

SEKUNDÁRNÍ METABOLITY LIŠEJNÍKŮ A JEJICH FUNKCE

Secondary metabolites of lichens and their functions



Gabriela Zvěřinová

*Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, katedra botaniky,
Benátská 2, CZ-128 01 Praha 2, email: zverinog@natur.cuni.cz*



Abstract:

Lichens produce a great variety of secondary metabolites, most of which are not known from vascular plants and unique to lichens. Besides the role of these compounds in chemotaxonomy and systematics, lichen secondary metabolites exhibit various biological functions and can affect biotic and abiotic interactions of lichens with their environment. This article reviews available literature on biotic interactions of lichens affected by secondary metabolites – allelopathy, antiherbivory and antimicrobial activity.



Key words: allelopathy, antimicrobial activity, herbivory.

Úvod

Sekundární metabolity u lišejníků jsou vytvářeny výhradně houbovým symbiontem (Elix & Stocker-Wörgötter 2008) a dle výsledků mnoha studií mají významnou roli v ekologii lišejníků (např. Rundel 1978, Gauslaa 2005, Molnár & Farkas 2010, Černajová & Svoboda 2014). Lišejníky produkují širokou škálu sekundárních metabolitů – zatímco v roce 1996 bylo těchto látek známo přibližně 700 (Huneck & Yoshimura 1996), dnes jich známe více než 1050 (Nguyen et al. 2013, Stocker-Wörgötter 2008). Jen malá část (cca 50–60 látek) z tohoto množství je známa i u hub nebo vyšších rostlin – tzn. většina z nich se vyskytuje pouze u lišejníků. Zpravidla se jedná o látky nerozpustné ve vodě, které mohou být ze stélky extrahovány pouze organickými rozpouštědly (Elix & Stocker-Wörgötter 2008). Tyto sloučeniny ovlivňují jejich biotické a abiotické interakce s okolním prostředím, ale také hrají roli v chemotaxonomii a systematice lišejníků.

Ochrana před herbivory

Lišejníky jsou spásány rozličnými herbivory – např. roztoči, slimáky, hlemýždi, soby či karibu (Molnár & Farkas 2010). Spásání není náhodné – v preferenci potravy herbivorů hrají velkou roli právě sekundární metabolity (Pöykkö & Hyvärinen 2003).

Studie potvrzují, že spásající vzorce u lišejníků jsou závislé na rozmístění ochranných látek. Reprodukční části (sorály) důlkatce *Lobaria scrobiculata* za normálních podmínek obsahují pětikrát více obranných sloučenin než části

somatické. Herbivoři tedy raději spásají části, které obsahují obranných látek méně. Pokud jsou však pomocí acetonu ze stélky vyextrahovány sekundární metabolity, herbivoři preferují sorály (Asplund et al. 2010). Preferenci stélek lišejníků s vyextrahovanými sekundárními metabolity potvrzují i další studie, např. Asplund & Gauslaa (2010), Černajová & Svoboda (2014) a Gauslaa (2005). Některé sekundární metabolity mohou vyvolávat zpomalení růstu larev, prodloužení larválního stádia či dokonce smrt (např. u *Spodoptera littoralis*, *Eilema*). Takové účinky může mít zejména kyselina usnová či kyselina vulpinová (Emmerich et al. 1993, Pöykkö & Hyvärinen 2003). Kyselina usnová může být toxická i pro obratlovce (Cook et al. 2007, Dailey et al. 2008).

Na herbivorii u lišejníků má vliv mj. velikost stélky, s níž souvisí i množství sekundárních metabolitů. Menší a mladší stélky obsahují méně obranných látek než větší stélky, a měly by tak být lépe přístupné herbivorům (Asplund & Gauslaa 2007).

Antimikrobiální aktivita sekundárních metabolitů

Sekundární metabolity s antimikrobiální aktivitou chrání lišejník před většinou přírodních patogenů (Molnár & Farkas 2010). Kyselina usnová extrahovaná z *Cladonia stellaris* vykazuje antimikrobiální aktivitu srovnatelnou se streptomycinem (daným standardem). Je schopna inhibovat rozličné bakterie (*Bacillus mycoides*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*) již ve velmi nízkých koncentracích (Lauterwein et al. 1995, Ranković et al. 2008, Tay et al. 2004). Antimikrobiální aktivitu vykazují také kyseliny fumarprotocetrarová, lekanorová, protocetrarová a stiktová, a to proti mnoha mikroorganismům (např. *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli*, *Aspergillus flavus*, *Candida albicans*, *Penicillium verrucosum*). Nejsilnější antibakteriální aktivitu vykazovala kyselina fumarprotocetrarová, která inhibovala veškeré testované bakterie, naopak nejslabší aktivitu vykazovala kyselina stiktová. Tou byly také inhibovány veškeré testované mikroorganismy, ovšem ve vyšších koncentracích (Ranković & Misić 2008).

Velmi důležitým zjištěním výše zmíněných studií je fakt, že sloučeniny chemicky nepřibuzné jiným známým antibiotikům vykazují antimikrobiální aktivitu proti významným patogenům.

Alelopatie

Alelopatie označuje jakýkoli proces zahrnující sekundární metabolity produkované rostlinami, řasami, bakteriemi či houbami, které mají vliv na vývoj přírodních a zemědělských systémů (International Allelopathy Society [online]). Lišejníky mohou tedy uvolňovat do prostředí alelopatické sekundární metabolity a pomocí nich ovlivňovat růst a vývoj okolních mechů, cévnatých rostlin, mikroorganismů i lišejníků (Macías et al. 2007, Rundel 1978).

Hávnatka *Peltigera canina* je schopna prostřednictvím alelopatických látek inhibovat klíčení semen a růst sazenic různých druhů trav (Pyatt 1967). Sekundární metabolity izolované z lišejníku *Lethariella canariensis* působí alelopaticky proti semenům běžných zahradních rostlin – inhibovaly proces klíčení např. u zelí, paprik, rajčat a hlávkového salátu (Marante et al. 2003). *Cladonia stellaris* a *C. rangiferina*, druhy běžné např. v boreálních lesích, mají alelopatický efekt na růst sazenic borovice Banksovy (*Pinus banksiana*) a smrku sivého (*Picea glauca*) (Fisher 1979).

Jak už bylo řečeno výše, lišejníky nevyužívají své alelopatické sekundární metabolity jen v kompetici s cévnatými rostlinami. Lawrey (1977a, b) uvádí inhibici klíčení spor mechů (*Funaria hygrometrica*, *Ceratodon purpureus* a *Plagiomnium cuspidatum*) kyselinou squamatovou a everniovou, případně acetonovými extrakty lišejníků rodu *Cladonia*. Může také docházet ke kompetici mezi samotnými lišejníky – zejména o životní prostor a světlo. I v tomto procesu hrají roli sekundární metabolity (Armstrong & Welch 2007). Možné výsledky této kompetice uvádí Pentecost (1980): 1) druh A přeroste druh B, 2) druh A roste epifyticky na druhu B nebo 3) na kontaktním místě neroste ani jeden z druhů.

Dle nedávno publikované studie mohou mít některé sekundární metabolity fytotoxické alelopatické účinky na fotobionta. Aplikace všech testovaných metabolitů (atranorin, chloroatranorin a kyseliny usnová, protocetrarová, fumarprotocetrarová, physodaliková, physodová a everniová) v nejvyšší dávce snížila růst buněk fotobionta. Sekundární metabolity tedy mohou potencionálně ovládat buněčné dělení řasového partnera a mohou hrát klíčovou roli v udržování rovnováhy mezi symbionty ve stélce (Lokajová et al. 2014).

Literatura

- Armstrong R. A. & Welch A. R. (2007): Competition in lichen communities. – *Symbiosis* 43: 1–12.
- Asplund J. & Gauslaa Y. (2007): Content of secondary compounds depends on thallus size in the foliose lichen *Lobaria pulmonaria*. – *Lichenologist* 39: 273–278.
- Asplund, J. & Gauslaa, Y. (2010): The gastropod *Arion fuscus* prefers cyanobacterial to green algal parts of the tripartite lichen *Nephroma arcticum* due to low chemical defence. – *Lichenologist* 42: 113–117.
- Asplund J., Solhaug K. A. & Gauslaa Y. (2010): Optimal defense: snails avoid reproductive parts of the lichen *Lobaria scrobiculata* due to internal defense allocation. – *Ecology* 91: 3100–3105.
- Cook W. E., Raisbeck M. F., Cornish T. E., Williams E. S., Brown B., Hiatt G. & Kreeger T. J. (2007): Paresis and death in elk (*Cervus elaphus*) due to lichen intoxication in Wyoming. – *Journal of Wildlife Diseases* 43: 498–503.
- 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.
- Dailey R. N., Montgomery D. L., Ingram J. T., Siemion R., Vasquez M. & Raisbeck M. F. (2008): Toxicity of the lichen secondary metabolite (+)-usnic acid in domestic sheep. – *Veterinary Pathology* 45: 19–25.
- Elix J. A. & Stocker-Wörgötter E. (2008): Biochemistry and secondary metabolites. – In: Nash III, T. H. [ed.], *Lichen Biology*, Cambridge University Press.
- Emmerich R., Giez I., Lange O. L. & Proksch P. (1993): Toxicity and antifeedant activity of lichen compounds against the polyphagous herbivorous insect *Spodoptera littoralis*. – *Phytochemistry* 33: 1389–1394.

- Fisher R. F. (1979): Possible allelopathic effects of reindeer-moss (*Cladonia*) on jack pine and white spruce. – *Forest Science* 25: 256–260.
- Gauslaa Y. (2005): Lichen palatability depends on investments in herbivore defence. – *Oecologia* 143: 94–105.
- Huneck S. & Yoshimura I. (1996): Identification of lichen substances. – Springer, Berlin & Heidelberg.
- International Allelopathy Society (IAS) (2014). – <http://www.international-allelopathy-society.org> [8. 8. 2014].
- Lauterwein M., Oethinger M., Belsner K., Peters T. & Marre R. (1995): In vitro activities of the lichen secondary metabolites vulpinic acid, (+)-usnic acid, and (-)-usnic acid against aerobic and anaerobic microorganisms. – *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 39: 2541.
- Lawrey J. D. (1977a): Adaptive significance of O-methylated lichen depsides and depsidones. – *Lichenologist* 9: 137–142.
- Lawrey J. D. (1977b): Inhibition of moss spore germination by acetone extracts of terricolous *Cladonia* species. – *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 104: 49–52.
- Lokajová V., Bačkorová M. & Bačkor M. (2014): Allelopathic effects of lichen secondary metabolites and their naturally occurring mixtures on cultures of aposymbiotically grown lichen photobiont *Trebouxia erici* (Chlorophyta). – *South African Journal of Botany* 93: 86–91.
- Macías F. A., Molinillo J. M., Varela R. M. & Galindo J. C. (2007): Allelopathy – a natural alternative for weed control. – *Pest Management Science* 63: 327–348.
- Marante F. J. T., Castellano A. G., Rosas F. E., Aguiar J. Q. & Barrera J. B. (2003): Identification and quantitation of allelochemicals from the lichen *Lethariella canariensis*: phytotoxicity and antioxidative activity. – *Journal of Chemical Ecology* 29: 2049–2071.
- Molnár K. & Farkas E. (2010): Current results on biological activities of lichen secondary metabolites: a review. – *Zeitschrift für Naturforschung* 65c: 157–173.
- Nguyen K. H., Chollet-Krugler M., Gouault N. & Tomasi S. (2013): UV-protectant metabolites from lichens and their symbiotic partners. – *Natural Product Reports* 30: 1490–1508.
- Pentecost A. (1980): Aspects of competition in saxicolous lichen communities. – *Lichenologist* 12: 135–144.
- Pöykkö H. & Hyvärinen M. (2003): Host preference and performance of lichenivorous *Eilema* spp. larvae in relation to lichen secondary metabolites. – *Journal of Animal Ecology* 72: 383–390.
- Pyatt F. B. (1967): The inhibitory influence of *Peltigera canina* on the germination of graminaceous seeds and the subsequent growth of seedlings. – *Bryologist* 70: 326–329.
- Ranković B. & Mišić M. (2008): The antimicrobial activity of the lichen substances of the lichens *Cladonia furcata*, *Ochrolechia androgyna*, *Parmelia caperata* and *Parmelia conspersa*. – *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 22: 1013–1016.
- Ranković B., Mišić M. & Sukdolak S. (2008): The antimicrobial activity of substances derived from the lichens *Physcia aipolia*, *Umbilicaria polyphylla*, *Parmelia caperata* and *Hypogymnia physodes*. – *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 24: 1239–1242.
- Rundel P. W. (1978): The ecological role of secondary lichen substances. – *Biochemical Systematics and Ecology* 6: 157–170.
- Stocker-Wörgötter E. (2008): Metabolic diversity of lichen-forming ascomycetous fungi: culturing, polyketide and shikimate metabolite production, and PKS genes. – *Natural Product Reports* 25: 188–200.
- Tay T., Türk A. Ö., Yilmaz M., Türk H. & Kivanç M. (2004): Evaluation of the antimicrobial activity of the acetone extract of the lichen *Ramalina farinacea* and its (+)-usnic acid, norstictic acid, and protocetraric acid constituents. – *Zeitschrift für Naturforschung* 59: 384–388.

Jako podklad článku posloužila práce bakalářská práce „Funkce sekundárních metabolitů u lišejníků“ obhájená na PřF UK Praha v roce 2014.