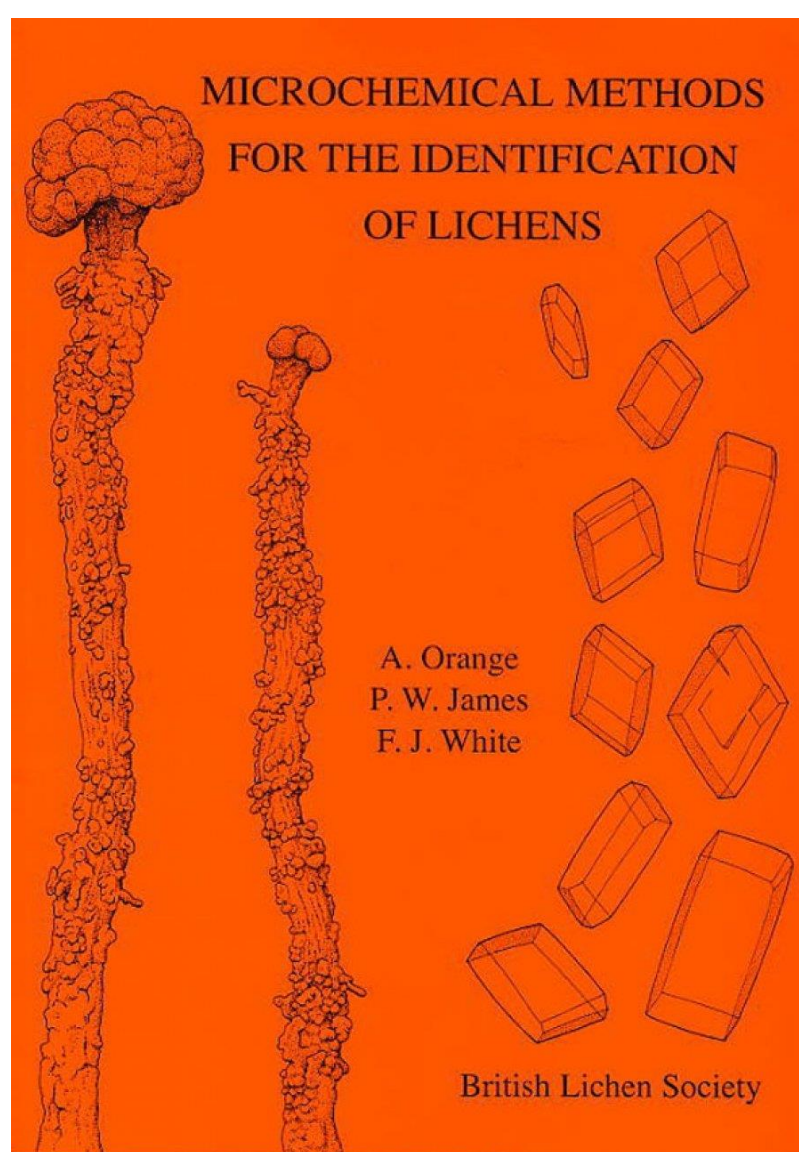
7.1 Intracellular and extracellular products

There are two main groups of lichen compounds: primary metabolites (intracellular) and secondary metabolites (extracellular). Common intracellular products occurring in lichens include proteins, amino acids, polyols, carotenoids, polysaccharides, and vitamins, which are bound in the cell walls and the protoplasts, are often water-soluble, and can be extracted with boiling water (Fähseil 1994b). Some of these products are synthesized by the fungus and some by the alga. Since the lichen thallus is a composite structure, it is not always possible to decide where a particular compound is biosynthesized. Most of the intracellular products isolated from lichens are nonspecific, and also occur in free-living fungi, algae and in higher green plants (Hale 1983). The majority of organic compounds found in lichens are secondary metabolites of the fungal component, which are deposited on the surface of the hyphae rather than within the cells. These products are usually insoluble in water and can only be extracted with organic solvents. Carbon for the lichen is furnished primarily by the photosynthetic activity of the algal partner. Moshbach (1969) summarized the overall carbon metabolic sequence as involving photosynthesis in the photobiont followed by transport of the carbohydrate to the fungus, metabolism of the carbohydrate and subsequent biosynthesis of lichen secondary metabolites. The type of carbohydrate released by the alga and supplied to the fungus is determined by the photobiont, while in lichens containing cyanobacteria, the carbohydrate released and transferred to the fungus is glucose. In lichens containing green algae, the carbohydrate released and transferred to the fungus is a polyol: ribitol, erythritol, or sorbitol (Section 10.2.1).

Lichen Biology, ed. Thomas H. Nash III. Published by Cambridge University Press. © Cambridge University Press.

Str. 104-133

<https://www.anbg.gov.au/lichen/chemistry-1.html>



An Australian Government Initiative



Information about Australia's Flora
Australian Lichens

Sponsored by the Friends of the Australian National Botanic Gardens



AUSTRALIAN NATIONAL BOTANIC GARDENS

Home > Gardens | CANBR > Plant Information > Plant Groups > Lichen

SEARCH

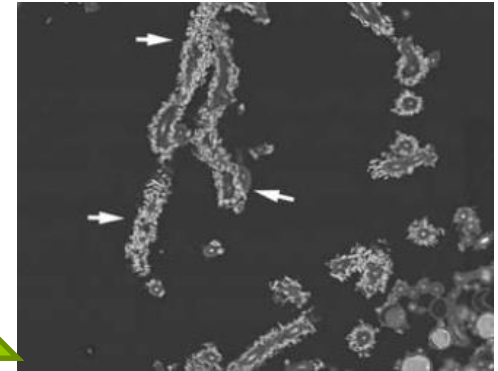
Chemistry



Dvě základní skupiny sloučenin v lišejníku:

1. Primární metabolity (intracelulární)

- produkuje řasa i houba
- **zajišťují základní životní děje**
- proteiny, aminokyseliny, polysacharidy, karotenoidy, vitamíny atd.
- v protoplastu, popř. v buněčné stěně
- často rozpustné ve vodě

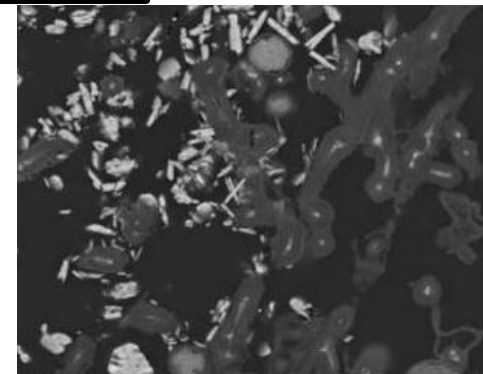


produkty fotosyntézy dodávané fotobiontem mykobiontovi:

- sinice – **glukóza**
- zelené řasy – tzv. **polyoly** (cukerné alkoholy) – ribitol, erythritol, sorbitol
- mykobiont je přetvoří tak, že jsou pro fotobionta dále nepoužitelné

2. Sekundární metabolity (extracelulární)

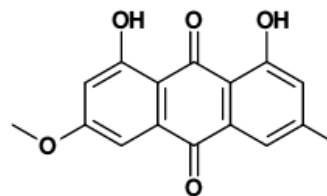
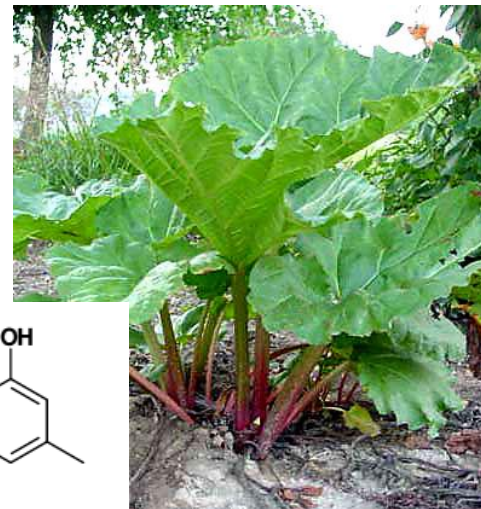
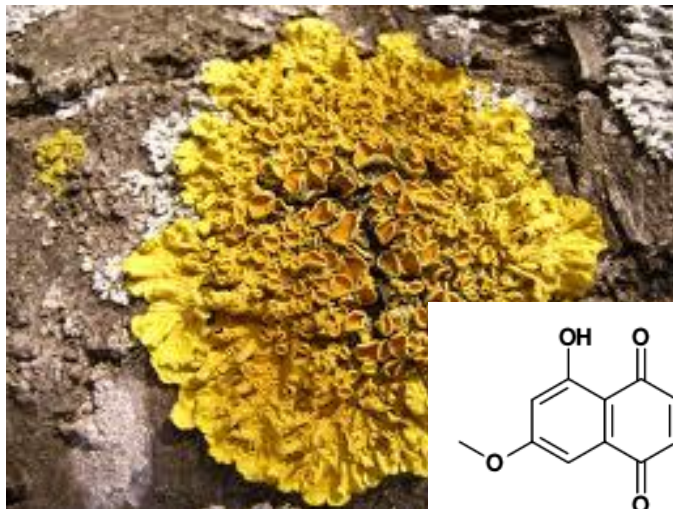
- produkovány mykobiontem
- nezajišťují základní životní děje
- většinou na povrchu hyf
- nerozpustné ve vodě



Sekundární metabolity:

→ v současnosti známých ca. 1050 sekundárních metabolitů

→ většina látek produkována výhradně v lichenizované stélce; ca. 50-60 látek i jinými organismy - např. antrachinon parietin i v nelichenizovaných houbách (např. *Aspergillus*, *Penicillium*) a rostlinách (např. *Rheum*, *Rumex*)

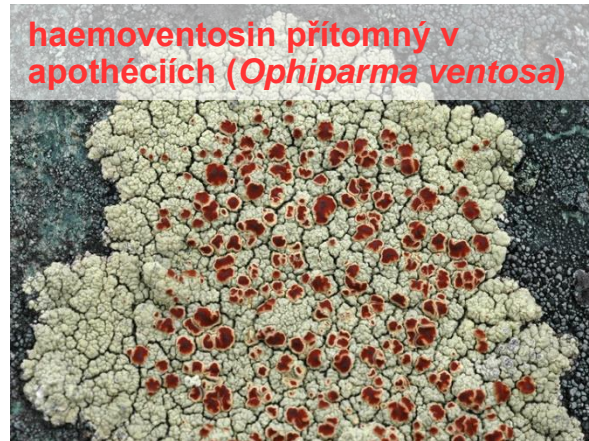


Parietin

→ Culberson 1969: Basidilišejníky neprodukují sekundární metabolity – nedostatek dat, ale ukazuje se, že nějaké sekundární metabolity také produkují

→ u některých lišejníků mohou být sek. metabolity přítomny např. pouze v apotheciu, sorálech, v kůře či naopak dřeni

→ některé druhy lišejníků mohou produkovat až 20 různých látek, u jiných nebyla prokázána produkce žádných sek. metabolitů



Biosyntetické cesty:

- 1) **Acetyl-polymalonyl pathway** – většina lišejníkových látek syntetizována touto cestou
- 2) **Mevalonic acid pathway**
- 3) **Shikimic acid pathway**

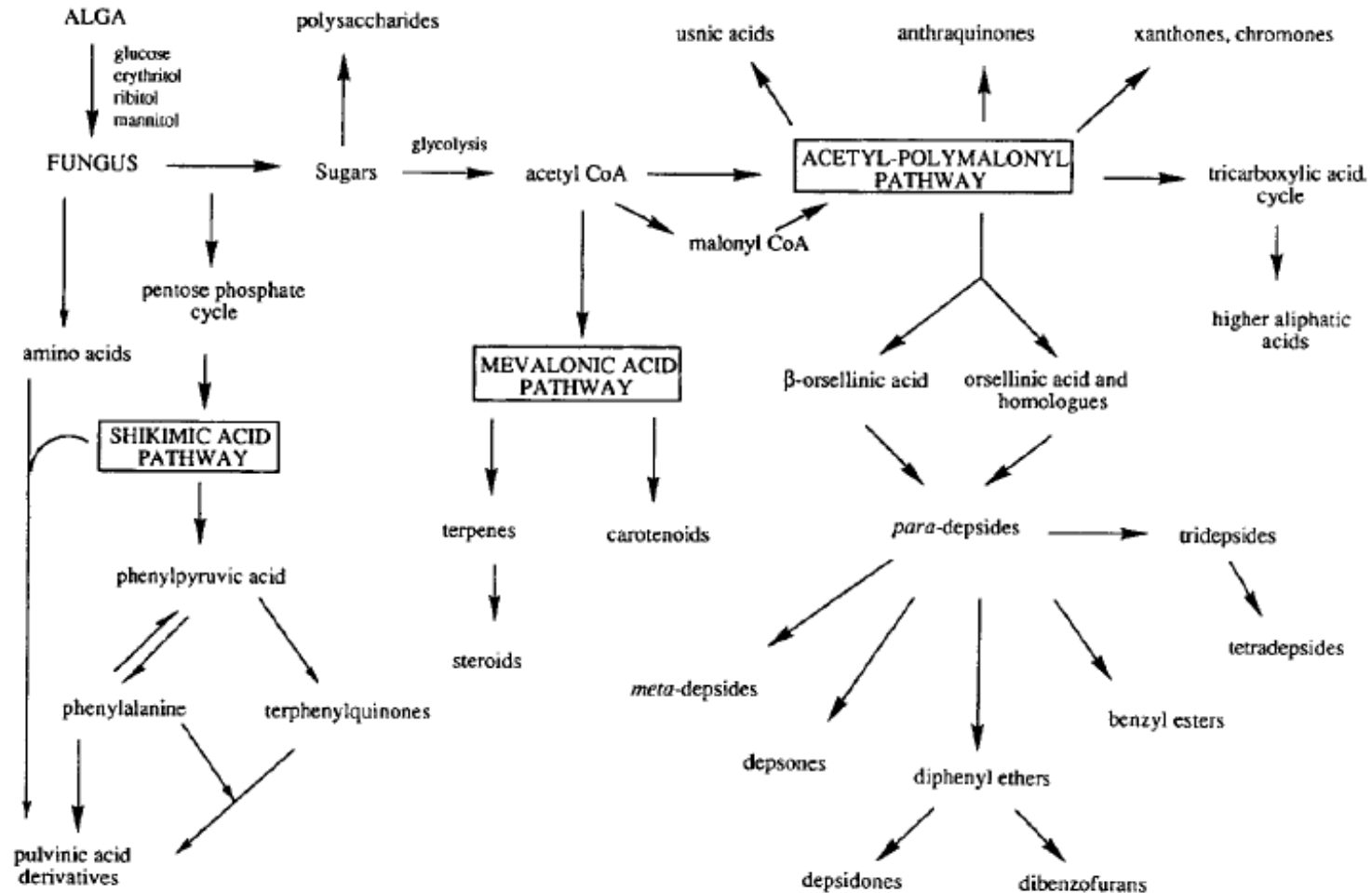


Fig. 7.1 Probable pathways leading to the major groups of lichen products.

Table 7.1. Major classes of secondary metabolites in lichens

1. Acetyl-polymalonyl pathway

1.1 Secondary aliphatic acids, esters and related derivatives (45)

1.2 Polyketide derived aromatic compounds

1.2.1 Mononuclear phenolic compounds (19)

1.2.2 Di- and tri-aryl derivatives of simple phenolic units

1.2.2a Depsides, tridepsides and benzyl esters (185)

1.2.2b Depsidones and diphenyl ethers (112)

1.2.2c Depsones (6)

1.2.2d Dibenzofurans, usnic acids and derivatives (23)

1.2.3 Anthraquinones and biogenetically related xanthenes (56)

1.2.4 Chromones (13)

1.2.5 Naphthaquinones (4)

1.2.6 Xanthenes (44)

2. Mevalonic acid pathway

2.1 Di-, sester- and triterpenes (70)

2.2 Steroids (41)

3. Shikimic acid pathway

3.1 Terphenylquinones (2)

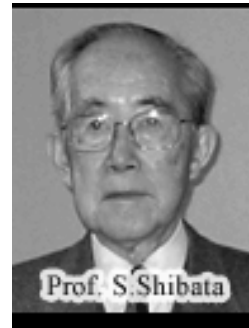
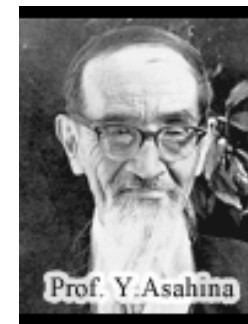
3.2 Pulvinic acid derivatives (12)

v závorce počty známých látek dané skupiny (Orange 2011)

Studium sekundárních metabolitů:



- odlišení rodů *Phycia* a *Xanthoria* na základě barvy stélky (přítomnost vs. absence parietinu) – počátek používání sek. metabolitů jako důležitých znaků pro taxonomii
- většina sekundárních metabolitů je ale bezbarvá! – s jejich detekcí je to obtížnější
- Nylander (Helsinky, Paříž) v 60. letech 19. století začal používat tzv. stélkové reakce – K, C; I
- Hesse + Zopf: 1. extensivní výzkum chemismu lišejníků
- velký pokrok – Japonsko, 30. léta – Asahina, Shibata – i struktura látek



Stélkové reakce:

- rychlé, jednoduché – dají se použít v terénu
- vhodné spíše na předběžné určení – konkrétní látku vhodné dále potvrdit citlivější metodou
- pomáhají detekovat nejen přítomnost studovaných látek (resp. skupin látek), ale i jejich konkrétní umístění ve stélce
- vhodné také k odlišení blízce si příbuzných druhů lišících se přítomností určité látky

Table 7.2. Reagents for thalline spot tests

K = 10% aqueous KOH solution

- Turns yellow then red with most *o*-hydroxyl aromatic aldehydes.
- Turns bright red to deep purple with anthraquinone pigments.

C = saturated aqueous $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ or common bleach (NaOCl) solution

- Turns red with *m*-dihydroxy phenols, except for those substituted between the hydroxy groups with a $-\text{CHO}$ or $-\text{CO}_2\text{H}$.
- Turns green with dihydroxy dibenzofurans.

KC = 10% aqueous KOH solution followed by saturated aqueous $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ or common bleach (NaOCl) solution

- Turns yellow with usnic acid.
- Turns blue with dihydroxy dibenzofurans.
- Turns red with C- depsides and depsidones which undergo rapid hydrolysis to yield a *m*-dihydroxy phenolic moiety.

PD = 5% alcoholic *p*-phenylenediamine solution

- Turns yellow, orange or red with aromatic aldehydes.

I – detekce polysacharidů

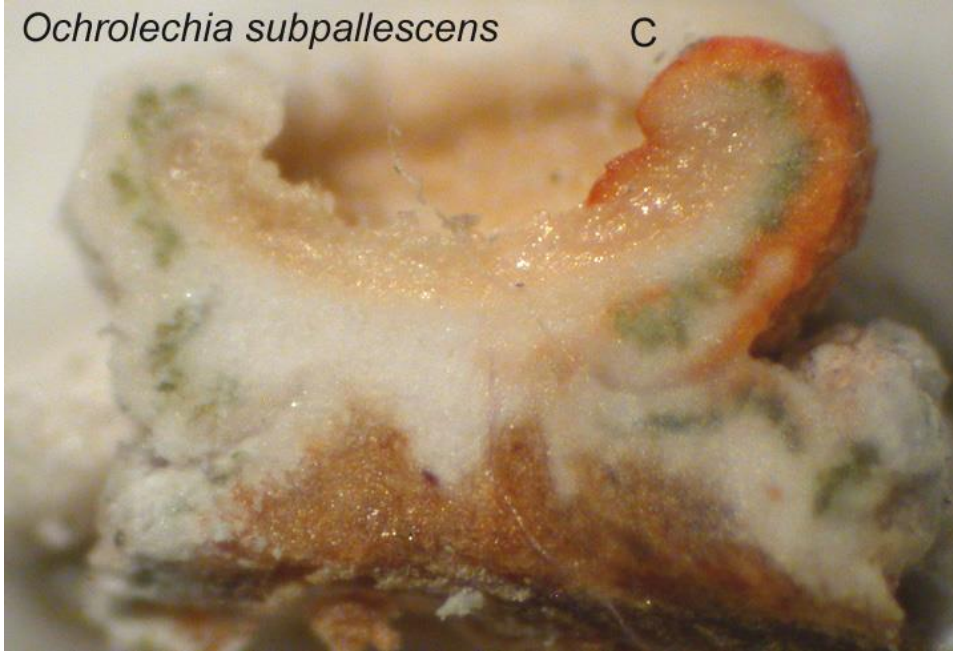


parietin přítomný ve stélce reaguje s K (K+ red)

Stélkové reakce:

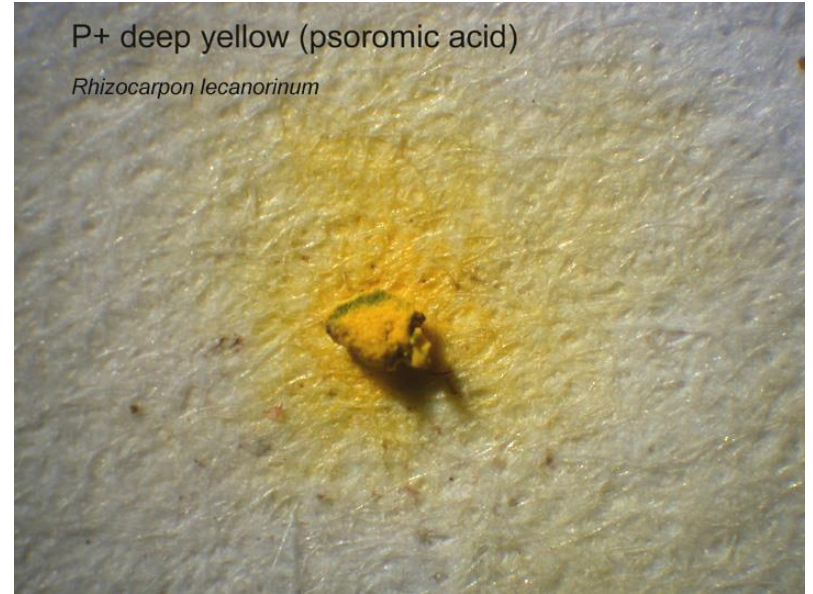
Ochrolechia subpallenscens

C



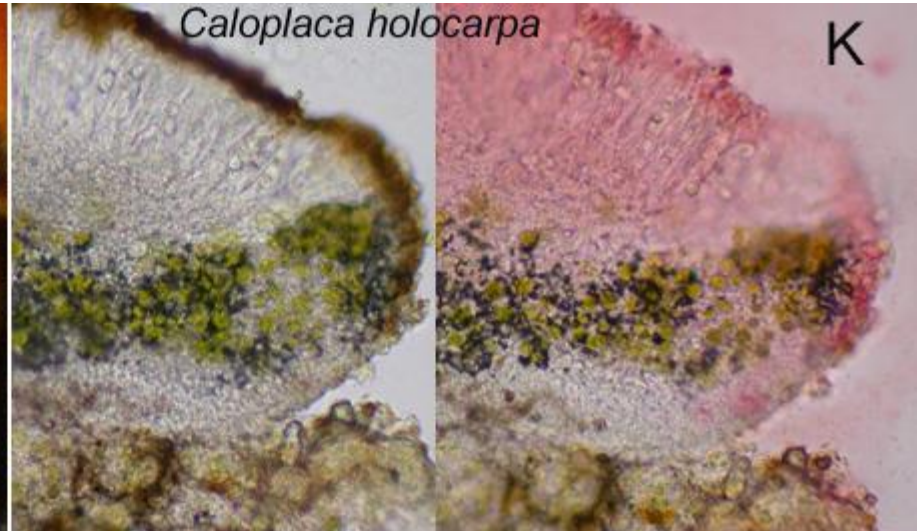
P+ deep yellow (psoromic acid)

Rhizocarpon lecanorinum



Caloplaca holocarpa

K



Mikrokrystalizace:

→ metoda založena na charakteristickém tvaru krystalů lišejníkových látek

→ tato technika vyvinuta Asahinou umožnila rutinní určování jednotlivých sek. metabolitů

extrakce lišejníkové stélky v acetonu

přenesení extraktu na podložní sklíčko

zahřátí (odpaření acetonu)

přidání vhodného rozpouštědla

zahřátí (odpaření rozpouštědla)

pozorování krystalů (porovnávání s literaturou)

Gyrophoric acid and lecanoric acid are difficult to distinguish from each other using thin-layer chromatography (section 9.6.1), but a microcrystal test can be used to distinguish these substances if one of them is known to be present (Fig. 2). Lecanoric acid produces clusters of well-developed long, curved crystals in GAW. Gyrophoric acid produces small clusters of short crystals in GAW, but the result is often poor, particularly if other substances are present. In GE, gyrophoric acid may appear as small wispy clusters of fine crystals, or as rounded aggregations of very small crystals (do not confuse with undissolved substance, which can appear as rounded aggregations in both substances). Lecanoric acid in GE forms clusters of needle-like crystals, but these are less well-developed than in GAW. These tests can be used to distinguish *Parmelia hofferi* (gyrophoric acid) from *P. subrudecta* (lecanoric acid); use GAW first, which should easily distinguish lecanoric acid, if present. If there is no result in GAW, repeat the test, if the second test is also negative, try GE.

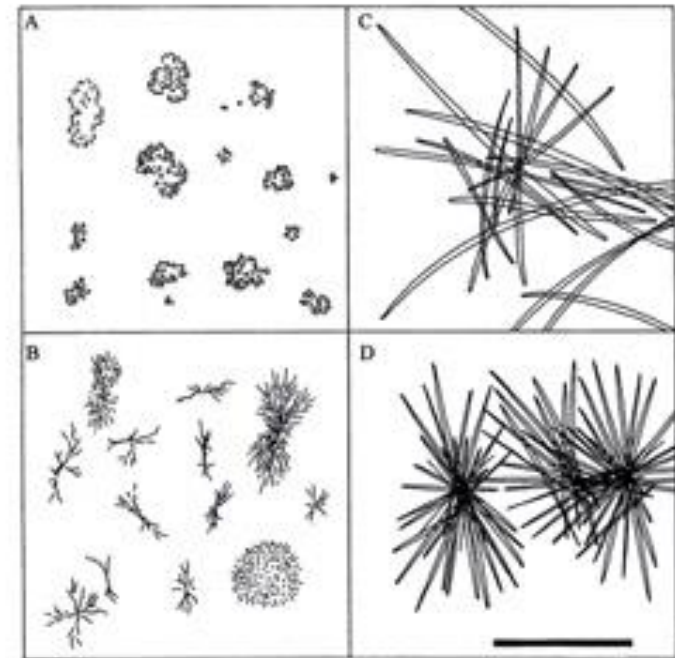
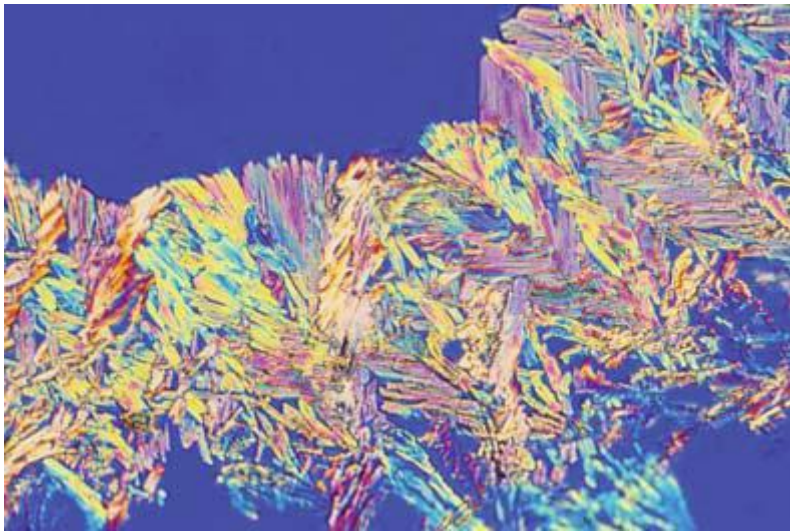
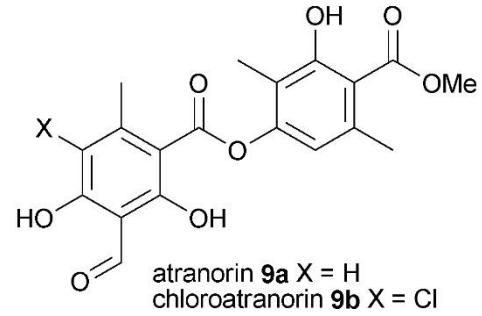


FIG. 2. Crystals of gyrophoric acid and lecanoric acid (diagrammatic). A, gyrophoric acid in GAW, B, gyrophoric acid in GE, C, lecanoric acid in GAW, D, lecanoric acid in GE. Scale = 50 μm .

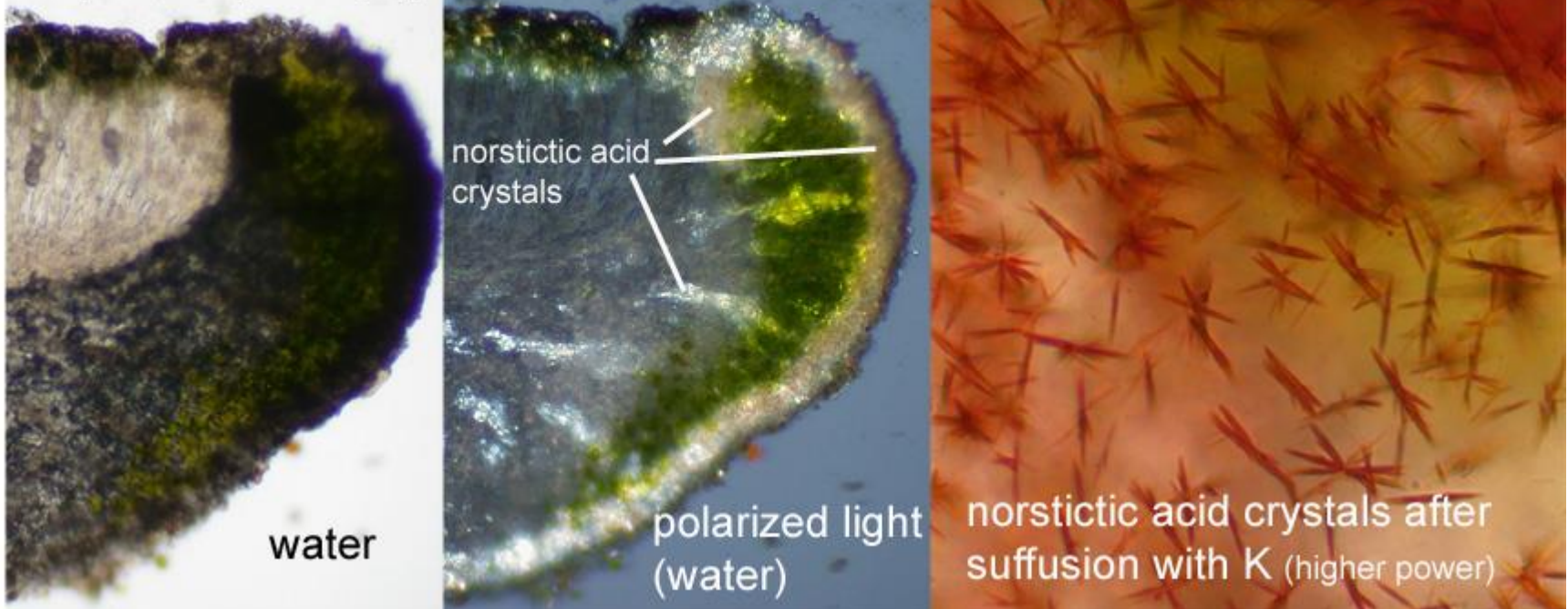
→ v současnosti nahrazeno citlivějšími metodami chromatografie



atranorin
(Stocker-Worgotter 2007)



Aspicilia sipeana, apothecial section



Tenkovrstevná chromatografie (TLC):

extrakce lišejníkové stélky v acetonu (včetně standardů)

nanesení na silikagelovou vrstvu TLC desky
(aceton se vypaří)

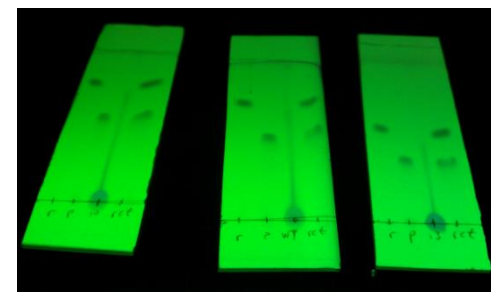
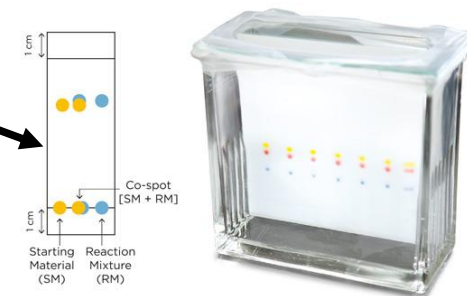
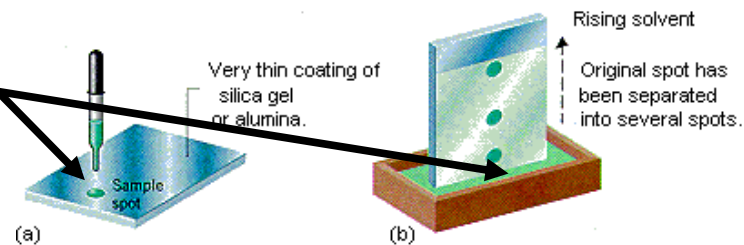
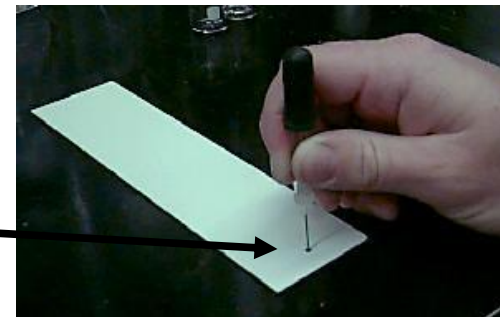
deska se postaví spodním okrajem do solventu

látky jsou unášeny nahoru společně s rozpouštědlem

po vyjmutí a usušení: namočení vodou
(detekce mastných kyselin)

aplikace kys. sírové a zahřátí („vyvolání“ skvrn)

pozorování skvrn (denní světlo, UV) a porovnávání s literaturou

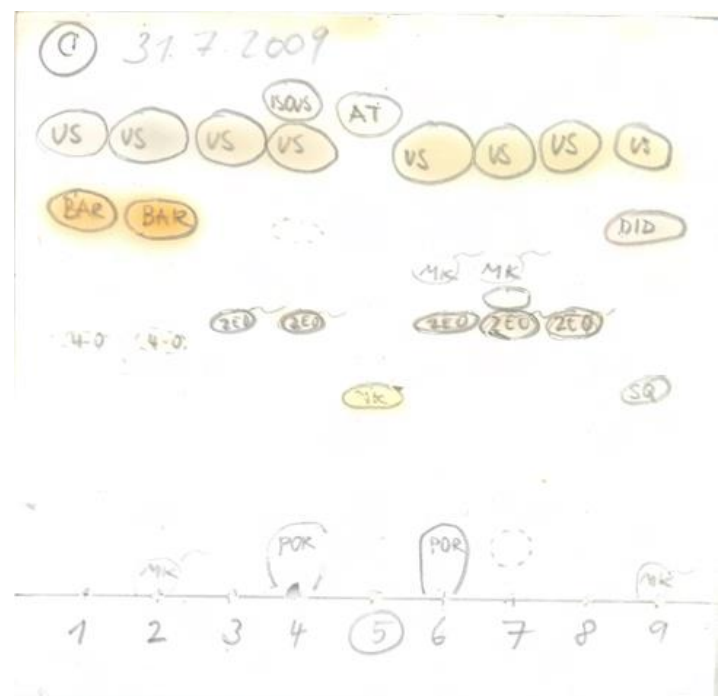
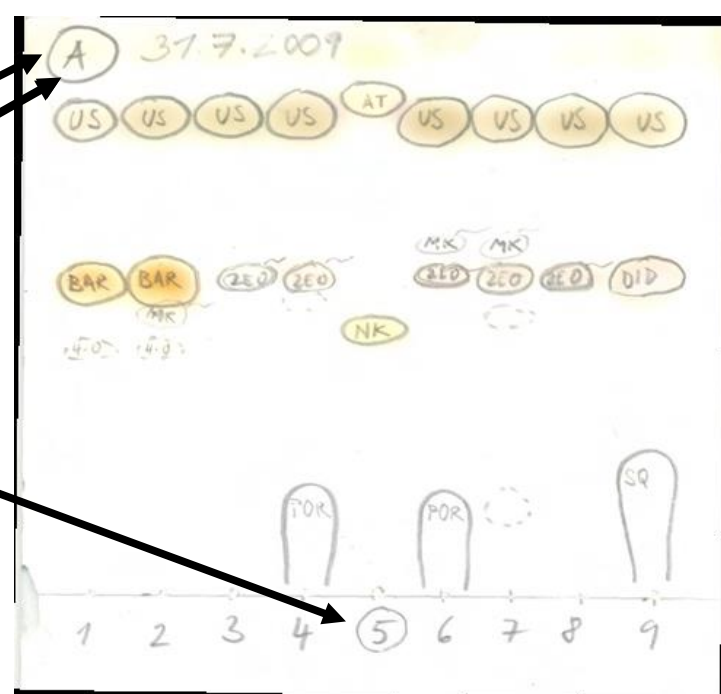


Tenkovrstevná chromatografie (TLC):

- hotové desky po zahřátí a ošetření kys. sírovou
- „A“, „C“ - různé rozpouštědlové systémy
- číslo 5 – standard (*C. symphy carpia*): atranorin + norstiktová kyselina – slouží pro orientaci a pro srovnání

- barva skvrny na denním světle
- barva skvrny pod UV zářením
- poloha skvrny
- = důležité vlastnosti pro určení sek. metabolitu

▼ TLC desky s látkami charakteristickými pro skupinu *C. coccifera*
(AT – atranorin (kontrola)
BAR – kyselina barbatová
DID – k. didymová
ISOUS – k. isousnová
MK – mastná kyselina
NK – k. norstiktová (kontrola)
POR – k. porphyrilová
SQ – k. squamatová
US – k. usnová
4-O – k. 4-O-demethylbarbatová)



Vysokoúčinná kapalinová chromatografie (HPLC):

→ „High performance liquid chromatography“

→ vhodnější pro některé skupiny látek

→ bývá používána jako doplněk k TLC či hmotnostní spektrometrii

→ rozpouštědlem je methanol (či jeho směs s acetonem); jednotlivé látky rozdělny v kolonce pod vysokým tlakem; detekce pomocí UV záření

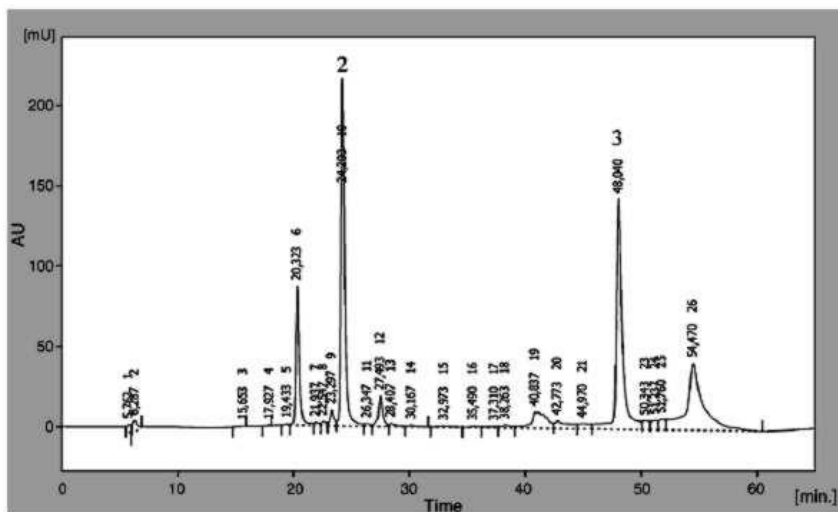
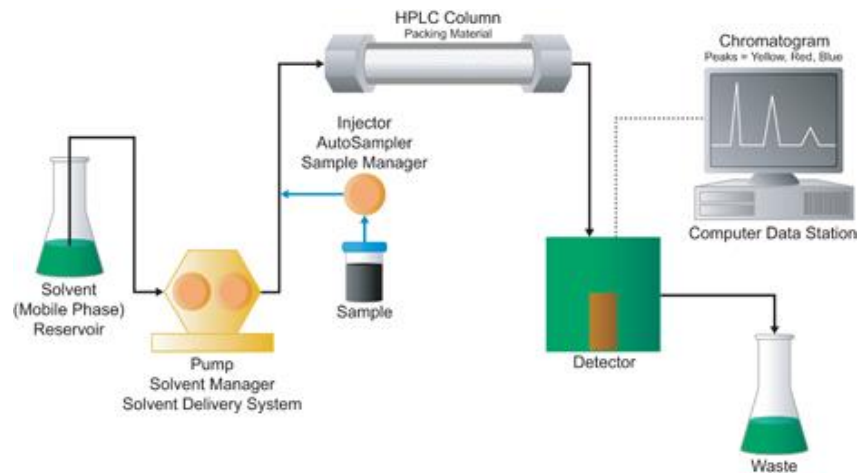


Fig. 2. HPLC-chromatogram of *Xanthoparmelia conspersa* methanolic extract containing stictic (2) and usnic (3) acids.



Plynová chromatografie (GC):

→ používá se pro xanthyony, antrachinony, dibenzofurany, terpeny a deriváty kys. pulvinové

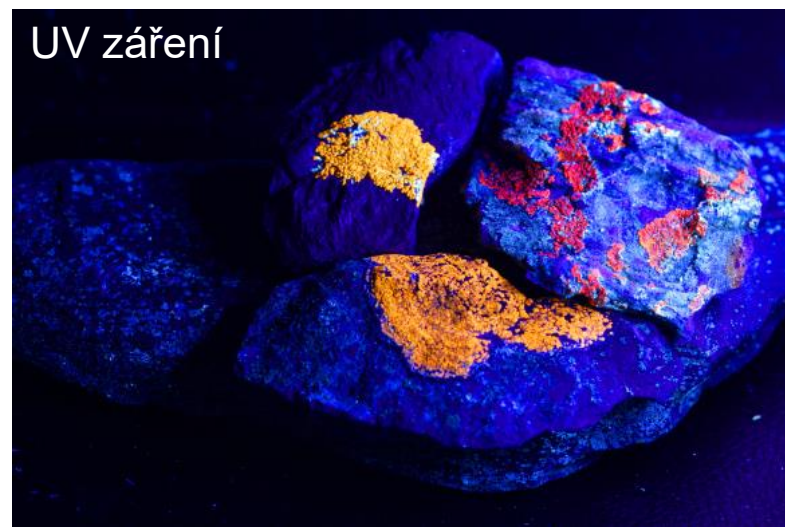
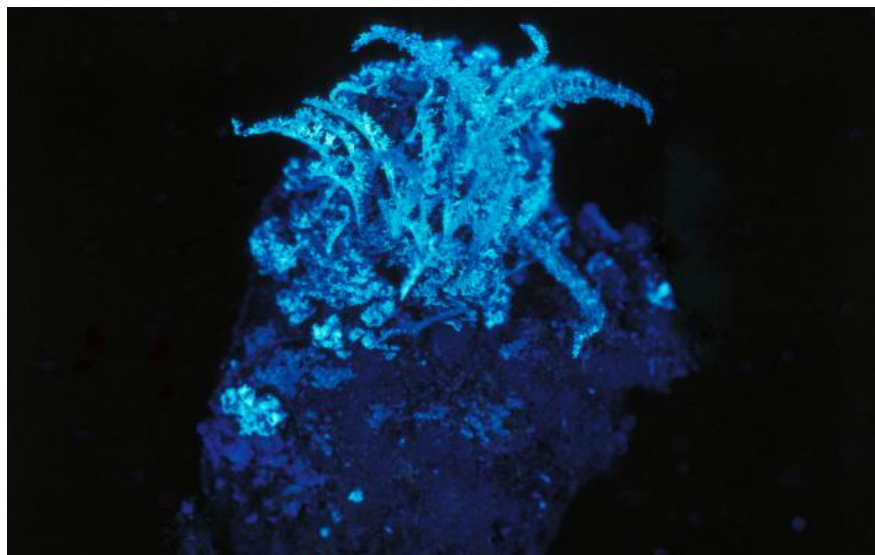
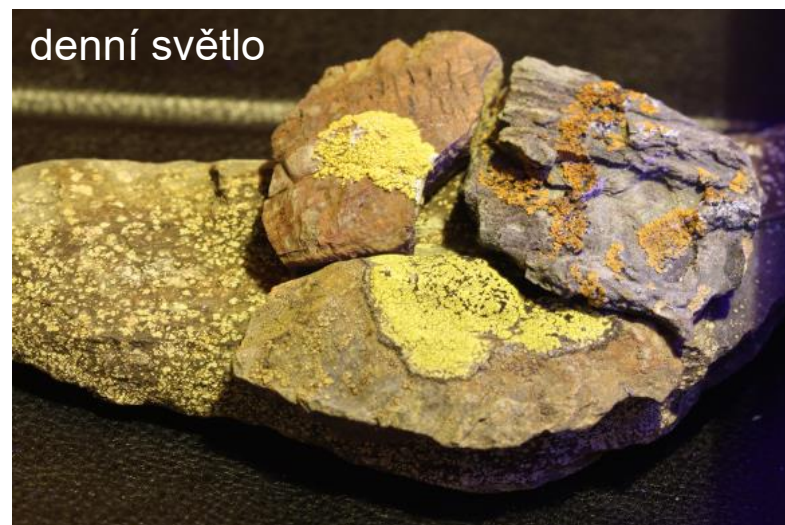
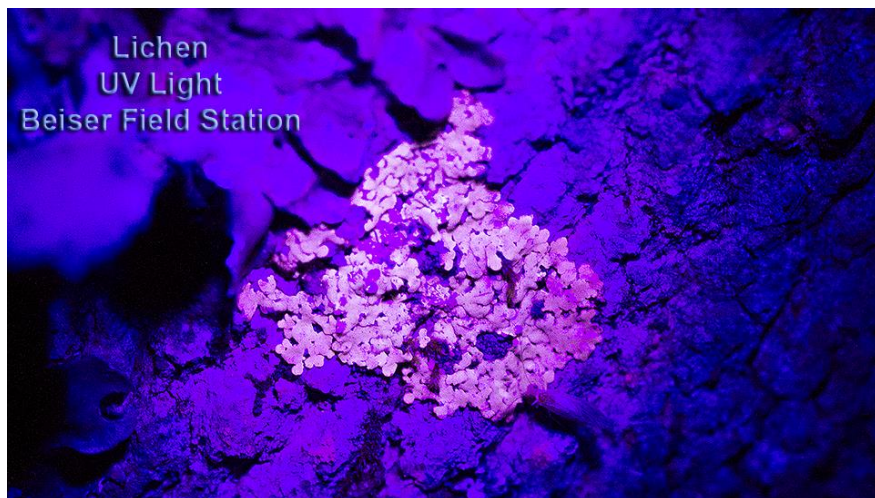
Další metody:

Fluorescence sekundárních metabolitů pod UV zářením

→ používá se dlouhovlnné UV záření (350 nm)

→ celá stélka se umístí pod zdroj UV záření

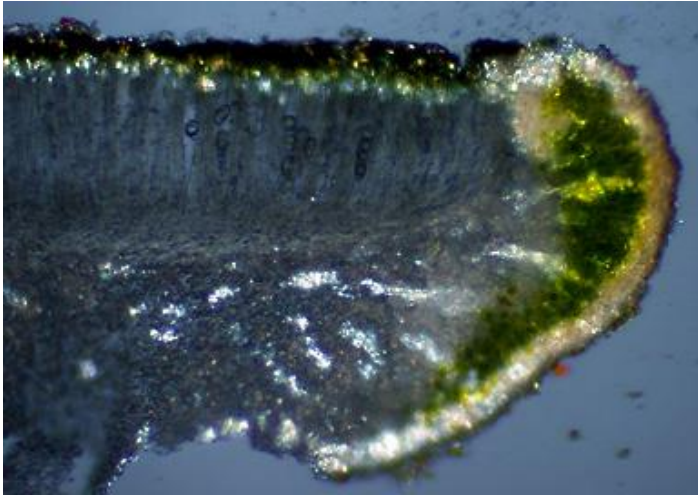
→ (tato vlastnost sekundárních metabolitů je vyžívána i při TLC, při vizualizaci skvrn pod UV)



Další metody:

Polarizované světlo

- krystaly a granule v apothéciích některých rodů (např. *Lecanora*, *Perthusaria*)
- zkoumá se přítomnost/absence krystalů, jejich umístění, velikost, rozpustnost



bez polarizovaného světla



s polarizovaným světlem



Mycoblastus sanguinarius

Význam sekundárních metabolitů:

- produkce sekundárních metabolitů je energeticky náročná (sek. metabolity až 30 % hmotnosti lišejníku) – k něčemu být musí, když do nich taková investice
- rozdílné názory na význam (často i rozporující si)
- izolované houbové kultury neprodukují sek. metabolity (či jiné než v lichenizované stélce) – mají tedy pravděpodobně význam i pro soužití partnerů

- ochrana před nadměrným slunečním zářením (především UV složkou, ale i PAR)
- ochrana proti herbivorii
- pomáhají zvyšovat toleranci vůči kovům (inhibují jejich toxické působení)
- allelopatické účinky
- antimikrobiální účinky
- obrana proti parazitům
- hydrofobní látky ve dřeni napomáhají zachovávat optimální podmínky pro fotosyntézu i ve vlhku
- upevňování vazby mezi jednotlivými mykobiontem a fotobiontem

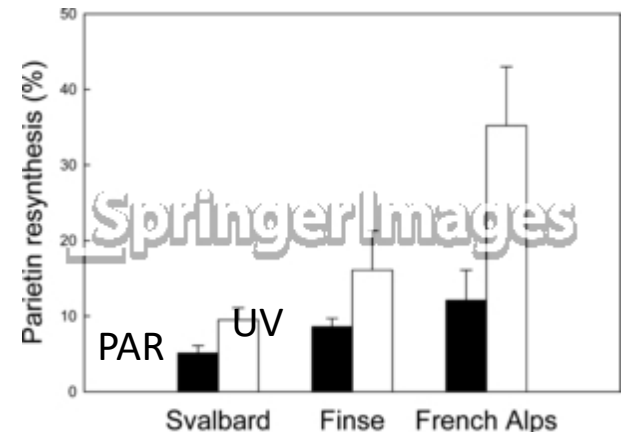
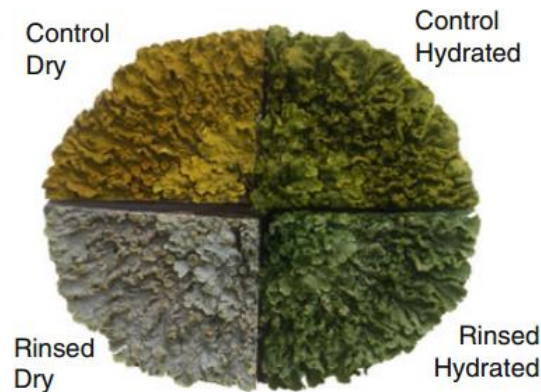
Sluneční záření:

- parietin
- atranorin
- kyselina usnová
- melanic compounds



sloučeniny vyskytující se v kůře lišejníku
většina lišejníků má pouze jednu z těchto látek

- v otevřených habitatech je výskyt těchto látek pravděpodobně nezbytnou podmínkou (ochrana před nadměrným ozářením)
- koncentrace těchto látek se liší **v prostoru** – v závislosti na expozici slunečnímu záření – osluněné stélky obsahují vyšší množství látek
- koncentrace těchto látek se liší **v čase** – sezónní výkyvy – v létě vyšší koncentrace než v zimě
- ochrana proti UV záření a proti příliš vysokým hodnotám PAR (fotosynteticky aktivní záření)
- *Trebouxia* (jeden z nejhojnějších fotobiontů) fotosyntetizuje nejefektivněji při relativně nízkém osvětlení



Sluneční záření:

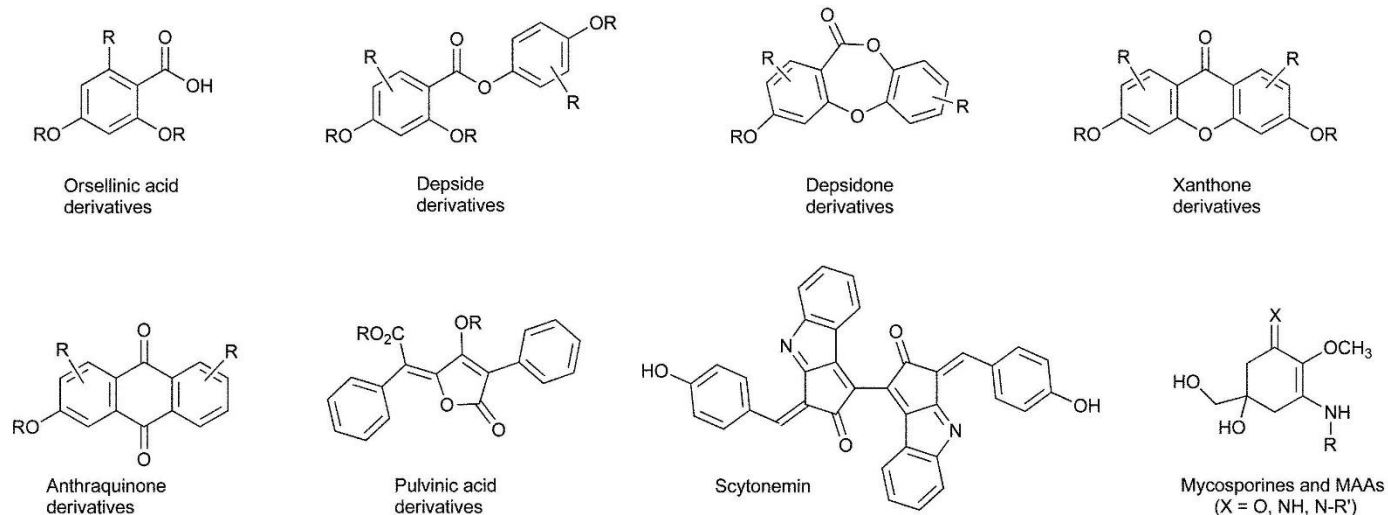


Fig. 6 Chemical structures of lichen UV-protectant metabolites.

„Lichens produce unique and/or efficient UV filters such as depsidones (lobaric acid, pannarin, etc.), depsides (atranorin, gyrophoric acid, etc.), diphenyl ethers (epiphorellic acids, buellin), bisxanthenes (secalonic acids, etc.), mycosporines and MAAs, scytonemin along with classical pigments (melanin, carotenoids).“

NPR

RSC Publishing

REVIEW

[View Article Online](#)
[View Journal](#) | [View Issue](#)

UV-protectant metabolites from lichens and their symbiotic partners

Cite this: *Nat. Prod. Rep.*, 2013, **30**, 1490

Khanh-Hung Nguyen, Marylène Chollet-Krugler, Nicolas Gouault and Sophie Tomasi*

Biotické interakce: Kompetice

= soutěžení o zdroj

špatně se měří, vyhodnocuje

větší organismy mají často výhodu

u kryptogam, mj. i u zejména lišejníků a mechorostů
neprobíhá kompetice mezi kořeny, tj. v substrátu o
živiny

hlavně tedy o **světlo** a **prostor** (Pentecost 1980)

lišejníky všeobecně slabí kompetitoři (naopak silní
specialisté v rámci S strategie)

Jak se studuje?

kontakty a překryvy stélek (Pentecost 1980)

- a) jeden druhého přeroste
- b) druhý prvního přeroste
- c) oba růst zastaví

často přerůstání
jednoho druhým
druhého nezlikviduje,
ten profituje v
mezerách či na
stárnoucích částech
stélky prvního, kde zase
místo

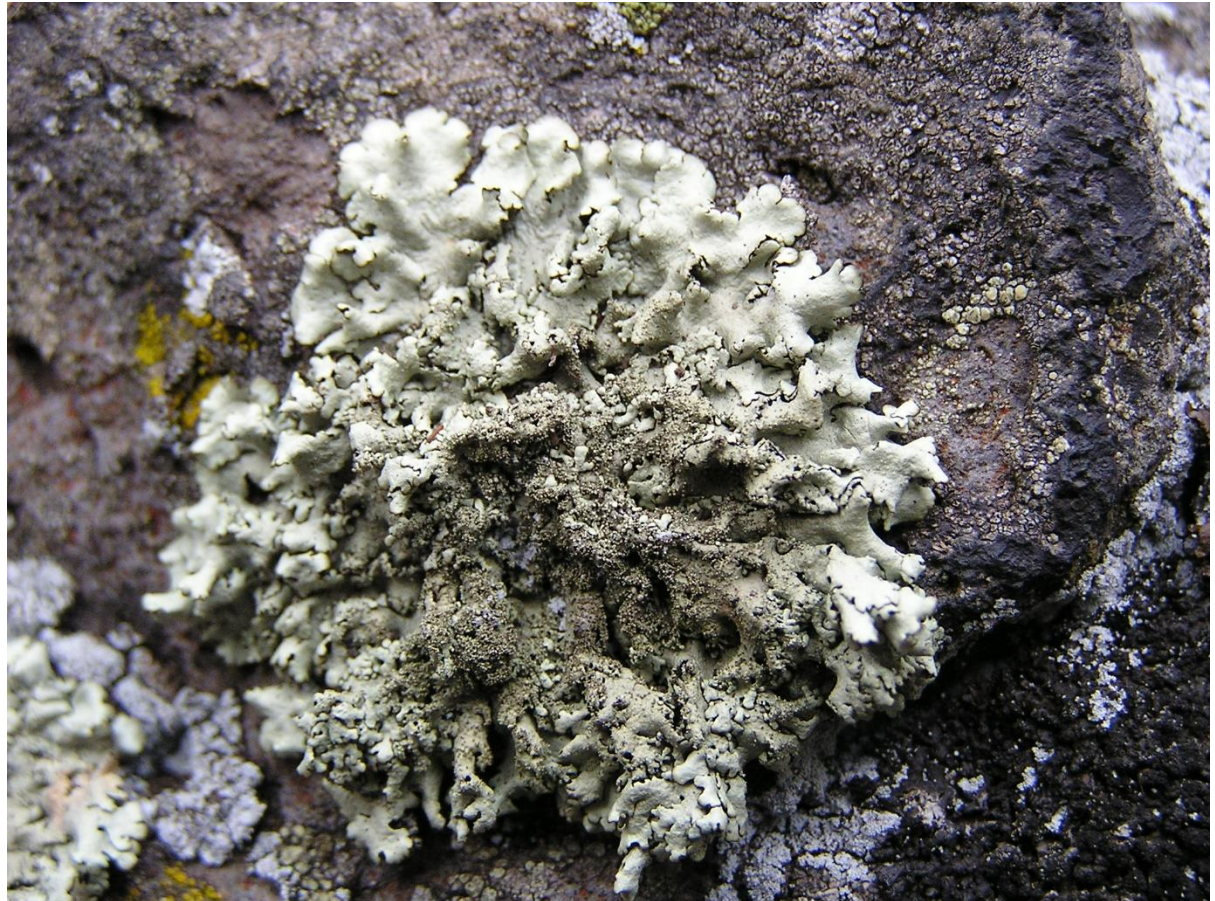


Armstrong a Welch (2007) jeden „podkope druhého a ten odpadne. Hlavně u lupenitých (Welch et al. 2006)



chemické interakce

alelopatie – chemické ovlivňování souseda.
krystalky látek na vnější straně hyf
(Gauslaa 2005)



Gauslaa Y. 2005. Lichen palatability depends on investments in herbivore defence. *Oecologia* 143: 94-105.

příklady studia kompetice

Caloplaca aurantia, *C. heppiana*

(Pentecost 1980) druhy dorostou k sobě, zastaví růst a pozmění se morfologie sousedících laloků – vyrovnání konkurenti



Caloplaca heppiana

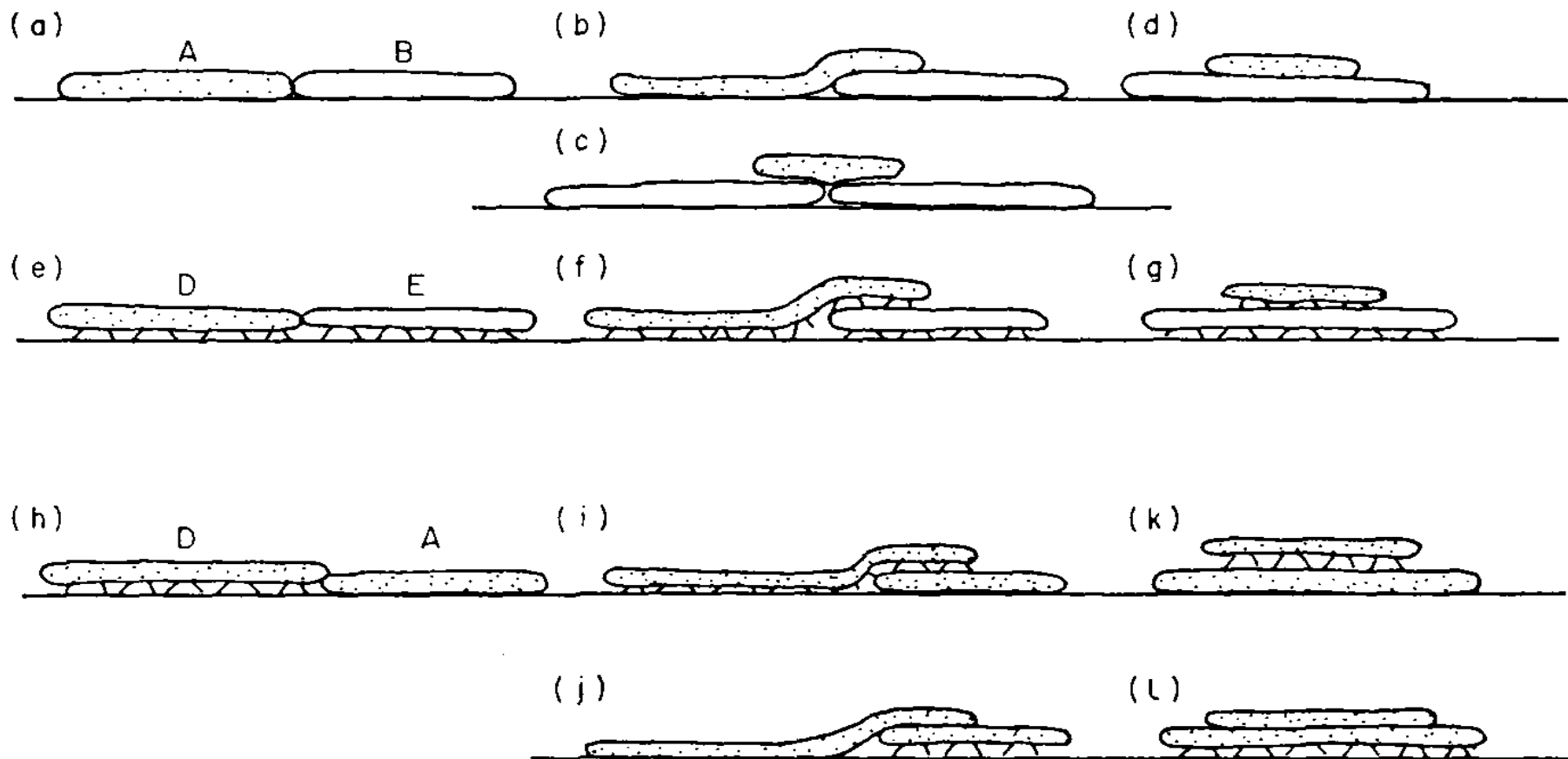


Caloplaca aurantia



Caloplaca aurantia

Joël QUERELLOU



Příčné řezy zobrazující možné typy interakcí mezi korovitými a lupenitými lišejníky: (a)-(d) Interakce mezi dvěma korovitými lišejníky, A a B. (a) růst obou druhů se zastavil. (b) A přerůstá B na okraji. (c) A přerůstá B na rozhraní. (d) A roste epifyticky na B. (e)-(g) Interakce mezi dvěma lupenitými lišejníky, D a E. (e) růst obou druhů se zastavil. (f) D přerůstá E na okraji. (g) D roste epifyticky na E. (h)-(l) Interakce mezi lupenitým a korovitým druhem, A - korovitý, D - lupenitý (h) růst obou se zastavil. (i) D přerůstá A na okraji. (j) A přerůstá D na okraji. (k) D roste epifyticky na A. (l) A roste epifyticky na D. (Pentecost 1980 v Černajová 2012)

4 hlavní faktory ovlivňující dynamiku (studovaných) společenstev:

- rychlost a hustota kolonizace
- rychlost radiálního růstu
- typ kontaktu mezi druhy
- rychlost udumírání stélek



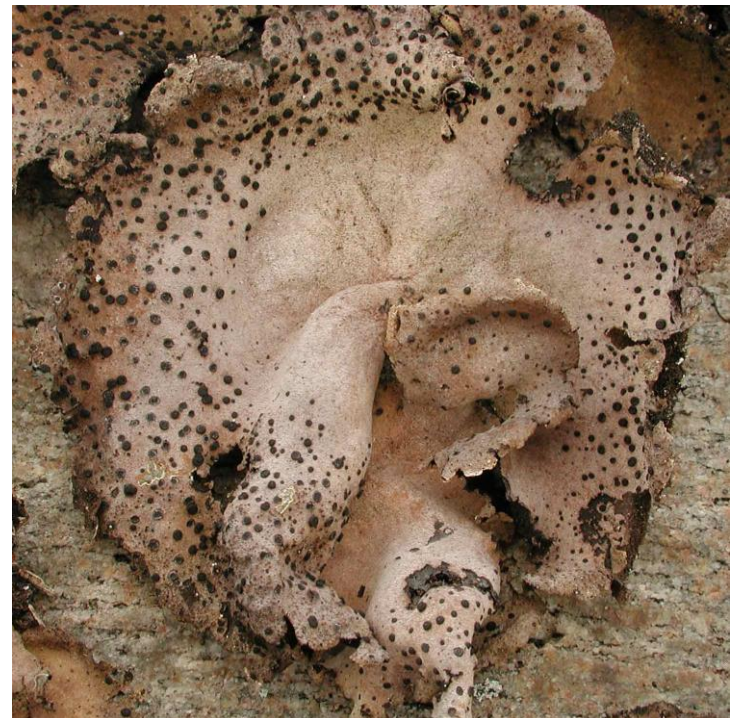
<https://www.fs.usda.gov>



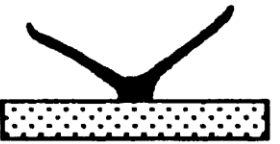
Hestmark 1997: Competitive behaviour of umbilicate lichens – an experimental approach. *Oecologia* 111: 523-528.



Lassalia pustulata
(Irish Lichens)



Umbilicaria spodochoea
(Fungi of Great Britain and Ireland)



Hestmark (1997): *Umbilicaria spodochoa* a *Lasallia pustulata* v závislosti na srážkách. Hygroskopický pohyb stélek odlišný:

L. pustulata začne expandovat horizontálně, když má zatočené okraje, rozvine je, některé části se tak nadzdvihnou nad substrát a pak znovu k povrchu.

U. spodochoa naopak výrazně svine okraje, až se může celá stélka dostat do vertikální polohy, pak se teprve zpět narovná, expanduje horizontálně a zcela nasáknutá leží na povrchu. Zároveň její odpověď je pomalejší než u *Lasallia* (6 a více sekund x 20 a více), tj. *U. spodochoa* se ve většině případů dostane nad *L. pustulata*.

Löbel et al. 2006, Welch et al. 2006:

v na živiny bohatých společenstvech je kompetice významnější, než ve společenstvech na živiny chudých (vyšší intenzita růstu, tj. více „potkávání“)



Löbel S., Dengler J. & Hobohom C. 2006. Species richness of vascular plants, bryophytes and lichens in dry grasslands: the effects of environment, landscape structure and competition. *Folia Geobotanica* 41: 377-393.

Welch A. R., Gillman M. P. & John E. A. 2006. Effect of nutrient application on growth rate and competitive ability of three foliose lichen species. *The Lichenologist* 38(2): 177-186.



Lawrey (1981): Kompetiční uvolnění a jeho vliv na strukturu společenstva:

2 společenstva, jedno hodně jednoduché kvůli znečištění ovzduší. Dominanty *Xanthoparmelia conspersa*, (ráda vysokou intenzitu světla) a *Flavoparmelia baltimorensis* (nižší intenzita), Obecně *F. baltimorensis* roste rychleji než *X. conspersa*. Ta druhá je ale generalista a po kompetičním uvolnění dokáže využívat daleko širší rozsah světla. Výsledek: ve znečištěném prostředí s méně konkurenty je *X. conspersa* mnohem početnější, než *F. baltimorensis*, která naopak dominuje v bohatém společenstvu.



Lawrey J. D. 1981. Evidence for competitive release in simplified saxicolous lichen communities. *American Journal of Botany* 68(8): 1066-1073.

Další příklady.....

Whiton a Lawrey (1982, 1984) – vliv kys. vulpinové na klíčení spor *Cladonia cristatella* – inhibice, ale druhově specifické



obecně – nikdy u lišejníků nebylo pozorované úplné kompetiční vyloučení

Další příklady.....

kompetice lišejníků a mechorostů – *Leptogium*, *Collema*
uschnou, ztvrdnou a dusí mechy (Barkman 1958)



Kompetice s jinými organismy:

Jahns 1982 – *Baeomyces rufus* a *Dicranella* a jiné mechy – sorédie, spojení, rychlé přerostení stélky mechy a udušení, pak zase dominuje mech a jinde stejný cyklus



Jahns H. M. 1982. The cyclic development of mosses and the lichen *Baeomyces rufus* in an ecosystem. *The Lichenologist* 14(3): 261-265.

Kompetice s jinými organismy:

Aptroot & Berg 2004 – chvostoskoci vyžírají řasy a mechy okolo stélek lišejníků, v lišejnících se zároveň schovávají a mají tam vlhko – tj. pomáhají lišejníkům kolonizovat, mutualistický vztah



Kompetice s jinými organismy:

Lawrey 1977, Gardner a Mueller (1981): sledovali vliv osmi látek (kyselin evernové, vulpinové, fumarprotocetrarové, psoromové, lekanorové, usnové, stiktové a atranorínu) na klíčení mechu rodu *Funaria hygrometrica*.

Většina z nich měla inhibiční účinky. Efekt byl závislý na použité kyselině a její koncentraci. Kyselina vulpinová se jevila jako nejtoxičtější. Dále byly různé vlivy na fáze životního cyklu. Např. kyselina fumarprotocetrarová a atranorín vůbec neovlivnily klíčení, ale zpomalovaly růst klíčku. Toxicita jednotlivých kyselin byla závislá ještě na pH a také na substrátu. Například kyselina usnová nebyla v kyselých podmínkách vůbec toxická, ale při pH 8 úplně inhibovala klíčení spor i růst klíčku. Mezi chemickou strukturou kyseliny a její toxicitou nenašli autoři žádnou korelaci.

Gardner C. R. & Mueller D. M. J. 1981. Factors affecting the toxicity of several lichen acids: effect of pH and lichen acid concentration. *American Journal of Botany* 68(1): 87-95.

Lawrey J. D. 1977. Inhibition of moss spore germination by acetone extracts of terricolous *Cladonia* species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 104(1): 49-52.

Sekundární metabolity syntetizované lišejníkem jsou nejúčinnější vůči gram-pozitivním bakteriím a houbám (Vartia 1973). Land a Lundström (1998) testovali efekt extraktů z druhu *Nephroma arcticum* na široké spektrum hub: *Candida glabrata*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus fumigatus*, *Aureobasidium pullans*, *Hormonema dematioides*, *Coriolus versicolor*, *Gleophyllum sepiarium*, *Phlebiopsis gigantea* a *Postia placenta*. Při všech byla zaznamenána určitá forma inhibice. Opět není jasné, které konkrétní látky jsou za ní zodpovědné, ani jak funguje. Podle autorů je možné, že nějakým způsobem je zasáhnuta buněčná stěna hub. Zajímavé je, že extrakty ze hávnatky *Peltigera aphthosa* neměly žádné účinky, i když se tyto dva lišejníky nacházejí na stejném habitatu.

Vartia K. O. 1973. Antibiotics in lichens. In: V. Ahmadjian & M. E. Hale, Jr. (eds.) *The Lichens*. Academic Press, New York, str. 547-561.

Land C. J. & Lundström H. 1998. Inhibition of fungal growth by water extracts from the lichen *Nephroma arcticum*. *The Lichenologist* 30(3): 259-262.



Votintseva (2007): tvorba plodnic *Fomes fomentarius* a *Fomitopsis pinicola* v závislosti na pokrytí stromu mechy a lišejníky - plodnice byly na substrátě s max. 20 % lišejníků a 5 % mechů. Přitom plodnice v co největší vzdálenosti od stélek. V případě, že byl celý kmen pokrytý epifyty, plodnice sa vytvořily na větších větvích. V případě víc než 80 % povrchu, plodnice hub se nevytvořily vůbec, dokonce ani na stromech, jejichž kmeny byly zevnitř zjevně shnilé. Vysvětlení: sekundární metabolity (nezmirňuje konkrétně), které se vymývají ze stélek do dřeva brzdí vývoj mycelií a zabraňují tak tvorbě plodnic.

Epifytické mechy a lišejníky by tak mohly zpomalovat rozklad dřeva, které je substrátem pro jejich vlastní existenci.



Votintseva A. A. 2007. Interspecific interactions of wood-decomposing fungi with epiphytic lichens and mosses. *Russian Journal of Ecology* 38(4): 285-288.

Ochrana proti herbivorii:

- ➔ sek. metabolity ve dřeni – jsou pod vrstvou s fotobiontem – neslouží tedy jistě jako ochrana proti slunečnímu záření
- ➔ tyto látky mají pravděpodobně antiherbivorní, antimikrobiální či antimykotický význam
- ➔ lišejníky rostou velmi pomalu – musí se tedy dobře chránit před spásáči

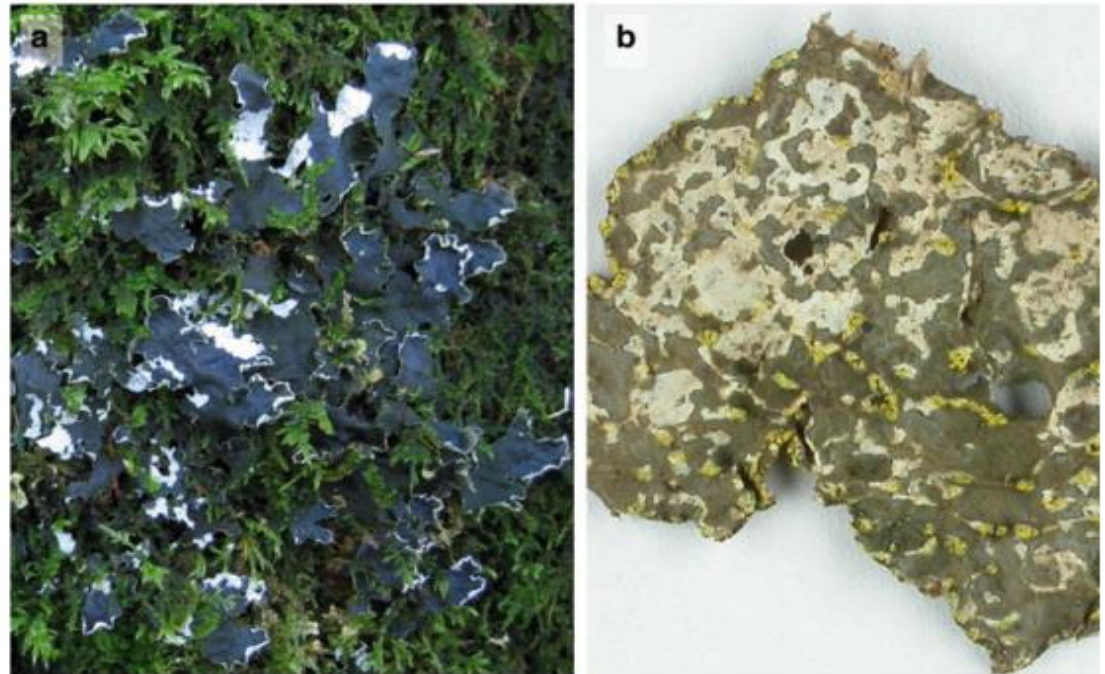
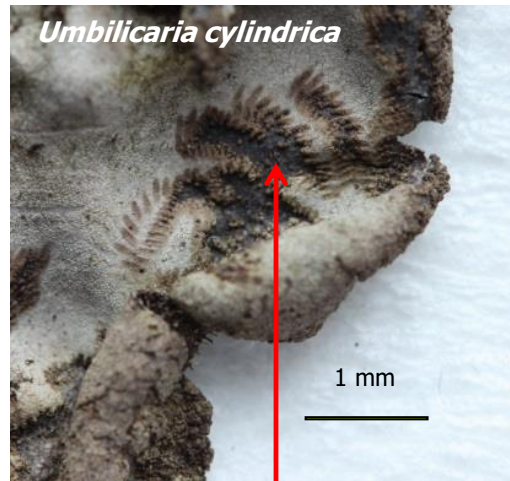


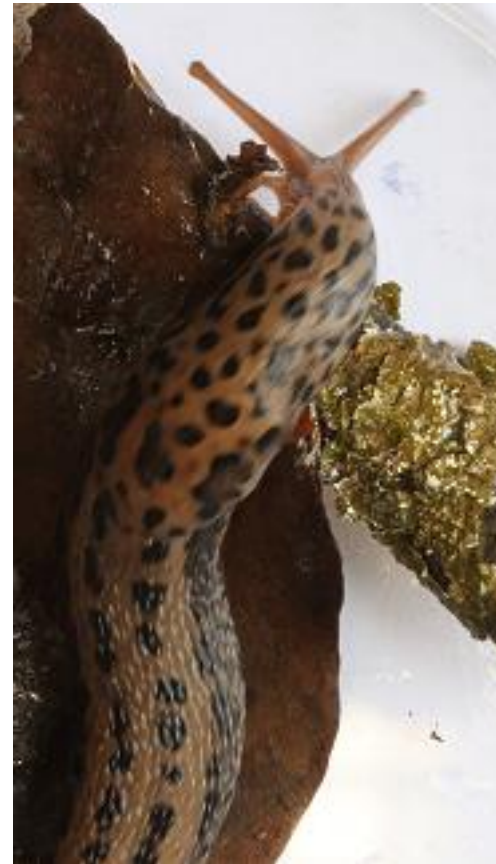
Fig. 5 Grazed *Peltigera polydactyla* (a; in the hydrated state) and *Pseudocyphellaria crocata* (b; air dry state). The gastropods have grazed the upper cortex and the photobiont layer whereas the medulla is not grazed. The gastropods avoided the yellow soralia in *P. crocata*. Unpublished photos: Yngvar Gauslaa (a) and Knut Asbjørn Solhaug (b)

Černajová - DP

Lehmannia marginata
podkornatka žíhaná



Cochlodina cerata
vřetenatka vosková



Cíle výzkumu

- zjistit, jestli sekundární metabolity chrání lišejníky proti plžům
- zjistit sílu predančního tlaku na lišejníky v přirozeném prostředí
- zmapovat preference spásačů v přirozených podmínkách

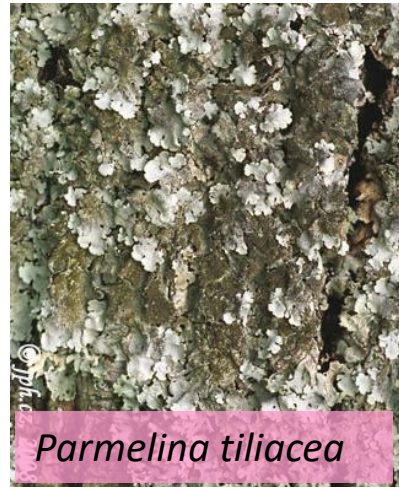
Černajová I. & Svoboda D. (2014): Lichen compounds of common epiphytic Parmeliaceae species deter gastropods both in laboratory and in Central European temperate forests. – *Fungal Ecology*, 11: 8–16.



Parmelia sulcata



Parmelia saxatilis



Parmelina tiliacea

atranorin



Melanohalea exasperata



Melanelixia glabratula



Melanelixia subaurifera



Melanelixia glabra

kyselina lekanorová



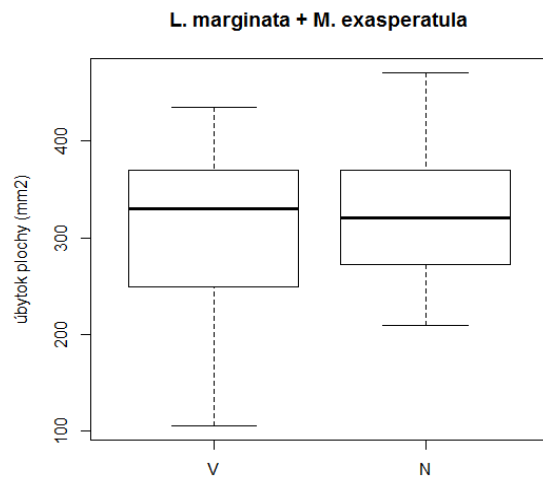
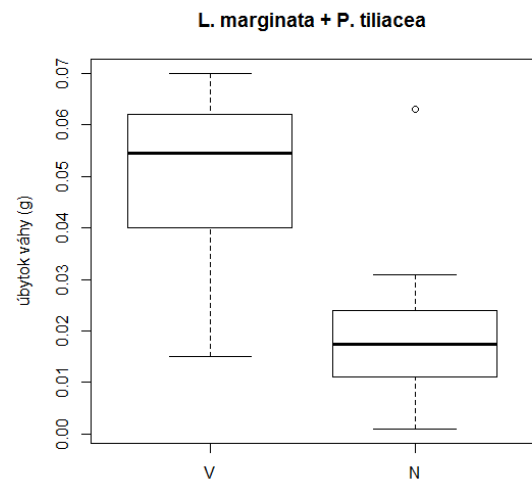
Melanohalea exasperatula

Laboratorní pokusy - metodika

- (podle Gauslaa 2005)
- polovina stélky vymytá acetone
- 2 ks plžů do komůrky
- 48/72 hodin
- 10 opakovaní
- úbytek plochy/hmotnosti



Laboratorní pokus:



Transplantační pokus - metodika

- podle Asplund et al. 2010



Transplantačný pokus - výsledky



Interakce s obratlovci:

kamufláž: americký mlok žere lišejníky, je v nich, rosničky se schovávají, mimikry plazi – samci galapážských želv na hroní části kaparaxu *Dirinaria picta*, samice nemají, odřeny.....



Ptáci – materiál na hnízda (hojně kolibříci), v lišejnících se schovává potrava ptáků, úbytek lišejníků místně korelován s úbytkem hmyzožravého ptactva

Savci - sobi cca 3-5 kg lišejníků za den, trávení dlouhé, lišejníky se také živí velbloudi a lamy, veverky selektivní výběr. Eskymáci jedí natrávený obsah žaludku sobů. Pouštní národové – Libye – *Lecanora desertorum* drcené jako mouka“sirsaf“

Interakce s obratlovci:



Wild winter plate: seared venison liver with laverbread, lichen, chrain, elderberries, gorse and wild leeks - www.thebotanist.com

Interakce s obratlovci: *Lecanora esculenta* (manna)



Mannaflechte (*Lecanora esculenta*) in der Wüste.





Parmelioid corticolous lichens as an ingredient of traditional spice (Amman, Jordan, 2019)

Antimikrobiální aktivita:

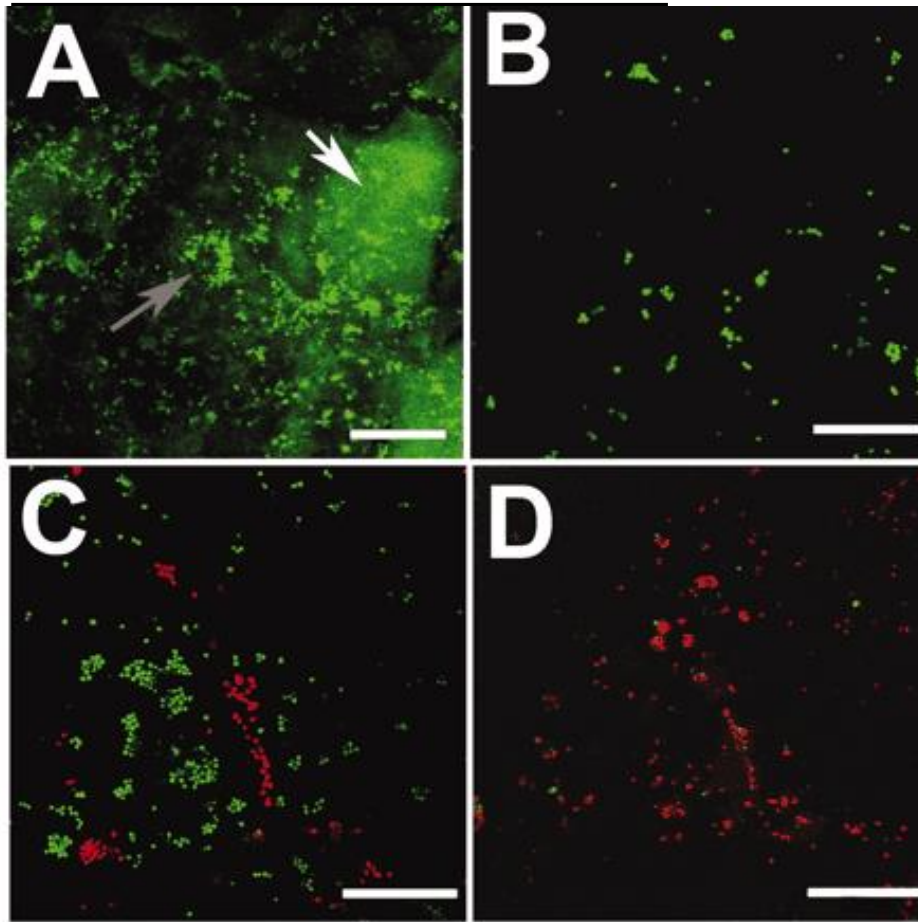


FIG. 6.

Confocal images showing *S. aureus* biofilm on the surfaces of the control polyurethane (A) and (+)-usnic acid-loaded polyurethane (B) disks 3 days postinoculation. The grey arrow indicates a cluster of cocci, and the white arrow indicates the biofilm slime matrix. Bar, 55 μm . *S. aureus* adhered to the usnic acid-loaded polyurethane disk after 30 min (C) and 24 h (D) stained with the Live/Dead BacLight viability kit. Bar, 125 μm . The predominance of red cells after 24 h indicated a progressive loss of viability.

„Škodlivé“ účinky sekundárních metabolitů:

- v severní v Evropě tradičně užívaná *Letharia vulpina* k trávení lišek a vlků (účinná na všechny masožravce) – toxin kyselina vulpinová – toxická i vůči hmyzu a měkkýšům, ale myši a králíci jsou rezistentní
- dermatitidy, alergické reakce, podráždění (dřevorubci v S Americe) – mohou způsobovat např. kyselina usnová, evernová, fumarprotocetrarová, stiktová a atranorin
- atranorin a kys. stiktová mohou způsobovat také fotosenzitivaci kůže
- v Severní Americe umírají sobi – pokud jsou nuceni opustit svůj obvyklý areál a dostanou se do nižších nadmořských výšek – začnou jíst *Xanthoparmelia chlorochroa*, kterou jinak nespásají (kyselina salazinová)

