

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**Fakulta životního prostředí**



**Bakalářská práce**

**LITERÁRNÍ REŠERŠE: VÝZNAM SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ  
LIŠEJNÍKŮ PRO ČLOVĚKA, ETNOLICHELOGIE**

**Vedoucí práce: doc. RNDr. Jana Kocourková, CSc.**

**Bakalant: Alžběta Kubalíková**

**2013**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra ekologie

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kubalíková Alžběta

Územní technická a správní služba - kombinované Karlovy Vary

Název práce

**Význam sekundárních metabolitů lišejníků pro člověka, etnolichenologie (literární rešerše)**

Anglický název

**Lichen secondary metabolites, etnolichenology (literature research)**

---

### Cíle práce

Literární rešerše poskytující ucelený přehled významu sekundárních chemických látek lišejníků pro člověka a jejich využití od historie po současnost

### Metodika

Textová analýza odborných knih a vědeckých a odborných časopisů zaměřených na problematiku významu a využití sekundárních metabolitů lišejníků člověkem. Čerpání z odborných publikací dostupných v knihovnách a v internetových databázích. Excerptce informací a zaznamenání poznatků týkajících se sekundárních metabolitů lišejníků a jejich využití (etnolichenologie). Zpracování přehledné tabulky využívaných druhů lišejníků s udáním způsobu jejich využití (např. barviva, medicína, kulinářství atd.) a sekundárních metabolitů. Komentovaný seznam lišejníků.

### Harmonogram zpracování

- Duben – červen – seznámení s tématem bakalářské práce, účast na 1. Lichenologické konferenci o postupu BP (6/2012)
- Srpen – vyhledávání a shromažďování odborné literatury
- Září – říjen – excerptce poznatků týkajících se pojednávání problematiky, sepsání Osnovy práce a kapitol Úvod a Metodika, účast na 2. a 3. Lichenologické konferenci o postupu BP (9/2012, 10/2012)
- Listopad – zpracování kapitoly Význam sekundárních chemických metabolitů lišejníků v přírodě, účast na 4. Lichenologické konferenci o postupu BP (11/2012)
- Prosinec – excerptce a soupis informací o využití sekundárních metabolitů v historii
- Leden 2013 – excerptce a soupis informací o využití sekundárních metabolitů v současnosti, účast na 5. Lichenologické konferenci o postupu BP (1/2013)
- Únor 2013 – doplňky a korekce bakalářské práce
- Březen – duben 2013 – soupis kapitol Citovaná literatura, Přílohy a včasné odevzdání BP

### **Rozsah textové části**

40-60 stran

### **Klíčová slova**

chemismus lišejníků, sekundární metabolity, barviva, léčiva a potraviny z lišejníků, využití lišejníků

### **Doporučené zdroje informací**

Bolton E. M. (1960): Lichens for vegetable dyeing. – Studio Books.

Casselman K.L. (2011): Lichen Dyes (The New Source Book). - Dover Publications. 96 pp.

Gilbert, O. (2010): Collins New Naturalist Library (86). – Lichens (Kindle Locations 186-430). Collins. Kindle Edition.

Jarkovský M. (1978): Lišejníkové látky a jejich identifikace. – Pedagogická fakulta v Hradci Králové, Hradec Králové. 106 pp.

Liška J., Palice Z., Slavíková Š. (2008): Checklist and Red List of lichens of the Czech Republic. – Preslia 80: 151–182.

Nash III T. H. (2008): Lichen Biology (Second Edition). - Cambridge University, Cambridge. 486 pp.

Orange A., James P.W., White F.J. (2001): Microchemical Methods for the Identification of Lichens. – The British lichen Society, Londov. 101 pp.

Pišút I. (1984): Záhadný zelený lišajník. – Mladé letá, Bratislava. 100 pp.

Smith C. W., Aptroot A., Coppins B. J., Fletcher A., Gilbert O. L., James P.W., Wolseley P.A. (2009): The Lichens of Great Britain and Ireland. – The British Lichen Society, London. 1046 pp.

Wirth V. (1995): Flechtenflora (Bestimmung und Ökologische Kennzeichnung der Flechten Südwestdeutschlands und angrenzender gebiete). – Eugen Ulmer, Stuttgart. 661 pp.

### **Vedoucí práce**

Kocourková Jana, doc. RNDr., CSc.

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Vedoucí katedry



V Praze dne 4.9.2012

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan fakulty

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením doc. RNDr. Jany Kocourkové, CSc. a že jsem uvedla všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

Souhlasím se zveřejněním bakalářské práce.

V Sokolově dne 31. 3. 2013

### Poděkování

Chtěla bych poděkovat doc. RNDr. Janě Kocourkové, CSc. za vedení své bakalářské práce, za podporu, inspiraci a maximální možnou pomoc při jejím zpracování, RNDr. Janu Vítovi za ochotu a cenné rady při zpracovávání informací z biochemie a ing. Petru Uhlíkovi a ing. Michalu Skalkovi za poskytnutí lichenologické literatury.

V Sokolově dne 31. 3. 2013

## LITERÁRNÍ REŠERŠE: VÝZNAM SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ LIŠEJNÍKŮ PRO ČLOVĚKA, ETNOLICHELOGIE

### Abstrakt

Literární rešerše je zaměřená na použití lišejníků a jejich sekundárních metabolitů. Poskytuje ucelený přehled významu sekundárních chemických látek lišejníků pro člověka a jejich využití od historie po současnost (= etnolichenologie). Poznatky o využívání lišejníků a jejich sekundárních metabolitů byly vyexcerpovány z mnoha odborných knih a článků českých a především zahraničních lichenologů a z další specializované literatury doplněny o biochemické odborné údaje.

Excerpcí literatury bylo zjištěno, že studium extracelulárních sekundárních metabolitů, látek specifických pro lišejníky, vznikajících jako vedlejší produkt jejich metabolismu, je v popředí zájmu vědců taxonomů a v popředí aplikovaného výzkumu z důvodu využití speciálních vlastností těchto látek v mnoha oborech vědy. V současnosti je známých asi 1050 metabolitů a objevy dalších stále přibývají, nicméně tyto látky jsou jen minimálně prozkoumány z hlediska jejich možného využití člověkem. Kromě využití v taxonomii lišejníků jsou využívány v lékařství, kosmetice, drogistice i jiných oborech. Nejvýznamnější je využití metabolitů v lékařství, především jako náhrada synteticky vyráběných léčiv, na které začíná být lidský organismus rezistentní, jako zdroj účinných látek v léčbě prionových i dalších onemocnění. Své nezastupitelné místo mají sekundární metabolity mimo jiné i při výrobě parfémů známých jmen a dalších kosmetických a léčivých přípravků. Výsledky studií lišejníků exponovaných v kosmu ukázaly na rezistenci lišejníků vůči UV záření a přinášejí výsledky pro simulaci prostředí Marsu, vyhledávání planet vhodných k životu. Lišejníky jsou rovněž využívány k datování stáří morén či vulkanických ostrovů (obor lichenometrie). Sekundární metabolity si jistě zasluhují další studium.

**Klíčová slova:** chemismus lišejníků, sekundární metabolity, barviva, léčiva a potraviny z lišejníků, využití lišejníků

## **LITERARY REVIEW: IMPORTANCE OF SECONDARY METABOLITES OF LICHENS TO HUMANS, ETHNOLICHENOLOGY**

### **Abstract**

The literature recherche focuses on knowledge of using lichens and their secondary metabolites. It provides a comprehensive overview of the importance of lichen secondary metabolites to humans and of their use from the past to the present (i.e. ethnolichenology). Findings on the usage of lichens and their secondary metabolites were excerpted from a number of scietntific publications and papers by Czech but mainly foreign lichenologists, and with additional scientific biochemical data gathered from other specialised literature.

By literature search was found that the study of extracellular secondary metabolites, i.e. substances specific to lichens as by-products of their metabolism. Are in the focus of interest of both taxonomists and applied researchers due to the special properties of these substances, which may be put to use in many fields of science. At present, about 1,050 metabolites are known and additional are being continuously discovered. These substances, however, have been subjected to minimum research with respect to their potential use by humans. Apart from being utilised in lichen taxonomy, these metabolites are also used in the medical, cosmetic, pharmaceutical and other fields. The most important is the use of metabolites in medicine as a substitute for synthetically produced drugs to which human organism is becoming resistant or as a source of active substances in the treatment of prion and other diseases. In addition, secondary metabolites are an integral ingredient of well-known perfume brands and other cosmetic products or medicinal preparations. Results of studies of lichens exposed to the outer space environment have shown their resistance to UV rays, and their results are also implemented in simulations of the Mars environment and in the search for planets capable of sustaining life. Lichens are also used for age dating of moraines or volcanic islands (i.e. lichenometry). Thus, secondary metabolites undoubtedly deserve further research.

**Key words:** chemistry of lichens, secondary metabolites, dyes, pharmaceuticals and foodstuffs from lichens, lichen use

## Obsah

1. ÚVOD.....	10
2. CÍLE PRÁCE .....	11
3. METODIKA.....	11
4. LIŠEJNÍKY .....	12
5. METABOLISMUS LIŠEJNÍKŮ .....	13
5.1 PRIMÁRNÍ METABOLITY LIŠEJNÍKŮ .....	13
5.2 SEKUNDÁRNÍ METABOLITY LIŠEJNÍKŮ .....	14
6. IDENTIFIKACE LIŠEJNÍKOVÝCH LÁTEK – CHEMOTAXONOMIE .....	19
6.1 BAREVNÉ REAKCE (SPOT TESTS).....	21
6.2 MIKROKRYSTALIZACE .....	22
6.3 CHROMATOGRAFIE .....	23
6.3.1 PAPIŘOVÁ CHROMATOGRAFIE (PC) A CHROMATOGRAFIE NA TENKÉ VRSTVĚ (TLC) .....	23
6.3.2 KAPALINOVÁ CHROMATOGRAFIE (HPLC) .....	24
7. VÝZNAM SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ V PŘÍRODĚ .....	25
8. VÝZNAM SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ PRO ČLOVĚKA .....	28
9. HISTORIE VYUŽÍVÁNÍ SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ ČLOVĚKEM .....	29
9.1 LIŠEJNÍKY JAKO BARVIVA .....	29
9.2 LIŠEJNÍKY JAKO LÉK.....	31
9.3 LIŠEJNÍKY JAKO JED .....	33
9.4 LIŠEJNÍKY JAKO POTRAVINA .....	33
9.5 LIŠEJNÍKY JAKO SUROVINA PŘI VÝROBĚ KOSMETIKY .....	35
9.6 DALŠÍ VYUŽITÍ SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ .....	35
10. VYUŽITÍ SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ ČLOVĚKEM V SOUČASNOSTI .....	36
10.1 LIŠEJNÍKY JAKO BARVIVA .....	36



10.2 LIŠEJNÍKY JAKO LÉK.....	39
10.3 LIŠEJNÍKY JAKO SUROVINA K VÝROBĚ PARFÉMŮ A KOSMETIKY .....	48
10.4 LIŠEJNÍKY V POTRAVINÁCH .....	51
10.5 LIŠEJNÍKY A ALKOHOL .....	54
10.6 LIŠEJNÍKY JAKO BIOINDIKÁTORY ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ .....	55
10.7 LIŠEJNÍKY JAKO HERBICIDY .....	60
10.8 LICHENOMETRIE .....	60
10.9 DALŠÍ VYUŽITÍ LIŠEJNÍKŮ.....	61
10.9.1 RITUÁLY.....	61
10.9.2 DEKORACE.....	62
11. ŠKODLIVÉ ÚČINKY LIŠEJNÍKOVÝCH LÁTEK.....	63
12. LIŠEJNÍKY ROZDĚLENÉ PODLE ZPŮSOBU VYUŽITÍ .....	65
13. SEKUNDÁRNÍ METABOLITY VYUŽITELNÉ V MEDICÍNĚ .....	68
14. VÝSLEDKY PRÁCE .....	69
15. DISKUSE.....	71
16. ZÁVĚR.....	74
POUŽITÁ LITERATURA .....	75
INTERNETOVÉ ZDROJE .....	83

*Motto: Bříza, vrba, lišejník a člověk:*

*nic na světě není vytrvalejší*

*(Karel Čapek, 1936)*

## 1. ÚVOD

Svět přírody je od nepaměti nedílnou a nepostradatelnou součástí našeho bytí. Pro svou rozmanitost je zdrojem nekonečných možností poznávání a zkoumání. Bylo již sepsáno nespočet odborných publikací, encyklopedií, učebnic a článků. Většina z nich je bezesporu výsledkem mnohdy až mravenčí píle a práce autora. Cílem bývá zpravidla rozšířit obzor poznání, konstatovat nové, dosud nepoznané skutečnosti a tyto předložit pro další využití, případně sumarizovat a analyzovat poznatky již v minulosti získané. Spektrum takové literatury a množství v nich uvedených poznatků je úžasné a zabývat se jejich komplexním rozbohem v jediné publikaci je zajisté nemožné.

Ve své bakalářské práci se budu zabývat pouze biologickou skupinou lišejníků a formou literární rešerše se pokusím poskytnout ucelený přehled významu jejich sekundárních chemických látek pro člověka a jejich využití od historie po současnost.

Zásadním důvodem pro zvolení tohoto tématu mé práce je zejména skutečnost, že lišejníky jsou sice rozšířenými, přesto v populaci zpravidla neprávem přehlíženými organismy, proto chci tento jejich relativně málo poznávaný „svět“ v daném rozsahu tématu zmapovat a tím přiblížit i dalším zájemcům o tuto problematiku, případně získat zájemce nové. Zajisté lze v tomto oboru objevit celou řadu nových poznatků, které by přispěly pro další možnosti využití lišejníků pro člověka, v každém případě by byly dalším přínosem k tomu, aby se lidé více obraceli k přírodě jako přirozenému zdroji mnoha cenných látek a při šetrném a citlivém přístupu k přírodě, zdroji obnovitelnému.

## 2. CÍLE PRÁCE

Cílem práce je:

- shromáždění informací o využití jednotlivých druhů lišejníků v současnosti a v historii
- excerpce informací týkajících se využití sekundárních metabolitů lišejníků v dostupných odborných člancích a literatuře
- analýza, třídění a shrnutí poznatků o využití sekundárních metabolitů člověkem
- zpracování uceleného přehledu využití lišejníků a jejich sekundárních metabolitů podle způsobu využití člověkem a perspektivy pro budoucnost

## 3. METODIKA

V práci byly excerpovány informace a zaznamenány poznatky týkající se sekundárních metabolitů lišejníků a jejich využití, kterými se zabývá etnolichenologie.

Klíčovými slovy jsou: chemismus lišejníků, sekundární metabolity, barviva, léčiva a potraviny z lišejníků, využití lišejníků.

Čerpáno bylo z doporučených zdrojů: Bolton (1960), Gilbert (2010), Jarkovský (1978), Nash (2008), Orange et al. (2001), Pišút (1984), a dále z knih a především z vědeckých a odborných časopisů dostupných v knihovně Karlovy Vary i formou meziknihovní výpůjčky a z internetových zdrojů.

Závěrem jsem vypracovala přehlednou tabulku druhů lišejníků s udáním způsobu jejich využití.

Použitá nomenklatura odpovídá Červenému seznamu lišejníků ČR (Liška et Palice 2010) a nejnovějších zdrojů změn nomenklatury (Sohrabi et Ahti 2010). Pro vyhledávání nomenklatury lišejníků, které nežijí na území ČR a vyhledávání změn po roce 2010 byly použity zdroje MycoBank – „current names“ (MycoBank 2013) a Index Fungorum (Index Fungorum 2008).

#### 4. LIŠEJNÍKY

Lišejníky jsou jedny z nejzajímavějších organismů, které nás obklopují. Každý z nás se s nimi denně setkává, ale pokud netvoří větší porosty, většinou jim nevěnujeme pozornost, pro jejich malou, někdy až mikroskopickou velikost. Jsou opomíjené, přesto, že při pohledu zblízka, a to i bez mikroskopu, je svět lišejníků plný barev a rozmanitých tvarů (Čeněk 2009). Většina lišejníků je suchozemských, ale několik druhů se vykytuje i v sladkých vodách a v mořských přílivových zónách. Jsou schopny přežít v extrémních podmínkách, přizpůsobit se vysokým teplotám, suchu, kolísání hladiny v tocích, vysoké koncentraci látek znečišťujících prostředí, vysoké koncentraci těžkých kovů, nedostatku živin (Nash 2008) nebo dokonce přežít vystavení masivnímu UV a kosmickému záření ve vesmíru, které je pro jiné organismy a bakterie smrtící (Sancho et al. 2007, Sancho et al. 2008). Lišejníky se většinou považují za nevýznamné a neužitečné, ale opak je pravdou. Mají své nezastupitelné místo v ekosystému a i člověk je využíval od starověku a využívá i dnes, k velmi rozmanitým účelům (Čeněk 2009).

Lišejníky jsou zajímavé svou schopností vytvářet širokou škálu sekundárních látek a je relativně snadné tyto látky identifikovat a používat získané informace v taxonomii (Orange et al. 2001). Již Čelakovský (1876) napsal, že lišejníky nabyly netušené důležitosti a zajímavosti. Významem lišejníků pro lidstvo, se jako samostatná věda, zabývá etnolichenologie. Důvodem zájmu o lišejníky je nenáročnost na životní podmínky, pro kterou jsou označovány za průkopníky života, jejich anatomická stavba a barvy (Jarkovský 1978). Funkcemi lišejníků v ekosystému patří ochrana před mikroorganismy, hmyzem nebo jinými predátory, ovlivňování permeability buněčné stěny fotobionta a symbiotické rovnováhy nebo přísun minerálů ze substrátu prostřednictvím chelatujících látek, tj. látek majících více volných elektronových párů, tvořících proto velmi pevné a stabilní komplexy. Například některých alifatických látek. V extrémních podmínkách, například při změnách teploty nebo vlhkosti, se vytváří v lišejnících tzv. stresové metabolity (Huneck et Yoshimura 1996). Lišejníky ovlivňují úrodnost půdy, mohou být potravou nebo hnízdním materiálem pro ptáky, jsou zdrojem barviv, léků, jedů, jsou surovinou k výrobě parfémů i antibiotik, poskytují vlákninu, slouží k dekoračním účelům. Lišejníky jsou zdrojem potravy pro šneky, slimáky, roztoče, chvostoskoky a

jiné bezobratlé (Brodo et al. 2011, Hale et Cole 1988). Četné druhy jsou potravou pro býložravce, z lišejníků se získává i cukr a líh (Černohorský et al. 1956). V nejoslední řadě slouží jako bioindikátory znečištění ovzduší, v lesnictví se některé druhy považují za ukazatele vlastností lesního stanoviště (Brodo et al. 2011, Hale et Cole 1988). Objevily se i zprávy, o výskytu halucinogenních lišejníků, ale dosud nebyl popsán žádný druh, který by měl halucinogenní vlastnosti (Hofmann et Schultes 1996). Údajně lišejník *Acarospora socialis* H. Magn. používali indiáni k vaření halucinogenního nápoje při mystických rituálech a Indové věřili, že nápoj z tohoto lišejníku má hypnotické účinky na ženy a přináší štěstí při lovu a hazardních hrách. Vysokouúčinná kapalinová chromatografie (HPLC) však neprokázala žádné halucinogenní látky (Knudsen 2011).

## 5. METABOLISMUS LIŠEJNÍKŮ

Důsledkem zvláštní anatomické stavby stélky a způsobu života lišejníků je odlišný látkový a energetický metabolismus od jiných organismů. Lišejníkové látky zahrnují širokou škálu sloučenin (Orange et al. 2001). Existují dvě hlavní skupiny látek lišejníků. Primární (intracelulární) metabolity, obvyklé produkty látkové výměny a sekundární (extracelulární) metabolity houby, látky odlišné od produktů metabolismu jiných rostlin (Jarkovský 1978, Fahselt 1994 in Elix et Stocker-Wörgötter 2008).

### 5.1 PRIMÁRNÍ METABOLITY LIŠEJNÍKŮ

Mezi produkty primárního metabolismu, vyskytující se v lišejnících, patří bílkoviny, aminokyseliny, polyoly, karotenoidy, polysacharidy a vitamíny. Jsou vázány v buněčných stěnách a protoplastech, často jsou rozpustné ve vodě a mohou být extrahovány pomocí varu (Fahselt 1994 in Elix et Stocker-Wörgötter 2008). Většina produktů primárního metabolismu lišejníků je nespecifických a vyskytuje se také v nelichenizovaných houbách, řasách a cévnatých rostlinách. Jsou syntetizovány jak houbou, tak řasou a není proto vždy jasné, kde byl daný produkt syntetizován (Hale 1983 in Elix et Stocker-Wörgötter 2008). Z hlediska studia lišejníků mají přesto některé primární metabolity velký význam. Například glukany, isolichenany a lichenany, které se vyskytují v buněčných stěnách, mají význam v taxonomii, karotenoidy jsou v současnosti předmětem studia evolučních vztahů (Egan 2010).

Primární metabolity jsou důležitým faktorem sloužícím k přežití lišejníků. Díky trvale udržované vysoké koncentraci osmoticky aktivních látek v buňkách mykobiontů i fotobiontů, především cukrů (sacharózy, trhalózy) a také polyhydričních alkoholů (sorbitol, mannitol) a aminokyselin (prolin), i stále přítomných ochranných proteinů, dehydrinů, se daří udržet integritu buněčných membrán a uspořádání funkčních proteinů (Gloser 2008).

## 5.2 SEKUNDÁRNÍ METABOLITY LIŠEJNÍKŮ

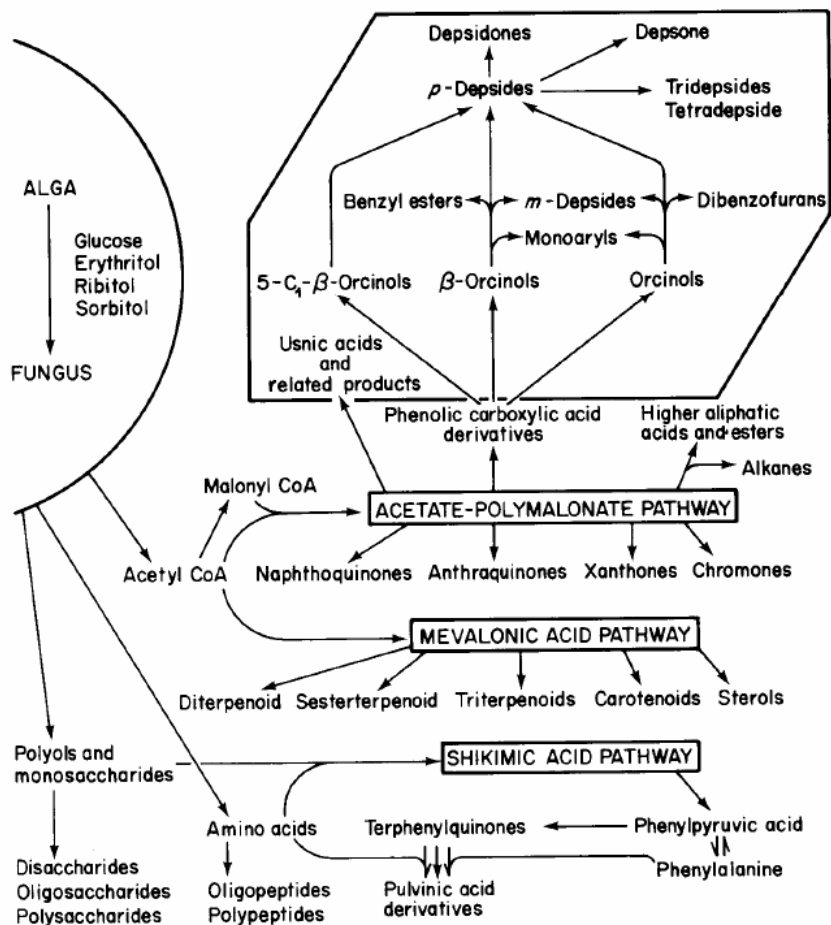
V přírodě jsou sekundární metabolity lišejníků ojedinělým typem sloučenin. Často byly označovány jako „lišejníkové kyseliny“, pro svou kyselou povahu (Gabriel 1993). Stejně jsou však nazývány lišejníkovými látkami (Jarkovský 1978). Jsou produktem symbiotického soužití houby s řasou či sinicí, ani jedna ze složek asociace je zpravidla sama nevytváří (Liška 2000). Sekundární metabolity jsou složité molekuly, které tvoří až 20% hmotnosti sušiny stélky (Mitrović et al. 2011). Většina organických látek lišejníků jsou sekundární metabolity. Tyto chemicky různorodé lišejníkové látky jsou většinou krystalické sloučeniny, uložené na povrchu hyf. Některé jsou barevné (bývají uloženy v kůře), ale většina z nich je bezbarvých (uložené ve dřeni). Například *Pseudocyphellaria crocata* (L.) Vain. má ale žlutou a *Solorina crocea* (L.) Ach. oranžově červenou dřev. Většinou jsou nerozpustné ve vodě a mohou být extrahovány pomocí organických rozpouštědel. U různých druhů lišejníků mají různou funkci. Obsah lišejníkových látek se vztahuje na sušinu stélky a je ve srovnání se vyššími rostlinami poměrně značný.

Díky vývoji analytických technik a experimentálních metod bylo zatím identifikováno asi 1050 lišejníkových látek (Molnár et Farkas 2010). Všechny sekundární metabolity, které jsou charakteristické pro lišejníky. Většinou tyto látky vytváří mykobiont. Většina z nich je pro lišejníky unikátních a jen malá část (cca 50 – 60) se vyskytuje i u jiných hub nebo cévnatých rostlin (Jarkovský 1978, Liška 2000, Elix et Stocker-Wörgötter 2008). Přestože se naše znalosti o příspěvku těchto extracelulárních produktů k úspěchu symbiózy lišejníků v posledních desetiletích zvýšily signifikantně, jejich biotické a abiotické role dosud nebyly zcela prozkoumány (Molnár et Farkas 2010).

Účinek lišejníkových látek se projevuje buď ve vlastní stélce, nebo při interakcích lišejníku s prostředím – ochranná úloha (Gabriel 1993).

Sekundární metabolity jsou syntetizovány pomocí různých chemických přeměn, a to od několika základních sloučenin. Transformace se dělí do tří chemických cest (obr. č. 1), pojmenovaných po příslušných bazických sloučeninách.

Obr. č.1 Pravděpodobné biochemické cesty lišejníkových sloučenin (Egan 2010)



Níže uvedená tabulka uvádí hlavní cesty syntézy sekundárních metabolitů: acetyl-polyamónátová syntéza, syntéza kyseliny mevalonové, syntéza kyseliny šikimové (Tab. č. 1). Vedle každé třídy je v závorkách číslo, které je přibližným počtem sekundárních metabolitů známých v této třídě. Většina sekundárních metabolitů je odvozena z acetyl-polyamónátové dráhy. Existuje mnoho sekundární metabolitů, pro které není chemická struktura dosud stanovena a jejichž funkce není dosud známa (Elix et Stocker-Wörgötter 2008).

Tab. 1 Hlavní skupiny sekundárních metabolitů lišejníků (Nash et al. 2008)

## 1. Acetyl-polyamonátová syntéza

1.1. Sekundární mastné kyseliny, estery a jejich deriváty (45)

1.2. Polyketidy derivátů aromatických sloučenin

1.2.1. mononukleární fenolové sloučeniny (19)

1.2.2. di-, tri-aryl deriváty jednoduchých fenolických jednotek

1.2.2.1. depsidy, tridepsidy a benzylestery (185)

1.2.2.2. depsidony, difenyl ethery (112)

1.2.2.3. depsony (6)

1.2.2.4. dibenzofurany, kyselina usnová a její deriváty (23)

1.2.3. antrachinony a biogenní xanthony (56)

1.2.4. chromony (13)

1.2.5. naftachinony (4)

1.2.6. xanthony (44)

## 2. Syntéza kyseliny mevalonové

2.1. di-, sester-, tri-terpeny (70)

2.2. steroidy (41)

## 3. Syntéza kyseliny šikimové

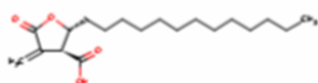
3.1. terfenylchinony (2)

3.2. deriváty kyseliny pulvinové (12)

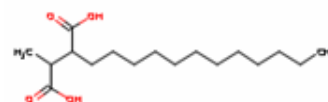
3.3. epidithiodioxopiperaziny (nové)

## 1. Acetyl-polyamonátová syntéza (Chooi 2008)

1.1 Sekundární mastné kyseliny, estery a jejich deriváty



kyselina protolichesterinová

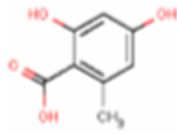


kyselina rocellová

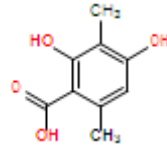


## 1.2 Polyketidy derivátů aromatických sloučenin

### 1.2.1 mononukleární fenolové sloučeniny



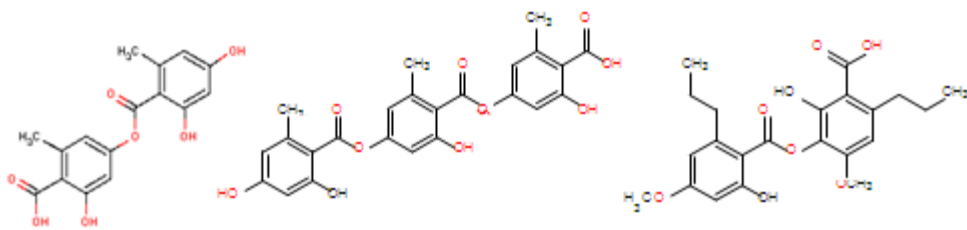
orcinol



$\beta$ -orselinol

### 1.2.2 di-, tri-aryl deriváty jednoduchých fenolických jednotek

#### 1.2.2.1 depsidy, tridepsidy a benzylestery

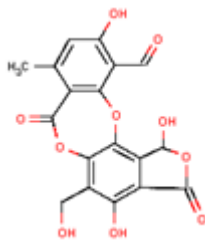


kyselina lekanorová (*para*-depsid)

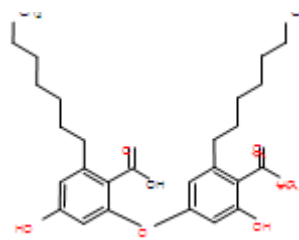
kyselina gyroforová (tridepsid)

kyselina sekikaová (*meta*-depsid)

#### 1.2.2.2 depsidony, difenyl ethery

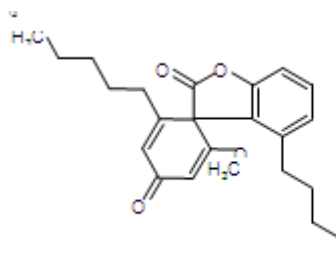


kyselina salazinová (depsidon)

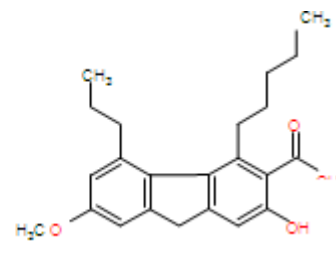


kyselina mikareová (difenyl ether)

#### 1.2.2.3 depsony

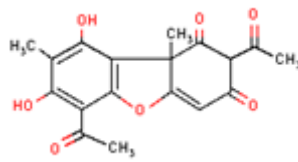


kyselina pikrolichenová

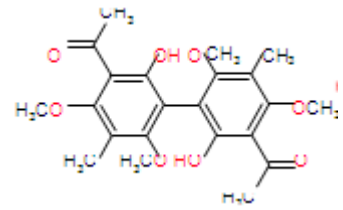


kyselina dydimová (dibenzofuran)

### 1.2.2.4 dibenzofurany, kyselina usnová a její deriváty

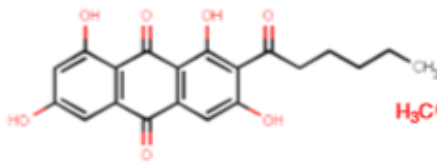


kyselina usnová

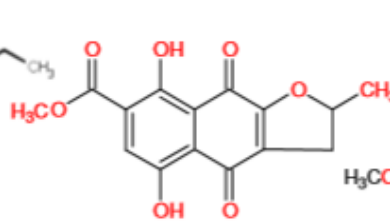


contortin (bifenyl)

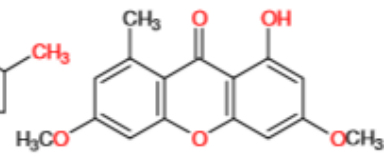
### 1.2.3 antrachinony a biogenní xanthyony



kyselina norsolorinová



kyselina haemaventosinová



lichenxanthon

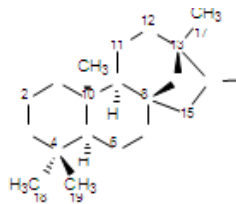
### 1.2.4 chromony

### 1.2.5 naftachinony

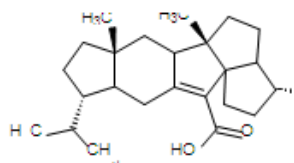
### 1.2.6 xanthyony

## 2. Syntéza kyseliny mevalonové

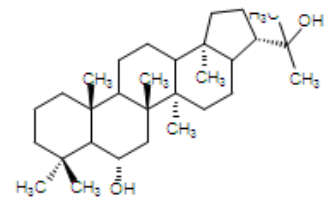
### 2.1 di-, sester-, tri-terpeny



16α-hydroxykauran (diterpenoid)

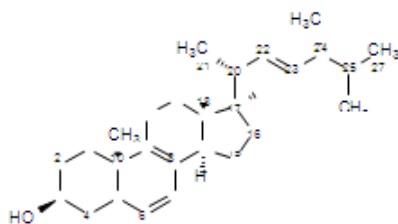


kyselina retigeranová (sesterterpenoid)

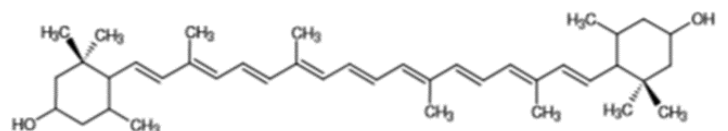


zeorin (triterpenoid)

### 2.2 steroidy



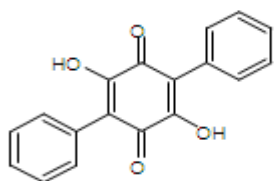
ergosterol



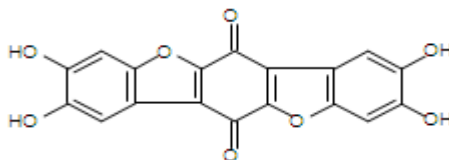
zeaxantin

### 3. Syntéza kyseliny šikimové

#### 3.1 terfenylchinony

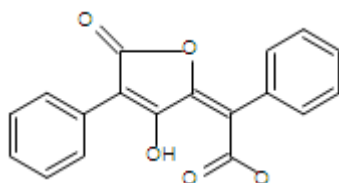


kyselina polyporová

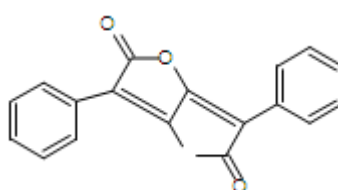


kyselina teleporová

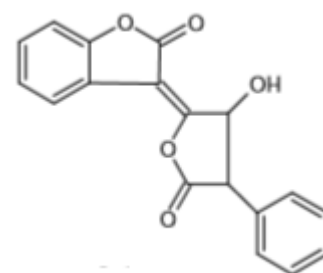
#### 3.2 Deriváty kyseliny pulvinové



pulvinový dilakton

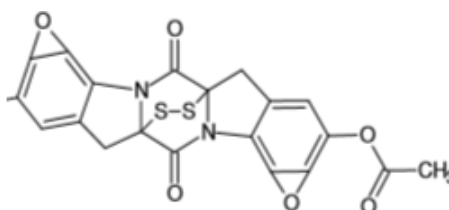


kyselina vulpinová



kalcynin

#### 3.3 epidithiodioxopiperazine



methylscabrosin

Mezi sekundární metabolity řadíme látky alifatické, alicyklické a aromatické (Jarkovský 1978).

## 6. IDENTIFIKACE LIŠEJNÍKOVÝCH LÁTEK – CHEMOTAXONOMIE

Lišejníkové látky jsou pro daný druh více či méně konstantní a využívá se jich ke členění i k určování jednotlivých taxonů. Lišejníky nemusí být vždy snadné členit pouze podle morfologicko-anatomických znaků, většina z nich má však identifikovatelné sekundární metabolity. Používání obsahu chemických látek pro taxonomické účely se datuje od 70. let minulého století a nabývá na významu s rostoucími znalostmi o jejich přítomnosti v lišejnících. Rozdíly v chemii v rámci

druhu nebo skupiny příbuzných druhů nejsou neobvyklé. Jediný druh může obsahovat dvě nebo více chemických ras („chemical strains“, „les lignées chimiques“), které se liší v hlavních chemických složkách. Ostatní chemické látky jsou přítomny v nízkých koncentracích, anebo nemusí být přítomny u daného druhu nebo chemotypu a je těžké je zjistit. Záleží na citlivosti chemické metody a na koncentraci látky v obsaženém ve vzorku.

Většina morfologicky definovaných druhů lišejníků má stálý chemismus.

Rozlišují se základní vzorce vnitrodruhové chemické variability:

1. substituce látek
2. chemosyndromová variabilita
3. akcesorické látky

Chemické metody používané k identifikaci lišejníkových látek se liší, od velmi levných a jednoduchých k nákladným a sofistikovanějším. V lichenologii mohou být použity například barevné reakce („spot tests“), mikrokrytalizace, chromatografie na tenké vrstvě – TLC, hmotnostní spektrometrie, NMR (nukleární magnetická rezonance) spektroskopie, kapalinová chromatografie – HPLC (Huneck et Yoshimura 1996, Jarkovský 1978, Orange et al. 2001).

Protože je většina sekundárních metabolitů pro lišejníky specifická, využívají je lichenologové v taxonomii pro odlišování jednotlivých druhů nebo rodů, na rozdíl od cévnatých rostlin, mechorostů, nelichenizovaných hub, či řas, kde se sekundárních metabolitů využívá pro určování taxonů jen ojediněle (Malíček 2012).

Použití chemických znaků lišejníků v taxonomii je dnes velmi úspěšné:

- některé metabolity jsou charakteristické na rodové úrovni
- některé metabolity nebo jejich kombinace jsou charakteristické na druhové úrovni
- většinou se tyto metabolity vyskytují ve vysokých koncentracích, snadno se identifikují pomocí TLC
- většina druhů lišejníků má konstantní chemii

## 6.1 BAREVNÉ REAKCE (SPOT TESTS)

Spot testy pro barevné reakce (obr. č. 2) tkání lišejníků jsou všeobecně používány jako rychlé a nespecifické prostředky pro zjišťování přítomnosti některých látek lišejníků reakcí činidel s tkání již po řadu let. Jsou to univerzální běžné metody, jak zjistit přítomnost některých nespecifických látek v lišejníkových tkáních a jak určovat lišejníky pomocí chemikálií. Důležitým rysem těchto testů je, že jsou většinou pohodlné a jednoduché, a to i v polních podmínkách. Tyto testy jsou považovány pouze za předběžný krok v procesu identifikace lišejníku nebo jeho látek. Mohou být velmi užitečné při zjišťování přítomnosti a určení lokalizace látek, mohou rovněž poskytnout informace k identifikaci látek, pozorovaných v TLC (Orange et al. 2001). Barevné reakce nejsou citlivou metodou, a tak některé lišejníkové látky reagují s činidly obtížně nebo nereagují vůbec (Hale 1967 in Jarkovský 1978). Další nevýhodou je, že jsou typické pouze pro určitou strukturu molekuly a stejným způsobem tak může reagovat více látek tuto strukturu obsahujících (Jarkovský 1978).

K základní identifikaci lišejníků se používají běžné reagenty (Orange et al. 2001):

K test – 10% roztok hydroxidu draselného ve vodě – [K]

C test – roztok chlornanu sodného – [C]

PD test – roztok para-fenylendiaminu v 60–90% etanolu – [PD]

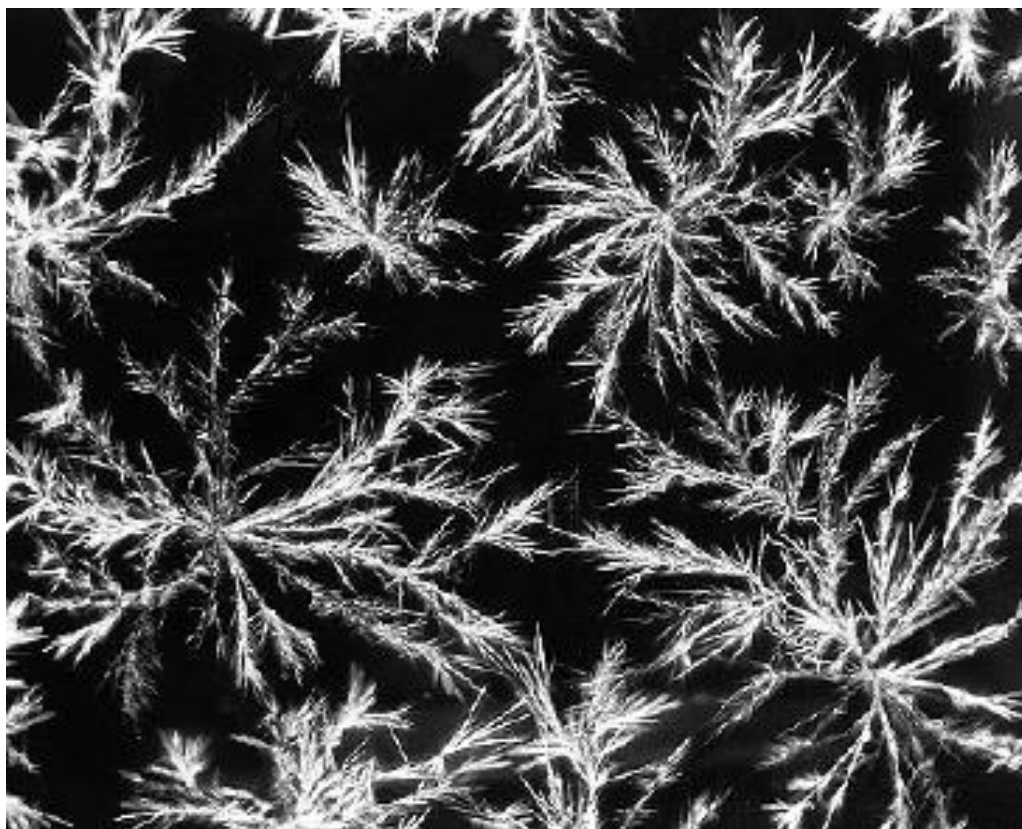
Obr. č. 2 Spot test na dřeni lišejníku – kyselina salazinová (Egan 2010)



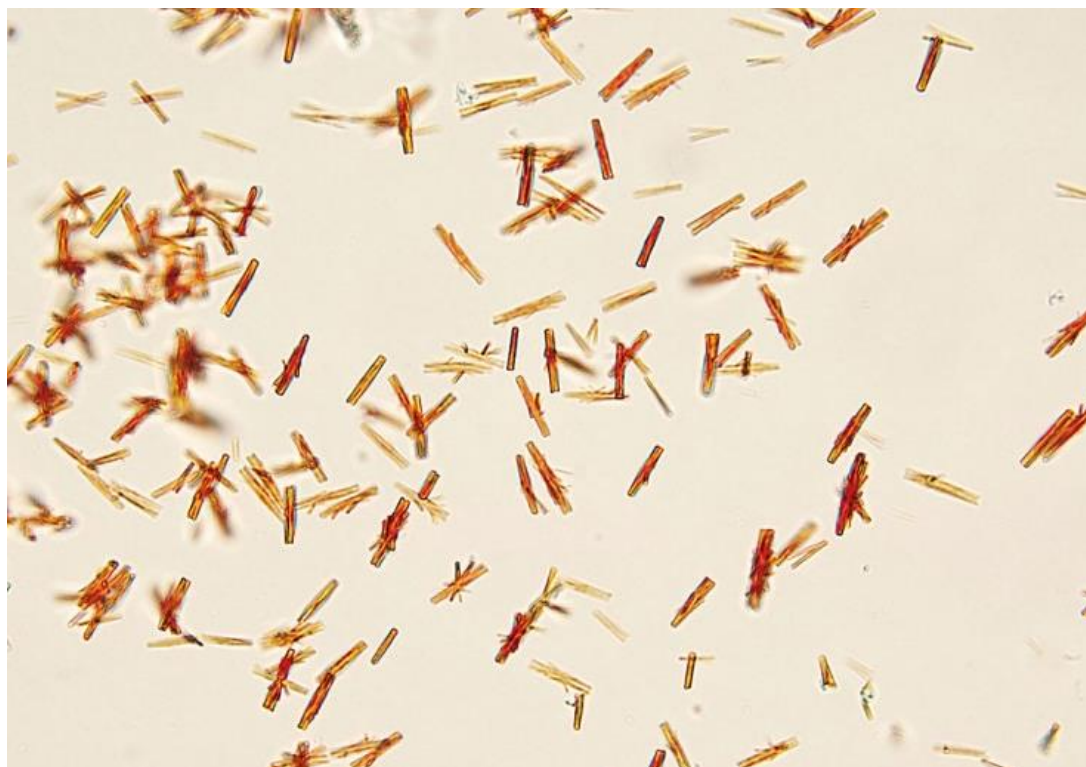
## 6.2 MIKROKRISTALIZACE

Mikrokrystalizace je jednoduchá a rychlá metoda, která nevyžaduje speciální vybavení a slouží k poměrně přesné analýze látek na základě odpařování rozpouštědla a rekrystalizaci zbylé látky na podložním sklíčku. Tato metoda je nejjednodušší technika rozlišení látek v některých skupinách příbuzných druhů (Orange et al. 2001). Dalším pozitivem této metody je, že je citlivější než barevné reakce. Nevýhodou této metody je, že v některých případech je zdoluhavá a některé látky dokonce nekrystalizují vůbec (Jarkovský 1978). Mikrokrystalizace byla do značné míry nahrazena přesnější a citlivější chromatografií na tenké vrstvě už i proto, že tato metoda nemůže dostatečně detekovat směsi (Orange et al. 2001), neboť selektivní extrakci lze provést pouze v některých případech. V ostatních se tvorba krystalů může vzájemně ovlivňovat a to i při použití více rekrystalizačních činidel. Krystaly (obr. č.3–4) mohou být pozměněny až tak, že nedovolují spolehlivou identifikaci. Uvádí se až 10% takovýchto nepřesvědčivých mikrokrystalických reakcí. Také je nutné opatrné zacházení s rekrystalizačními činidly, jejichž některé složky (např. anilin, pytidin aj.) jsou zdraví škodlivé (Jarkovský 1978).

Obr. č. 3 Mikrokrystalizace (Egan 2004)



Obr. č. 4 Mikrokrystalizace (Malíček 2012)



### 6.3 CHROMATOGRRAFIE

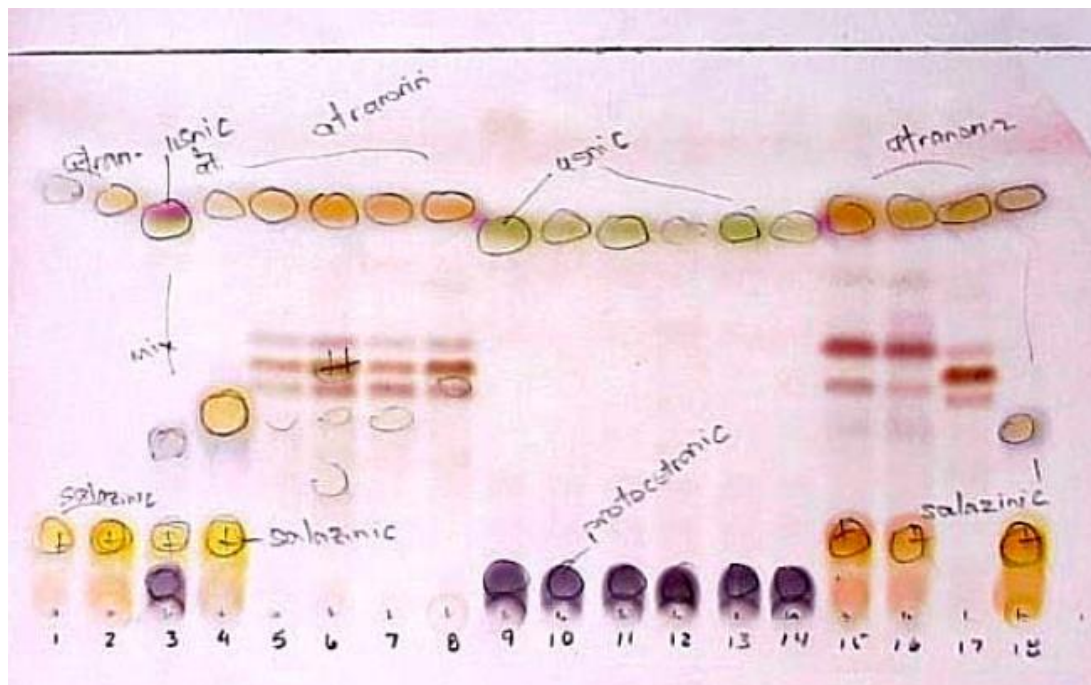
Chromatografie je velká skupina separačních a současně analytických fyzikálně-technických metod, založených na rozdílné afinitě chemických látek. Chromatografické metody patří k nejdůležitějším metodám, kterými analyzujeme složité směsi nebo izolujeme vybrané složky směsi. Jejím základním principem je rozdělování složek směsi na mobilní a stacionární fázi. Stacionární fázi může tvořit pevná látka nebo kapalina zachycená v pevném porézním materiálu, tzv. nosiči. Mobilní fázi pak tvoří kapalina nebo plyn (Kodíček 2007).

#### *6.3.1 PAPIŘOVÁ CHROMATOGRRAFIE (PC) A CHROMATOGRRAFIE NA TENKÉ VRSTVĚ (TLC)*

Papírová chromatografie je metoda, která identifikuje lišejníkové kyseliny a produkty hydrolýzy (obr. č. 6). Papírová chromatografie byla nahrazena chromatografií na tenké vrstvě (TLC), která se běžně používá. Je to citlivější a relativně levný způsob detekce, při níž se vystačí i s nepatrným množstvím materiálu. Metoda je rychlá, jednoduchá a umožňuje identifikaci i malého množství

složek ve směsi (Jarkovský 1978, Orange et al. 2001, Elix et Stocker-Wörgötter 2008).

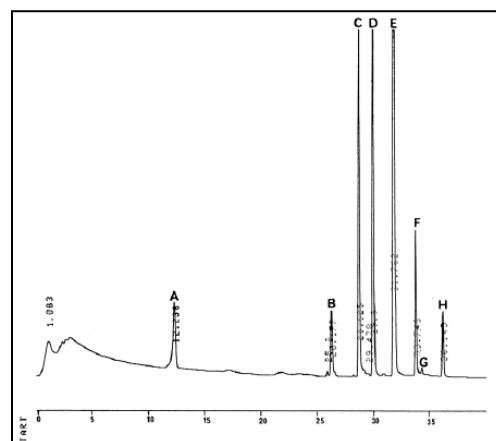
Obr. č. 6 Příklad TLC (Egan 2010)



### 6.3.2 KAPALINOVÁ CHROMATOGRÁFIE (HPLC)

HPLC – vysokoúčinná kapalinová chromatografie je ideální metoda pro analýzu všech aromatických lišejníkových látek. Určí látku a její množství a to i při velmi malém množství (Elix et Stocker-Wörgötter 2008, Egan 2010). Vzorky se rozpustí v metanolu a jsou čerpány do kolony, kde dochází za působení vysokého tlaku k separaci jednotlivých složek. Výstup z kolony vede k UV detektoru, kde jsou složky detekovány. Výsledky (obr. č. 7) jsou zaznamenávány výpočetní technikou a tištěny v podobě chromatogramu (Elix et Stocker-Wörgötter 2008).

Obr. č. 7 HPLC (Nash 2008)





## 7. VÝZNAM SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ V PŘÍRODĚ

Lišejníky hrají významnou roli v přírodě. Sekundární metabolity jsou produktem symbiotického soužití, přičemž tyto produkty ani jedna izolovaná složka asociace sama zpravidla nevytváří.

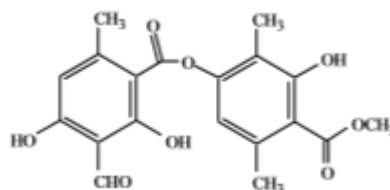
Sekundární metabolity lišejníků mohou sloužit jako ochrana fotobionta před UV zářením a ochrana před příliš intenzivní iradiací (Huneck et Yoshimura 1996).

Skutečnost, že lišejníky rostou pomalu a přesto jsou odolné proti hnilobě, naznačuje, že některé lišejníkové látky mají v přírodě ochrannou úlohu. Povrchové partie dřeva nebo pařezů, které jsou porostlé lišejníky, většinou zůstávají neporušené a ani mikroskopicky nejeví známky rozkladu přesto, že jejich vnitřní část je rozložena. Různé druhy lišejníků produkují různé metabolity a jsou pro jednotlivé druhy charakteristické. Působení extracelulárních produktů se mění podle podmínek, ve kterých lišejníky rostou. Na metabolické procesy lišejníků působí především povaha substrátu, ta ovlivňuje jejich antifungální vlastnosti. Lišejníky, rostou-li na organických substrátech, zvláště na těch, v nichž probíhají procesy dekompozice nebo humifikace, mají účinnější fungistatické vlastnosti než na substrátech minerálních. Pravděpodobně proto, že organismy v humifikujícím substrátu podporují produkci těch metabolitů, které mají obranný charakter (Rypáček 1957).

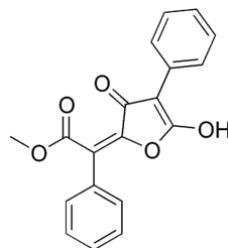
Sekundární metabolity mají velký význam v obraně před jinými organismy. U řady lišejníků byly prokázány antibiotické a antiherbivorní účinky, z nichž jsou některé toxické. Mezi nejznámější patří kyselina vulpinová (Lawrey 1986, Liška 2000). Také kyselina usnová, která je jedním z nejběžnějších sekundárních metabolitů, je selektivním přírodním herbicidem a je stále předmětem zájmu vědců pro některé biologické aspekty (Cocchietto et al. 2002).

### Antiherbivorní, cytotoxický, antifungální a antiprotozoální význam lišejníků

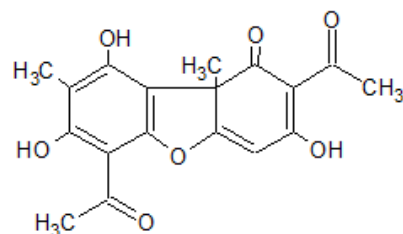
atranorin



kyselina vulpinová



kyselina usnová



- A) Podstatou působení především atranorinu, kyseliny vulpinové, kyseliny usnové a jejich solí je: Schopnost narušit membránový potenciál plasmatické membrány, hlavně organelových membrán, které mají částečně polární povahu. Proto jsou zranitelné především mitochondrie (převaha polárních bílkovin nad fosfolipidy).
- B) Mají vlastnosti uncouplera = „rozvazovače“ metabolických drah na mitochondriální membráně (uncoupling – oxidativní fosforylace a substrátové fosforylace)
- C) Narušení membrány vyvolává sekundární efekty:
1. externalizaci fosfatidylserinu
  2. aktivaci kaspasy – 3 => apoptotický proces buňky
  3. aktivace ROS a RNS (reactive oxygen/nitrogen species) – fatální porušení dědičné informace DNA, což má za následek zničení buňky. Výhodou je, že jsou napadána jak larvální tak dospělecká stadia a lidské buňky jsou současně relativně rezistentní (Škárka et Ferenčík 1992).

Látky, které mají možnou obrannou roli, se dělí do čtyř skupin: deriváty kyseliny vulpinové, terpeny, depsidy, depsidony a atrachinony (Rundel 1978).

Porosty lišejníků se nachází v přírodě většinou na biotopech, kde je konkurence ostatních druhů velmi nízká a často jsou označovány jako „pionýrské druhy“ (Ambrožová 2003). Přispívají k erozi skal a tím pomáhají vytvářet půdu (Bolton 1960). Kvůli přítomnosti sekundárních látek a jejich alelopatickým účinkům

nepodléhají lišejníky patogenním bakteriím a plísním. Sekundární metabolity mohou fungovat jako alelopatické látky, to znamená, že mohou mít vliv na růst sousedních lišejníků, mechů, cévnatých rostlin či mikroorganismů (Rundel 1978).

Lišejníky jsou i potravou pro mnoho druhů savců, jako například jelen, los, lední medvěd, veverka, gazela, kozorožec. Mohou být doplňkem obvyklé stravy nebo krmivem v zimním období (Seaward 2008).

Mnoho druhů ptáků využívá lišejníky jako hnízdní materiál nejen jako maskování (obr. č. 9), snížení viditelnosti hnízd, ale i pro čistě dekorativní účely. Zmizení epifytických lišejníků, především v důsledku odlesňování a znečištění ovzduší, snižuje tento zdroj materiálu a následně množství hmyzu, který se lišejníky živí a tím ovlivňuje potravní řetězec ptáků (Seaward 2008, Cannon 2010).

Maskování (Obr. č. 10–11) je strategie rozšířená v celé živočišné říši. Tuto strategii používá také mnoho druhů bezobratlých (Cannon 2010).

Obr. č. 9 Hnízdo maskované lišejníky (Sharnoff 1997)



Obr. č. 10 Maskování bezobratlých (Egan 2010)



Obr. č. 11 Maskování bezobratlých (Egan 2010)



## 8. VÝZNAM SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ PRO ČLOVĚKA

Lidé používají lišejníky již staletí k různým účelům. Nejčastěji jako barviva, ale i jako zdroj k výrobě léků, antibiotik, jedů, parfémů, vlákniny (Agelet et Valles 2003, Brodo et al. 2011). Mnoho z nich je farmaceuticky významných (Mitrovic et al. 2011). I v současnosti lišejníků a jejich látek člověk využívá (Armstrong 2004, Seaward 2008). V současnosti je známých více než 1000 metabolitů lišejníků a nové jsou stále objevovány, zejména v tropech. Lišejníky vykazují obrovské pole pozoruhodných biologických aktivit a mnohé z nich mají významnou ekologickou roli. Některé z aktivit jako je ochrana před účinky záření – fotoprotekce, reakce na znečištění nebo využití v lékařství by měly být důkladně studovány (Stocker-Wörgötter 2008). Vzhledem k tomu, že jsou lišejníky citlivé ke znečištění, využívá se jich k bioindikaci čistoty ovzduší. Lišejníků se využívá i k monitoringu změn

klimatu nebo při určování stáří podkladů, na kterých rostou (Armstrong 2004, Seaward 2008). Musíme si však uvědomit, že pomalý růst lišejníků a využívání jejich sekundárních metabolitů, by mohly ohrozit jejich přežití (Stocker-Wörgötter 2008). Tkáňové kultury lišejníků rostou sice mnohem rychleji než přírodní stélky, ale pomaleji než jiné organismy. Pokud chceme, aby měly lišejníky, pro své široké spektrum potencionálně užitečné biologické aktivity, průmyslové využití, musí se zlepšit tempo růstu a produktivita metabolitů při jejich kultivaci (Behera et Makhija 2001). Přeměna listnatých a smíšených lesů na lesy jehličnaté, používání biocidů, intenzivní rozvoj lesních cest, silnic nebo rozsáhlé odvodňování rašelinišť změnilo lesní klima a vedlo k masivní ztrátě druhů lišejníků. Dalším důvodem pro pokles lišejníků je zkracující se obmýtí dřevin. Sukcesní fáze lišejníků je tak přerušena v rané fázi, a mnoho specializovaných druhů vymře (Moning et Müller 2009).

## **9. HISTORIE VYUŽÍVÁNÍ SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ ČLOVĚKEM**

### **9.1 LIŠEJNÍKY JAKO BARVIVA**

Nejstarší záznam o použití barviv se datuje přibližně 1000 let před naším letopočtem v Indii, Číně a části Jižní Ameriky (Cedano et Ibarra 2006). Později se začaly používat v Evropě a jiných částech světa (Bechtold et Mussak 2009). První metody extrakce barev lišejníků byly založeny na pokusech a omylech již v dávném starověku a barviva získaná z lišejníků jsou používány do dnešní doby. Lidé využívali lišejníkových látek především k barvení tkanin a vlny. K tomu to účelu využívali především lišejníky, které obsahovaly erythrin a kyselinu lekaronovou (Bolton 1960, Jarkovský 1978). Nejstarším lišejníkovým barvivem známým po celém světě je barvivo lakmus získané z druhů *Rocella* (Upreti et al. 2012). Technika barvení byla jednoduchá a první barvy byly nestabilní a málo odolné. Postupně se začaly používat složitější metody a barvy byly stálejší. Vznikaly cechy barvířů, které informace o svých metodách barvení držely v tajnosti (Cedano et Ibarra 2006).

Z lišejníku *Rocella phycopsis* Ach., se původně získávalo nepříliš stálé modročervené barvivo k barvení tkanin k náboženským a slavnostním příležitostem. Červenofialové barvivo z lišejníku *R. phycopsis* se získává již více než 2 000 let. Toto barvivo nahradilo vzácné barvivo „Tyrian purple“ (hlavní složkou tohoto

barviva je 6,6'-dibromindigo) jinak také „královský purpur“ získávané z některých mořských plžů rodu *Murex*. Barvivo získané z lišejníků bylo nazýváno Argol, Archill nebo Orchil (Bidlová 2005, Bolton 1960, Cooksey 2001). Základem této lakmusové směsi je orcin –  $C_6H_3(CH_3)(OH)_2$  (Tryščuk 2008). Prášek z rozemletých stélek *R. phycopsis* se smíchal ve vlažné vodě s čpavkem do podoby husté kaše, přidal se sádrovec, křída nebo mouka a směs se nechala asi dva týdny fermentovat. Původně se roztlučený lišejník nechal vyhnít v moči. Fermentací, působením čpavku ve vodném roztoku dochází k bazické hydrolyze, tj. vzniká  $OH^-$ , a proto lakmus přechází z červeného do modrého zbarvení (Tichý et Tichá 1997). Zřejmě rozšířením křesťanství poklesl zájem o výrobu přepychových purpurových rouch a umění barvení látek pomocí lišejníků se vytratilo. Objevilo se znovu až ve středověké Itálii a odtud se rozšířilo do celé západní Evropy, kdy se začaly používat i lišejníky rodu *Umbilicaria*, *Parmelia*, *Ochrolechia*, *Lasallia*. Ve Francii bylo slavné lakmusové barvivo orcin –  $C_6H_3(CH_3)(OH)_2$ , nazýváno Orseille d'Auvergne získávané z *Ochrolechia parella* (L.) A. Massal. a vonělo po fialkách (Bidlová 2005, Bolton 1960, Pišút 1984). Barviva získaná pomocí lišejníkových látek bývala používána pro svou nestálost k barvení levnějších textilií, nebo jako podklad pod jiné. V severní Evropě, Skotsku a Skandinávii byly získávány žluté, hnědé a červenohnědé odstíny barev (obr. č. 12) pomocí metody, při které byly textilie spolu s lišejníky vařeny ve vodě. Podobné jednoduché metody barvení používali i indiáni k barvení svých tradičních textilií barvy (Bechtold et Mussak 2009). Při barvení se podle druhu lišejníků a podle použité technologie získávalo odstínů modré, fialové a červené barvy. S nástupem syntetických barev skončilo i tehdejší výnosné řemeslo barvení pomocí lišejníkových látek. *Letharia vulpina* (L.) Hue byla nejrozšířenějším lišejníkem k získání barviva domorodců (obr. č. 13) v Severní Americe (Sharnoff 1997). V 18. století dosáhlo barvířské umění hospodářského významu i na Kanárských ostrovech (Muggia et al. 2009).

Obr. č. 12 Využití barviv lišejníků (Egan 2010)



Obr. č. 13 Tradiční roucho tkané metodou chilkat

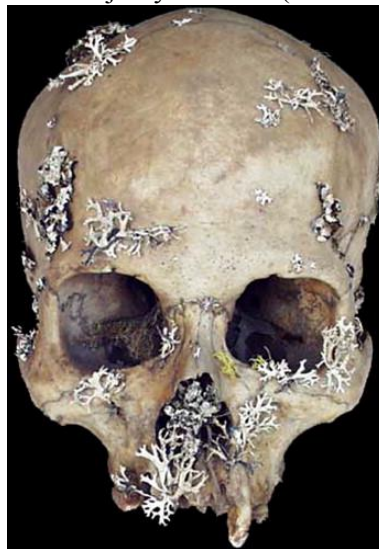


## 9.2 LIŠEJNÍKY JAKO LÉK

Lidé v průběhu věků vyzkoušeli snad vše, o čem si mysleli, že by mohlo zmírnit nebo vyléčit jejich nemoci. Na začátku vždy byla náhoda, když našli lišejník, se kterým léčba byla úspěšná. Už v 5. století lidé věřili, že lišejníky jsou vhodné k léčbě

části lidského těla nebo symptomu nemoci, kterým se podobají. Proto například používali k léčbě dýchacích potíží lišejník *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., jehož povrch připomíná plicní tkáň, ale i *Cetraria islandica* (L.) Ach. V lidovém léčitelství byla *C. islandica* oblíbená a hodně používaná. *C. islandica* k léčbě astmatu, plicní tuberkulózy, nemocí ledvin a nechutenství. Obsahuje slizovité látky, které mají změkčující účinky na sliznice dýchacích cest a trávicího ústrojí a bylo zjištěno, že účinnými složkou je kyselina protolichesterinová. Na Islandu se *C. islandica* používala k symptomatické léčbě bolestí při žaludečních a dvanáctníkových vředech (Ingolfsdottir et al. 1997). Prostředky vyrobené ze stélky lišejníku rodu *Usnea* používali k léčbě vlasové pokožky nebo k posílení vlasů, pro svou podobnost s lidskými vlasy. V Rusku na Dálném východě, byla *Usnea filipendula* Stirt. používán jako prášek k léčbě ran. Absorpční i antibiotické vlastnosti druhů *Usnea*, *Alectoria* a *Bryoria* používali nezávisle na sobě lidé z celého světa. Používaly je jako dětské plenky a dámské hygienické potřeby, absorpční činidla i jako obvazy na rány. Věřilo se, že *Peltigera canina* (L.) Willd., jehož stélka připomíná kůži nebo zuby psů, je účinná proti vzteklině, a že *Xanthoria parietina* (L.) Bertl. je vhodná k léčbě žloutenky. Hodnotu zlata měly lišejníky různého druhu (např. rod *Usnea*), které rostly na lidských lebkách (obr. č. 14), a léčila se jím epilepsie a byly složkou masti „Unguentum Armarium“, používané k léčení ran (Brodo et al. 2011, Gilbert 2010, Modenesi 2009, Pišút 1984). V tradiční medicíně se používal tento lišejník k léčbě drobných obtíží, jako je podráždění v krku, nebo kašel, ale například i při gastritidě, k léčbě tuberkulózy, astmatu.

Obr. č. 14 Lišejníky na lebce (Modenesi 2009)





### 9.3 LIŠEJNÍKY JAKO JED

Jen velmi málo lišejníků je opravdu jedovatých. Patří mezi ně *Letharia vulpina* a druh *Vulpicida*. Tyto lišejníky obsahují jasně žlutý pigment, daný kyselinou vulpinovou. Jejich jméno odráží tradiční využití těchto lišejníků v severní Evropě, kterým byl jed. Používal se jako přísada do různých návnad pro vlky. V severovýchodní Kalifornii se jed používal, někdy s přidáním jedu chřestýše, na otrávené šipky. Nicméně, indiánské kmeny Blackfoot a Okanagan-Colville vařily z druhů *Letharia* léčivý čaj a používaly ho také k léčbě vředů a zánětů (Sharnoff 1997).

### 9.4 LIŠEJNÍKY JAKO POTRAVINA

Lišejníky lidé již dávno využívali jako potravu pro zvířata, ale tvořily i součást lidské stravy především obyvatel arktických oblastí. Většímu rozšíření jejich využití bránila jejich hořká chuť. Švédský chemik Jöns Jacob Berzelius jako první na světě v roce 1813 uveřejnil rozbor chemického složení některých druhů. Berzelius zjistil, že hořkou chuť lišejníků způsobují kyseliny, které jsou v lišejnících obsaženy, a proto může pomoci kyseliny neutralizovat zásadami. Stélky se vařily ve vodě, do které se přidával popel ze dřeva nebo se máčely v 1 % roztoku hydroxidu draselného nebo hydroxidu sodného. Existují výjimky mezi lišejníky, např. *Umbilicaria cylindrica* (L.) Delise ex Duby, která neobsahuje lišejníkové kyseliny, a proto není nutné ji zbavovat hořčin (Berzelius 1813, Brodo et al. 2011, Gilbert 2010, Pišút 1984, Studzińska-Sroka 2008, Weaver 1975).

Některé druhy lišejníků jsou výživné, ale pro lidi mají poměrně omezenou hodnotu. Lidem chybí bakteriální flóra nutná k rozložení sacharidů (Brodo et al. 2011). Lišejníky obsahují látky chemicky podobné škrobu – lichenin a izolichenin, které jsou někdy nazývané lišejníkové škroby. Obsahují také cukry a vitamíny ze skupiny B<sub>12</sub> (Pišút 1984, Weaver 1975).

V dobách hladomoru, kdy lidé hledali náhražky potravin, začali upravovat i stélky lišejníků, které nejsou zvláště chutné (Brodo et al. 2011). Objevily se tištěné recepty na výrobu mouky z lišejníků a pečiva z ní. Pečivo mělo namodralou barvu (Lokvenc 1978).

Dokonce biblická mana izraelitů byl údajně lišejník *Circinaria esculenta* (Pall.) Sohrabi (Donkin 1981, Weaver 1975).

V minulém století se přidávaly mleté stélky lišejníků do mouky k přípravě chleba a lodních sucharů, protože tak bylo pečivo odolnější proti larvám hmyzu. Příčinou odolnosti byly zřejmě vylouhované lišejníkové kyseliny (Pišút 1984).

#### *Puding z lišejníků*

*15 dkg prášku z lišejníků spolu s cukrem vařte 20 až 30 minut v půl litru mléka. Uvařenou hmotu vyklopte do čisté nádoby a nechte vychladnout. Chuť zlepšíte přidáním vanilkového cukru, případně mandlí (Pišút 1984).*

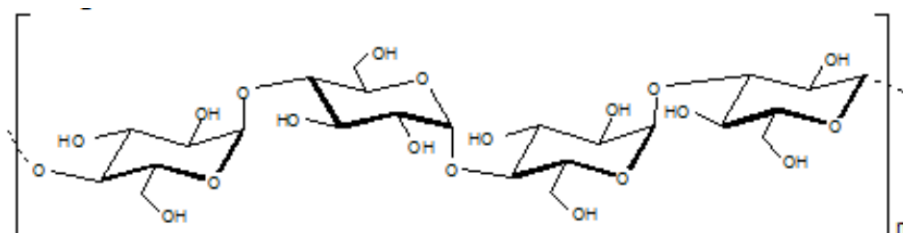
V Persii údajně unikla Alexandrova armáda hladovění v letech 330 – 327 př. n. l. tím, že jedli *Circinaria esculenta* (Crum 1993). V bývalém Sovětském svazu byla během druhé světové války vytvořena metoda pro výrobu cukru z lišejníku *Alectoria ochroleuca*. „Melasa“ nahrazovala vzácný řepný cukr. *A. ochroleuca* obsahuje 82% glukózy v sušině (Llano 1956).

Lišejníky jsou používány především kvůli poměrně vysokému obsahu sacharidů – isolicheninu = -/alpha-1,3 – Glu-/n-/alpha- 1,4- Glu-/m- ; licheninu = -/-beta-1,3-Glu-/n-/beta—1,4- Glu-/m-, ale jsou hůře stravitelné. Povařením nebo napařením dochází k částečné hydrolyze, tím se uvolní glukosa a stávají se dobře stravitelné. Navíc je beta-anomer vhodný i pro diabetiky. Jsou méně využívány, běžný je alfa-anomer.

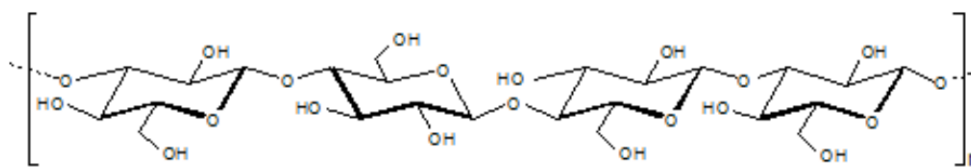
Negativní vlastnosti:

1. jedovatost některých kyselin – např. kyselina vulpinová (hepatotoxická)
2. vysoká bioakumulace těžkých kovů (Cu, Zn, Hg) a radionuklidů (<sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>210</sup>Pb, <sup>210</sup>Pb – především *Cetraria*)

isolichenin



lichenin



(Škárka et Ferenčík 1992)

## 9.5 LIŠEJNÍKY JAKO SUROVINA PŘI VÝROBĚ KOSMETIKY

V 17. století byla známa fixační schopnost lišejníku. Lišejník *Evernia prunastri* (L.) Ach., a lišejníky rodu *Usnea* se používaly jako prášek na paruky. Jemně mletá *E. prunastri* a *Usnea* se napustily vůní květů a postupně vůni uvolňovaly. Tyto druhy lišejníků se používaly také jako čisticí prostředek (Brodo et al. 2011, Gilbert 2010).

## 9.6 DALŠÍ VYUŽITÍ SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ

*Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf byla nalezena v egyptské váze z 18. dynastie – 1700–1600 př. n. l. (Llano 1944). Tento lišejník se používal také k mumifikaci, přesto, že jeho původ je neznámý. Balzamování začalo v Egyptě asi před 5000 lety. Na začátku balzamování byla provedena v těle štěrbina a orgány a vnitřnosti byly odstraněny. Zabalily se do látkových balíčků a do tělních dutin mumií se vložila směs pilin, hyrhy, lišejníků a dalšího koření. *P. furfuracea* byla používána pro své konzervační a aromatické vlastnosti, zachování vůně koření, které se k balzamování používalo. Používala se také proto, že je to vysoce savý a lehký materiál, který má antibiotické vlastnosti. Tyto vlastnosti pomohly inhibovat bakteriální rozpad mumií (Baumann 1960, Llano 1951, Schull et Brown 2009).

Příkladem dalšího využití sekundárních metabolitů lišejníků člověkem je rituální využití lišejníků. *Lobaria pulmonaria* se používala při rituálu jarního koupání původními obyvateli Kanady (Gitxsan), aby byli zdraví a měli dlouhý život. Ve Švédsku používali lidé někdy druhy *Cladonia* jako trvalé těsnění oken (Llano 1951). Na Aljašce používali druh *Xanthoria* k vyhledávání svišťů, protože roste v okolí jejich nor a roztok z *Masonhalea richardsonii* (Hook.) Kärnefelt k základnímu nátěru dřeva (Llano 1956). *Bryoria fremontii* (Tuck.) Brodo & D. Hawksw. byla používána v Britské Kolumbii k výrobě oděvů, obvykle pro chudé lidi. Materiál byl nekvalitní a

nepraktický, protože ve vlhkém počasí absorboval vodu (Turner 1977). V Indii se jako vycpávka polštářů používal lišejník *Usnea longissima* Ach. (Lai et Upreti 1995). Na Islandu nebo v Kanadě se sbírala *Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F. H. Wigg. a používala se k topení pro svůj intenzivní, i když krátce trvající plamen (Freeman 1967).

## 10. VYUŽITÍ SEKUNDÁRNÍCH METABOLITŮ ČLOVĚKEM V SOUČASNOSTI

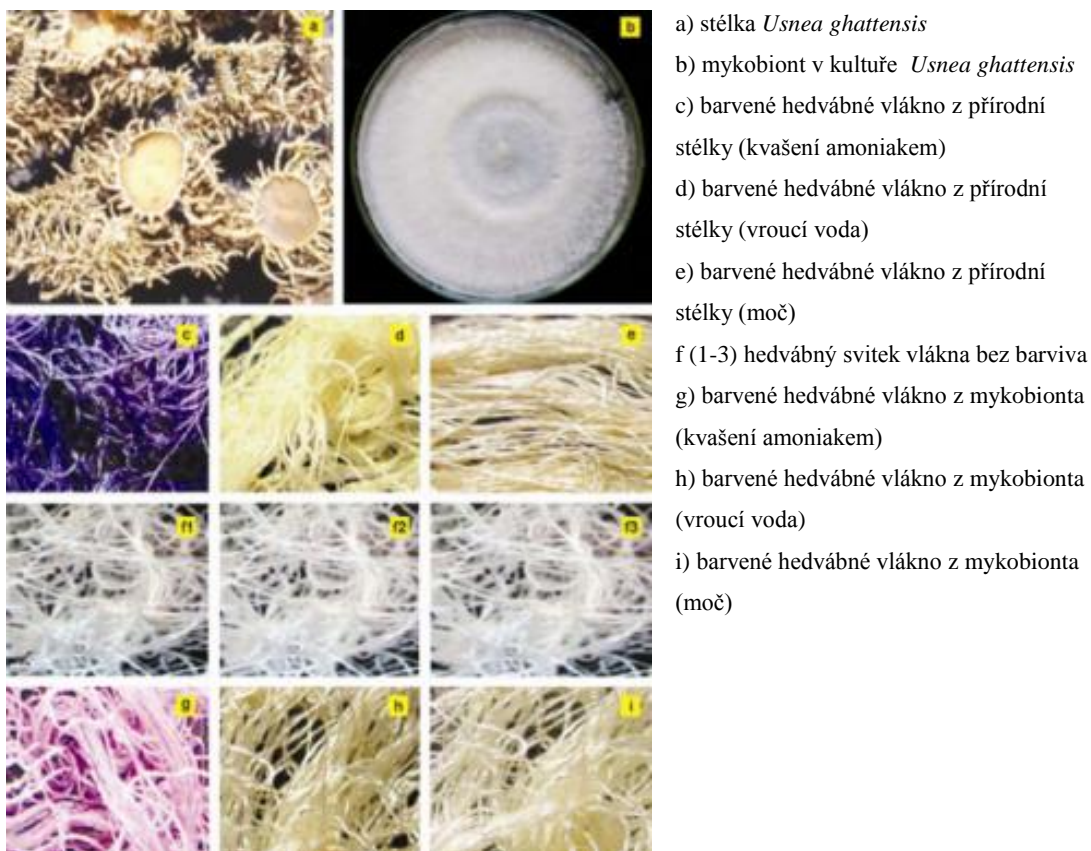
### 10.1 LIŠEJNÍKY JAKO BARVIVA

V současné době zůstává důležitým zdrojem barviva tkalců kmene Navajo *Xanthoparmelia chlorochroa* (Tuck.) Hale (Sharnoff 1997). Ve Skotsku se stále používá lišejníků při barvení vlny například pro výrobu tvídu. Mezi používané lišejníky patří *Parmelia saxatilis* (L.) Ach., a *Parmelia omphalodes* s. l. *Parmelia saxatilis*. *P. saxatilis* se na Shetlandských ostrovech se používá pro výrobu hnědého barviva. Dalšími známými lišejníky využívanými k výrobě barviv jsou *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale, ze kterého se získávají žlutá barviva, *Brodoa atrofusca* (Schaer.) Goward a *Xanthoria parietina* (L.) Beltr. pro výrobu žlutohnědé barvy. Ve Skotsku, Švédsku a dalších zemích se používá i *Ochrolechia tartarea* (L.) A. Massal., ze které se získává červené nebo karmínové barvivo pro barvení přize nebo tkanin. Z lišejníku *Lasallia pustulata* (L.) Mèrat je možné připravit krásnou červenou barvu, z *Umbilicaria cylindrica* barvu hnědozelenou, z *Letharia vulpina* žlutou barvu a z *Usnea scabrata* Nyl. barvu oranžovou. Po přidání amoniaku se získá fialové barvivo z *Evernia prunastri*, *Lecanora pallescens* A. Massal, *Umbilicaria vellea* (L.) Ach., *Lasallia pustulata* nebo *Parmotrema perlatum* (Huds.) M. Choisy.

Dalším, obecně známým barvivem z lišejníků, je cudbear, které má červenou barvu v různých odstínech. Je to směs z lišejníků, která se dosud používá v některých částech Velké Británie, ale jeho výroba je komplikovaná a již téměř vymizela. Mezi lišejníky, ze kterých se cudbear připravuje, patří *Circinaria calcarea* (L.) A. Nordin, S. Savic' & Tibell a *Ochrolechia tartarea* (Mairet 2009). Lišejníky druhu *Parmelia*, které obsahují orcinol, červeno-purpurové barvivo a kyselinu usnovou, žluté barvivo, používají i dnes v Peru k výrobě barviva ve škále od červené po červenohnědou (Roquero 2008). Sekundární metabolity v kultuře *Usnea ghattensis* G. Awasthi, jsou

potenciálním zdrojem unikátního fialového barviva (Obr. č. 15) pro barvení hedvábí a jiných textilních vláken (Upreti et al. 2012).

Obr. č. 15 Barvy získané z druhu *Usnea* (Upreti et al. 2012)



- a) stélka *Usnea ghattensis*
- b) mykobiont v kultuře *Usnea ghattensis*
- c) barvené hedvábné vlákno z přírodní stélky (kvašení amoniakem)
- d) barvené hedvábné vlákno z přírodní stélky (vroucí voda)
- e) barvené hedvábné vlákno z přírodní stélky (moč)
- f (1-3) hedvábný svitek vlákna bez barviva
- g) barvené hedvábné vlákno z mykobionta (kvašení amoniakem)
- h) barvené hedvábné vlákno z mykobionta (vroucí voda)
- i) barvené hedvábné vlákno z mykobionta (moč)

Seznam lišejníků a barviv, které z nich lze získat (Mairet 2009):

Odstíny červené, fialové a oranžové barvy:

- *Cetraria aculeata* (Schreb.) Fr.
- *Evernia prunastri*
- *Pertusaria corallina* (L.) Arnold
- *Ochrolechia tartarea* (L.) A. Massal.
- *Flavoparmelia caperata*
- *Xanthoparmelia conspersa* (Ehrh. ex Ach.) Hale
- *Parmelia saxatilis*
- *Ramalina farinacea* (L.) Ach.
- *Ramalina siliquosa* (Huds.) A. L. Sm.
- *Rocella phycopsis*
- *Solorina crocea* (L.) Ach.
- *Lobaria pulmonaria*
- *Lasallia pustulata*
- *Circinaria calcarea*
- *Diploschistes scruposus* (Schreb.) Norman
- *Usnea scabrata* Nyl.

- *Usnea florida* (L.) Weber ex F. H. Wigg.
- *Usnea plicata* (L.) Weber ex F. H. Wigg.

Odstíny hnědé barvy:

- *Alectoria* sp.
- *Cetraria islandica*
- *Vulpicida juniperinus* (L.) J. - E. Mattsson & M. J. Lai
- *Teloschistes flavicans* (Sw.) Norman
- *Umbilicaria cylindrica*
- *Umbilicaria deusta* (L.) Baumg.
- *Xanthoria candelaria* (L.) Th. Fr.
- *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC.
- *Chrysothrix chlorina* (Ach.) J. R. Laundon
- *Parmelia omphalodes* (L.) Ach.
- *Xanthoria parietina*
- *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.
- *Lobaria pulmonaria*
- *Lobaria scrobiculata* (Scop.) P. Gaertn.

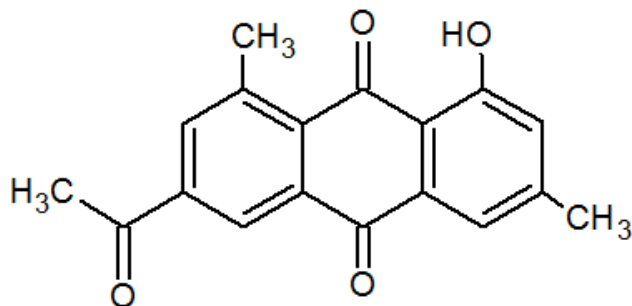
V současnosti se zpracovává jen malé množství lišejníků k výrobě lakmusových papírků využívaných ve zdravotnictví (Bidlová 2005, Bolton 1960, Pišút 1984).

Použití jako barviva:

A) fyzikální podstata zbarvení – pohlcování viditelného světla, především erytrin, kyselina lekanorová, díky dlouhému konjugovanému systému pí-vazeb, který vzniká kondenzací prostřednictvím čpavku za vzniku 3 typů chromoforů:

- 7 – hydroxyphenoxazon
- 7 – aminophenoxazon
- 7 – aminophenoxazin

B) přímé pigmenty – patří k anthrachinonové řadě, například parietin



Podstatou zbarvení je, díky polárním substituentům na chromoforu, vazba s polárními skupinami matrikálního materiálu, především bavlna – polysacharidy, nebo vlna – proteiny. Zde se tvoří Schiffova báze kondenzací NH<sub>2</sub> skupiny aminokyselinového řetězce s CHO skupinou chromoforu (kyselina salazinová aj.) – vyvíjení na vlákně (Červinka et al. 1980).

## 10.2 LIŠEJNÍKY JAKO LÉK

Využití lišejníků jako léků přetrvává do dnešní doby (Richardson 1988 in Elix et Stocker-Wörgötter 2008). Svým léčebným vlastnostem vděčí sekundárním metabolitům, z nichž některé mají antibiotické vlastnosti (Gilbert 2010). Důvodem pro prozkoumání sekundárních metabolitů lišejníků je jejich potenciál pro použití ve zdravotnictví. Zbývá však ještě mnoho práce s propojením léčivých účinků se specifickými druhy lišejníků. Lišejníky jsou používány například v tradiční čínské, indické medicíně i v homeopatickém lékařství (Malhotra et al. 2008). Předmětem zvláštního zájmu vědců jsou antibiotické vlastnosti lišejníků (Lawrey 1986). Odhaduje se, že asi 50% všech druhů lišejníků má antibiotické vlastnosti. Výzkum zaměřený na vývoj léčiv z lišejníků pokračuje, a to zejména v Japonsku (Sharnoff 1997). V dnešní době je antibiotická léčebná hodnota uznaná u celé řady sekundárních metabolitů (Pearce 1997 in Elix et Stocker-Wörgötter 2008).

V Indii i v současné době využívají lidé lišejníky jako surovinu. Především jako lék. První zmínka o použití lišejníku jako léku v Indii pochází z roku 1500 př. n. l. Některé ayurvédské a Unani léky, které jsou složeny z různých druhů lišejníku, jsou prodávány v indických tržnicích i obchodech pod místními názvy Charila a Ushna (Upreti et al. 2005). Ayurvéda a Unani jsou léčebné systémy přírodní medicíny, které se zaměřují na dosažení a udržení rovnováhy životních energií. Lékaři Unani medicíny jako první klasifikovali chorobu na základě různých anatomických a fyziologických příznaků těla, s tím, že nemoc je normální proces a jeho příznaky jsou reakcí organismu na onemocnění (Aslam 2008).

V Indii se při močových potížích například používá *Stereocaulon himalayense* D. D. Awasthi & I. M. Lamb, *Peltigera polydactyla* (Neck.) Hoffm. k ošetření řezných ran.

Mnoho lišejníkových extraktů má antioxidační účinky, pravděpodobně pro jejich obsah fenolů (Muggia et al. 2009). Sekundární metabolity poskytují celou škálu efektů, včetně antibiotických, antimykobakteriálních, antivirových, protizánětlivých, analgetických, antipyretických, antiproliferativních a cytotoxických aktivit. Pro obtížnou izolaci čistých látek a jejich testování, byla biologická aktivita a terapeutický potenciál lišejníkových látek v medicíně testován zatím jen u omezeného počtu lišejníků. Jejich terapeutický potenciál v medicíně dosud nebyl plně prozkoumán a zůstává tak farmaceuticky nevyužitý (Boustie et Grube 2005). Existují však přesvědčivé důvody pro další zkoumání lišejníků, jako přírodního produktu k výrobě léků. Dříve spolehlivé standardy, například penicilin, erythromycin nebo vankomycin apod., se stávají méně účinné proti novým kmenům multirezistentních patogenů. To naznačuje, že se zřejmě blíží konec éry antibiotik. V minulosti se hledání farmaceuticky využitelných produktů soustředilo na produkty mikrobů, které mohly být pěstované v laboratoři a současný důraz na syntetickou chemii inklinovat k zakrytí skutečnosti, že přírodní produkty poskytují mnoho strukturálně různorodých a biologicky aktivních molekul. Nicméně protože 99% mikrobů nebylo nikdy pěstováno v laboratoři, je dobrý důvod použít moderních technologií k získání přístupu k bohatým zdrojům mikrobiálních biologicky aktivních molekul (Miao et al. 2001).

Různé druhy lišejníků se používají jako expektoranty. V lékárnách se prodávají přípravky z lišejníku *Cetraria islandica*, tzv. „islandského mechu“ (obr. č. 16–18), účinného při léčbě plicních chorob a kataru, obvykle v podobě pastilek nebo jako přísady bylinných čajů. Přípravky ulevují při škrábání v krku a hltanu, při suchém a dráždivém kašli a mají zklidňující účinky na hlasivky. *C. islandica* obsahuje mimo jiné kyselinu fumarprotocetrarovou, vitamín B<sub>12</sub>, škrob a různé slizovité látky, které zmírňují dráždění ke kašli a pomáhají při zahlenění průdušek a hrdla. Je také zdrojem kyseliny protolichesterinové, která je účinná proti nádorovým onemocněním (Hale 1983 in Elix et Stocker-Wörgötter 2008, Gilbert 2010, Pišút 1984). I v České republice jsou v nabídce lékáren výrobky z *C. islandica* – např. HerbalMed® pastilky Dr. Weiss, „Isla moss“ pastilky nebo Müllerovy pastilky (Aleky.cz 2013, VIVANTIS a.s. 2013).



Obr. č. 16. HerbalMed® pastilky Dr. Weiss (VIVANTIS a.s. 2013)



Obr. č. 17 “Isla Moss“ pastilky (Vamida.at)



Obr. č. 18 Müllerovy pastilky s islandským lišejníkem (Aleky.cz 2013)



Výsledkem antimikrobiálního screeningu sekundárních metabolitů *Cetraria islandica* bylo zjištění, že sloučeniny methyly, beta-orsellinu a sloučeniny methyly a ethyly orsellinu vykazují široké spektrum účinků. Jsou aktivní proti gramnegativním bakteriím a plísním i proti grampozitivním bakteriím. Tyto sloučeniny jsou účinné proti *Pseudomonas aeruginosa*, která se vyskytuje především v odpadních vodách a v půdě. Tyto sloučeniny jsou dokonce aktivní i proti *Escherichia coli*, ale protože výsledky byly poměrně slabé, je nutné další prověřování (Ingólfssdóttir et al. 1985). Studium kyseliny protolichesterinové bylo zjištěno, že má antibakteriální účinky proti patogenním mykobakteriím jako například *Mycobacterium tuberculosis*, *Streptococcus pyogenes* a *Staphylococcus aureus*. Přesný mechanismus účinku kyseliny protolichesterinové zůstává ale i nadále spekulativní (Ingólfssdóttir et al. 1997). Antimikrobiální vlastnosti vykazují ale i lišejníky saxikolní (např. *Lasallia pustulata*, *Umbilicaria crustulosa* (Ach.) a *Umbilicaria cylindrica*) a epifytické (*Parmelia sulcata* Taylor) (Rankovic et al 2007).

Dalším důležitým lupenitým lišejníkem, který vykazuje antimikrobiální aktivitu proti bakteriím a plísním, je *Parmotrema perlatum* (Thippeswamy et al. 2012). Antimikrobiální aktivita byla prokázána zejména proti *Staphylococcus aureus*, který vykazuje vysokou úroveň rezistence proti běžně dostupným

antibiotikům. To by mělo podpořit další výzkum, s cílem stanovit užitečnost extraktu při léčbě mikrobiálních infekcí (Momoh et al. 2008).

Některé mikroorganismy jsou již rezistentní na stávající antibiotika a standardizací metod extrakce a testování in vivo by usnadnilo ovládnutí patogenních organismů (Thippeswamy et al. 2012).

V posledních desetiletích se věnuje značná pozornost hledání biologicky aktivních látek lišejníků. Studují se neustále výtažky a sloučeniny lišejníků. Türka et al. (2006) provedli výzkum *Pseudevernia furfuracea* var. *furfuracea* (L.) Zopf a *Pseudevernia furfuracea* var. *ceratea* (Ach.) D. Hawksw. a jejich hlavních sloučenin, konkrétně chloroatranorinu, fytosodové kyseliny, atranorinu, a kyseliny olivetorové a prokázali jejich mikrobiální aktivitu. Také výtažky *Cetraria aculeata* vykazují antimikrobiální aktivitu proti *Enterococcus faecalis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes* (Türk et al. 2003).

Mezi nejúčinnější produkt lišejníků zcela určitě patří kyselina usnová, která je jako jeden z mála metabolitů lišejníků komerčně dostupná. Kyselina usnová je údajně účinnější než penicilin a je účinná k léčbě vnějších ran a popálenin a je také používána k léčbě tuberkulózy (Asahina et Shibata 1954 in Elix et Stocker-Wörgötter 2008). Je to látka podobná furokumarinům, má antibakteriální účinek a byla indikována v *U. scabrata* a v dalších druzích lišejníků rodů *Usnea*, *Cetraria*, *Cladonia*, *Ramalina*, *Alectoria*, *Lecanora* nebo *Evernia*. Bylo zjištěno, že má antibiotické účinky proti gram pozitivním bakteriím (Indólföldtír 2002, Rundel 1978). Nicméně kyselina usnová může vyvolat alergické reakce a je ve vysokých dávkách toxická (Muggia et al 2009). Byly zjištěny její antibiotické a spasmolytické účinky (Dharmananda 2003, Gilbert 2010).

Kyselina usnová se využívá se pro svůj účinek při léčbě infekcí a přispívá k rychlejšímu hojení. Používá se jako lokální antiseptikum kůže, furunklů a abscesů ve formě zásypu nebo v masti, používá se při výrobě pleťových krémů, vaginálních vložek nebo ústní vody. Chráněnými názvy těchto přípravků jsou například Evosin I, Evosin II, Usno, Usnagram, Usnaderm, Usniakin, Usniplant, Lichusin, Binan nebo Natria usninat. Kyselina usnová je také součástí vlasových šamponů proti lupům, deodorantů a prášků na nohy. Používá se také ve veterinářství. Sodná sůl kyseliny usnové se stále v Rusku používá k léčbě různých infekcí včetně trichomonázy, která

může způsobit onemocnění děložního čípku (Dharmananda 2003, Gilbert 2010, Kratochvíl 2007-2009, Pišút 1984, Sharnoff 1997). Druh *Usnea* se používá v lékařství již od starověku po celém světě, v současné čínské medicíně je surovinou k výrobě homeopatických léků, jako část bylinné léčby rakoviny, zejména rakoviny štítné žlázy, odvary se léčí bronchitida (Dharmananda 2003, Sharnoff 1997). Kyselina usnová je výhradním lišejníkovým produktem a nejsou známy žádné syntetické deriváty, které by byly účinnější než tento přírodní produkt (Cocchietto et al. 2002). Nicméně kyselina usnová může vyvolat alergické reakce a je ve vysokých dávkách toxická (Muggia et al 2009).

Jsou známy i protinádorové a antimutagenní účinky colleflaccinosidů, bis-anthraquinonových metabolitů izolovaných z *Collema flaccidum* (Ach.) Ach., které vykazují významnou protinádorovou aktivitu proti nádoru žlučníku. Podobně depsidon pannarin inhibuje růst buněk a indukuje apoptózu karcinomu prostaty a melanomu (Muggia et al. 2009).

Kyselinu usnovou obsahovaly i některé potravinové doplňky k redukci hmotnosti, ale pro alergenní účinky kyseliny usnové dnes na trhu nejsou. V současnosti se klade velký důraz na podrobnější výzkum chemie a biologické aktivity této kyseliny a jejích derivátů (Ingólfssdóttir 2002).

Dalším lišejníkem, který se využívá v lékařství je *Umbilicaria esculenta* (Miyoshi) Minks. Vykazuje protinádorovou aktivitu a získává se z něj přírodní alantoin, který se používá například k léčbě kožních vředů. FDA (Food and Drug Administration) schválil alantoin jako přísahu do pleťových krémů, které chrání pokožku a rty proti popraskání, pleť před popálením sluncem, dočasně chrání menší odřeniny, popáleniny nebo praskliny, změkčuje a hojí opary a puchýře. Alantoin podporuje hojení tkání uvnitř těla. Pokud se užívá vnitřně, pak podporuje proliferaci, chrání tkáň žaludku, urychluje jeho hojení i hojení střev a celého zažívacího traktu. Biologický alantoin se liší od chemicky syntetizovaného, v chemické struktuře i ve svých biologických funkcích. Současný nález alantoinu může přitáhnout pozornost ekologů k dalšímu zkoumání tohoto lišejníku (Xu et al. 2011).

Lišejník *Lobaria pulmonaria* lze koupit sušený a je vhodný k léčbě astmatických záchvatů, močového měchýře, ale i jako aperitiv na povzbuzení chuti

k jídlu. Je součástí sirupu s názvem „Lichenes sirup“, spolu s lišejníky *Cetraria islandica*, *Cladonia rangiformis* Hoffm. a *U. scabrata* (Gilbert 2010).

V některých částech Andalusie se používá *Xanthoria parietina* jako lidový lék při onemocnění ledvin (Sharnoff 1997).

Nedávno objevené bílkovinné infekční částice priony, způsobují u lidí i zvířat tzv. prionové nemoci, nevyléčitelné neurodegenerativní onemocnění. Mezi takové choroby se řadí například lidská Creutzfeldt-Jakobova choroba, scrapie ovcí nebo bovinní spongiformní encefalopatie u krav. Priony přetrvávají v životním prostředí a mohou způsobit onemocnění o mnoho let později. Serinové proteázy, vlastní některým lišejníkům (např. *Parmelia sulcata*, *Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F. H. Wigg., *Lobaria pulmonaria*) jsou schopné zničit prionové proteiny (Johnson et al. 2011; Rodriguez et al. 2011).

Mnoho léčivých přípravků v současné době je parfémovaných. Tyto přípravky mohou obsahovat extrakty lišejníků jako například kyselinu usnovou, kyselinu evernovou nebo atranorin, které mimo jiné i váží vůni. Najít bychom je mohli v léčivech, jako jsou antiseptické přípravky k ošetření ran, v antirevmatických mastech, tabletách na bolesti v krku a zubů, v otiskových pastách a výplních při zubním ošetření (Kratochvíl 2009).

Několik lišejníkových kyselin, jako například atranorin nebo kyselina stiktová, mohou způsobit při kontaktu s kůží dermatitidu, která se zhorší při vystavení slunci (Hale 1983 in Elix et Stocker-Wörgötter 2008).

Výzkumy stále prokazují nové antibiotické, antimikrobiální i antibakteriální vlastnosti lišejníkových látek. Antibiotické vlastnosti má také kyselina vulpinová, atranorin, kyselina stiktová, norstiktová a konstiktová (Lawrey 1986, Malhotra et al. 2008). Antimikrobiální aktivita se prokázala u kyseliny fysodové a kyseliny gyroforové. Kyselina gyroforová je metabolitem například lišejníku *Xanthoparmelia pokornyi* (Körb.) O. Blanco, A. Crespo, Elix, D. Hawksw. & Lumbsch (Candan et al. 2006, Malhotra et al. 2008). 3-hydroxyfysodová kyselina izolovaná z *Hypogymnia tubulosa* (Schaer.) Hav. prokázala antimikrobiální aktivitu např. proti *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* nebo *Salmonella typhimurium* (Yilmaz et al. 2005). Kyselina salazinová prokazuje antibakteriální aktivitu (Candan et al. 2006).

**Antibroncholitické, gastroprotektivní, antiflogistické, antioxidantní působení** je založeno na interakci především lišejníkových kyselin s enzymatickou kaskádou kontrolující metabolismus kyseliny arachidonové (Segura-Sanchez et al. 2009):

A) Například kyselina usnová inhibuje 5-lipoxygenasu. Lipoxygenasa je enzym, který oxiduje dvojnou vazbu za vzniku epoxidů. Důsledkem je snížená produkce 5-HPETE a tím snížená koncentrace leukotrienu – látek patřících mezi eikosanoidy = deriváty kyseliny arachidonové, tj. dvacetihlíkaté nenasycené karboxylové kyseliny (producenty jsou bazofily a eozinofily = typy bílých krvinek, účastníci se imunitní reakce, žírné buňky aj.) a zároveň leukotrienty ovlivňují:

- svalovinu a výstelku dýchacích cest
- výstelku kloubních pouzder
- krycí epithely těla (psoriasis)
- sliznici střeva (dráždivý tračník, Crohnova choroba)
- sliznici nosní (rhinitis)

tj. obecně tedy všechna zánětlivá onemocnění a alergické projevy.

B) COX-2 způsobuje uvolňování histaminu a přes prostaglandiny (především PGE<sub>2</sub> tím opět umocňuje probíhající a vznikající zánět)

Vlastní průběh zánětu lze schematicky naznačit takto: vstup antigenu

- a) imunitní odpověď (specifická i nespecifická)
- b) produkce „zánětlivých substancí“
- c) „zánětlivé substance“ se chovají jako agonisté signální dráhy kyseliny arachidonové (agonisté + receptory cílové buňky = G-proteiny → aktivace signální dráhy (přímá i nepřímá) → uvolnění arachidonové kyseliny)
- c) realizace signální dráhy = metabolická přeměna arachidonové kyseliny na zánět stimulující produkty – tromboxany, prostacyklíny, prostaglandiny a leukotrieny
- e) uvolnění produktů signální dráhy exocytosou (buňkami myeloidní a lymfoidní tkáně)
- f) transport metabolických produktů k cílovým tkáním (= zdroj imunitní odpovědi)

g) působení produktů arachidonové metabolické dráhy v místě zánětu – stimulace

**Antivirové a cytotoxické působení** – takto působí především depsidy a depsidony. Molekulární podstatou je přímá interakce metabolitu s enzymy klíčovými pro viry:

1. inhibice RNA transkriptázy
2. inhibice RNA integrasy
3. inhibice reversní transkriptázy (u HIV)
4. kovalence lišejníkových polysacharidů na receptorové bílkoviny virové kapsidy či lipoproteinu obalu – důsledkem je zesílený signál pro látkovou i buněčnou imunitu (adjuvantní působení) a následná eliminace virové částice
5. inhibice aktivace reprodukce (např. kyselina usnová inhibuje reprodukce EBV)
6. serinové proteasy z lišejníků štěpí PrP proteiny (potenciální prionový medikament)
7. cytotoxické působení spočívá v aktivace apoprosy a s tím souvisejících procesů

### **Analgetické působení**

Podstata je založena na inhibici COX 2 (cyklooxygenáza typu 2). Cyklooxygenáza typu 2 jsou obecně enzymy zodpovědné za tvorbu důležitých biologických mediátorů zvaných prostanoidy, což jsou látky účastnící se pochodů doprovázejících zánět.

Metabolická dráhy syntézy prostanooidů se může odehrávat prakticky v libovolném místě těla, tj. v jakémkoliv místě, kde propuknul zánět (např. v kloubech, v dutině ústní při abscesech, v mandlích při angíně). Fyzickým realizátorem zánětu jsou buňky imunitní soustavy (Boron et. Boulpaep 2012).

Průběh:

produkty COX-2 metabolismu aktivují nociceptory → response korových center = vnímání bolesti → pokud nebudou tvořeny COX-2 produkty, nebude probíhat aktivace nociceptorů a nebude vnímána bolest (alternativním mechanismem je pravděpodobné ovlivňování opioidních receptorů v CNS, jako inhibitorů vnímání bolesti).

### **Antipyretické a antiflogistické působení:**

Průběh podobný vlivu paracetamolu nebo aspirinu, tj.:

- a) metabolity lišejníků = lišejníkové kyseliny působí inhibičně na oxidovanou podobu COX-2
- b) klesá hladina metabolických produktů COX-2 = prostaglandiny a zde především složky PGE<sub>2</sub>. PGE<sub>2</sub> je sekundární potenciátor, který snižuje práh citlivosti smyslových receptorů a receptorů bolesti vůči periferním mediátorům a induktorům bolesti.
- c) pokles plasmatického PGE<sub>2</sub> způsobí i pokles hypothalamického PGE<sub>2</sub> v CNS
- d) to způsobí zpětnovazebně přenastavení hypothalamického termostatu na nižší tělesnou teplotu

### **Orexigenní působení**

Mechanismus ještě znám úplně není – předpokládá se, že v souvislosti s antiflogistickým působením depsiđonů dochází k blokáde histaminaktivních mechanismů (antihistaminika), tím klesá hladina histaminu a pokles histaminu aktivuje neuropeptidovou dráhu ovládající centrum hladu (NPY – spouští zvýšený příjem a zpracování potravy /AGRP – inhibuje anorexigenní receptory – v nucleus arcuatus hypothalamu) (Türka et al. 2006, Segura-Sanchez et al. 2009, Škárka et Ferenčík 1992).

V současné době je stále více kladen důraz na využití a studium jedinečných vlastností přírodních látek. Lišejníky lidé používají jako léky a barviva již po staletí a nyní je příležitost těchto vlastností využít i při výrobě textilií. Například sloučeniny, které mají UV-ochranné vlastnosti, mohou chránit lidskou kůži před nebezpečným zářením. Také využití antibakteriálních vlastností barviv získaných z lišejníků, může pomoci při vývoji ochranných oděvů nebo domácích textilií, jako jsou ručníky, ložní prádlo nebo koberce (Bechtold et Mussak 2009).

Existuje mnoho důvodů ke studii lišejníků nejen pro hledání nových přírodních léčivých produktů. Lišejníky a lišejníkové produkty se těší stále značnému zájmu především v oblasti alternativní léčby nemocí v různých částech světa. V poslední době zájem o alternativní medicínu, kterou je například homeopatie, čínská tradiční medicína, tradiční japonská medicína, ayurvédská nebo Unani

medicína vzrost. Lišejníky se pro své léčivé účinky používají a prodávají na trzích i v obchodech v Indii nebo Číně. Čaje připravované například z druhů *Lethariella* a *Thamnia* jsou používány v tradiční čínské medicíně po stovky, možná tisíce let (Wang et al. 2001).

### 10.3 LIŠEJNÍKY JAKO SUROVINA K VÝROBĚ PARFÉMŮ A KOSMETIKY

Jedním z nejdůležitějších komerčních využití lišejníků v současné době je využití v parfumerii. Jako nejvýznamnější zdroj vonných látek – fragrancí v parfumerii se používají extrakty z *Evernia prunastri* – větvičnick slívový („dubový mech“) a *Pseudevernia furfuracea* – terčovka otrubčítá („stromový mech“). Extrakty obsahují směs éterických olejů a depsid derivátů. Sladká vůně extraktu je používána jako základ pro výrobu parfémů. Kromě vlastních vonných látek také váže a pohlcuje různé voňavé látky. Původcem vonných látek těchto dvou lišejníků je kyselina evernová, která se nachází v jejich stélce. *Evernia prunastri*, nazýván „dubový mech“, se používá například do parfémů řady Chypre, Fougere, Foins Coupés nebo Mitsouku. Jde o parfémy tzv. „drsné a mužné“ (Joulain et Tabacchi 2009, Kratochvíl 2007–2009, Nash 2008, Pišút 1984).

V současné době jsou dostupné přípravky Oakmoss absolute a Lichen acid mix – směs lišejníkových kyselin, které se používají často v kosmetickém průmyslu a jsou využívány i při aranžování květin.

- Oakmoss absolute je absolutní extrakt z lišejníků *Evernia prunastri* a *Pseudevernia furfuracea*, které obsahují atranorin, kyselinu usnovou a kyselinu evernovou
- Lichen acid mix je směs 3 látek, které jsou dostupné i samostatně. Atranorin – substance především lišejníků *Evernia prunastri*, *Pseudevernia furfuracea* (oba z čeledi *Usneaceae*). Usnic acid – zjištěná substance lišejníků *U. scabrata* – provazovka vousatá („stříbrný mech“) i dalších lišejníků rodů *Usnea*, *Cetraria*, *Cladonia* a *Ramalina*. Kyselina evernová – nejčastěji zjišťovaná substance v lišejnících, spolu s kyselinou usnovou.

Substance těchto přípravků se vyskytují v kosmetických výrobcích, jako jsou parfémy, kolínské vody, toaletní a vlasové vody, šampóny, vody po holení, ústní



vody, rtěnky, make-upy, ličidla, mýdla, pěny do koupele, krémy a pleťová mléka, pleťové vody, deodoranty (Kratochvíl 2007–2009).

Jen ve Francii se v současnosti zpracuje každým rokem přibližně 700 tun *Evernia prunastri* (oakmoss). V Číně využívají lišejníky k výrobě parfémů *Evernia mesomorpha* Nyl. a *Everniastrum nepalense* (Taylor) Hale ex Sipman, pod názvem „čínský oakmoss“ (Joulain et Tabacchi 2009). Lišejníky jsou používány i při přípravě indického parfému „Otto“ (Hina Attar) (Upreti et al. 2005).

Přítomnost pryskyřičných látek v extraktech dokazuje výměnu metabolitů lišejníků s hostitelskou rostlinou. Rozdíl ve vůni jednotlivých extraktů je připisován především dřevu, větvím, kůře stromů, na kterých lišejníky rostou, a které kontaminují lišejníky v různém rozsahu. Lišejníky, které rostou především na dubu, ale i na jiných stromech, jsou označovány „oakmoss“, lišejníky, které se vyskytují na cendrech, především v Maroku, pod názvem „cedarmoss“, „treemoss“ je název lišejníků rostoucích na borovicích (*Pinus* spp.) Dalšími lišejníky, které se používají pro výrobu průmyslových vonných extraktů, jsou například, *Usnea* spp. a *Ramalina* spp. (Joulain et Tabacchi 2009).

Oakmoss Extraktů z *Evernia prunastri* je využíváno v průmyslu již po staletí a s výjimkou jasmínového oleje, nebyl žádný jiný extrakt podroben tak podrobné analýze. To ale neznamená, že je vše o této fascinující přírodní surovině již známo. Díky moderní technice jako je například kapalinová chromatografie nebo magnetická rezonance, se nabízí zajímavé perspektivy k motivaci a kvalifikaci analytických chemiků (Joulain et Tabacchi 2009).

V roce 2007 bylo jen ve Francii zpracováno 540–550 tun *Evernia prunastria* *Pseudevernia furfuracea* (Joulain et Tabacchi 2009).

Využití v parfumerii – lapači, uvolňovači vůní. Jejich použití je založeno na (Škárka et Ferenčík 1992):

- A) vlastních voňavých látkách (extrakt obsahující kyselinu usnovou, evernovou aj.)  
– vůně = sweet „moos“, nebo připomínající zápach ropných produktů → zatuchlý;
- B) antimikrobiálním a antifungálním působení → zplodiny metabolismu kožní mikroflory (pot obsahuje metabolity pro mikrofloru vhodné – minerálie, karboxylové

kyseliny, bílkoviny aj. → z nich vznikají zapáchající produkty – čpavek, sulfan, aminy aj. – zábrana metabolizaci zamezí vzniku zapáchajících zplodin

C) a(d)stringentním působení – sloučeniny, které mají svíravé účinky, stahují, vyvolávají vysoušení buněk tkání, snižují sekreci látek:

a) Většina lišejníkových látek – depsidony i depsidy patří mezi polyphenoly. Ty vykazují svíravý účinek na buňky tkání, tím se snižuje produkce sekretů, včetně odorigenů.

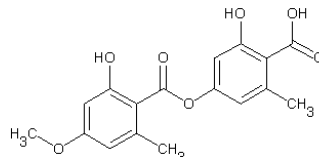
b) Lišejníkové kyseliny – způsobují koagulaci sekretovaných metabolitů (potencionálních zdrojů zapáchajících látek) a tím zamezí jejich metabolizaci.

D) Na tvorbě supramolekulárních komplexů s cyclodextriny (především beta a gama – cyclodextriny – kyselina usnová komplex – tento komplex pracuje na principu kompetitivní vazebné rovnováhy a umožňuje reverzibilní výměnu:

pohlčená látka (parfém) = pohlcovaná látka (odorigen)

uvolňovaná látka (parfém) = vytěsňující látka (odorigen)

kyselina evernová



Účinky metabolitů mohou být i negativní. Některé produkty voňavkářského průmyslu, jejichž zdrojem jsou *Evernia* aj., vyvolávají senzitivizaci pokožky, alergicky podmíněnou dermatitidu nebo jsou fototoxické. Je zatím jen částečně zodpovězenou otázkou, zda jsou primárními iritans a alergeny jen sekundární metabolity lišejníků, nebo jen "vyměněné" metabolity z hostitelského organismu nebo jsou oním původcem obě skupiny látek. Zatím je jistá kyselina dehydroabietová, beta-orcinolkarboxylát či jeho dekarboxylovaný derivát. Sofistikovanými technikami (chromatografické metody) však lze výše uvedené zdroje podráždění a alergické reakce eliminovat do zdravotně bezpečné hranice (obsah menší než 100 ppm).

Podstatou působení je:

- a) iritace kyselinou dehydroabietovou – Autooxidací vznikají reaktivní peroxidy, které interakcí s makrofagy vyvolávají alergickou reakci.
- b) iritace a fototoxický účinek – Protože sekundární metabolity obsahují aromatické složky, jsou schopny absorbovat intenzivně v UV-oblasti, což vyvolává nežádoucí přehřívání a poškozování oblasti, kde mohou být skladovány, tj. podkožní vazivo. Metabolity jsou nepolární, a proto zde rozpustné, tj. deponované (Joulain et Tabacchi 2009).

#### 10.4 LIŠEJNÍKY V POTRAVINÁCH

V současné době se používá lišejníků i v potravinářství. Kyselina usnová, kyselina evernová a atranorin jsou součástí mnoha parfémovaných výrobků. Mezi takovéto výrobky patří například aromatizované čaje, vermuty, cukrářské výrobky a pečivo, bonbóny, žvýkačky, pudinky, želé, čokoládové výrobky i cukrovinky, nealkoholické nápoje (Coca-Cola), ale i v koření, v kořenících směsích, omáčkách i polévkách (Kratochvíl 2009). Kumar et al. (2011) uvádí, že *Everniastrum nepalense* je vhodný pro přípravu směsi koření Garam masala, Sabhar masala, Maso masala a Kari.

V Číně, Koreji a Japonsku (obr. č. 18), jsou lišejníky používány jako potravina a zdroj léčiv. *Umbilicaria esculenta* je považován za pochoutku, používá se jako příloha do polévek nebo do salátů (Xu et al. 2011). *Umbilicaria esculenta* je používán i v dnešní době v různých tradičních korejských a japonských potravinách. Dochovaný obraz od Hiroshige II. (1829–1869) ukazuje sběr lišejníku (obr. č. 19) v Japonsku (Wikipedia org. 2013).

Obr. č. 18 Smažený *Umbilicaria esculenta* (Wikipedia.org 2013)



Obr. č. 19 Sběr Itawake (*Umbilicaria esculenta*)  
od Hiroshige (Wikipedia.org 2013)



Lišejník *Cladonia rangiferina* se v současné době podává například nejlepší restauraci na světě, v hlavním městě Dánska, v Kodani (obr. č. 20). Smažený lišejník nabízejí poprášený drobným houbovým práškem, s jemně zakysanou smetanou, podává se na mechovém lůžku, v lesní dekoraci (Kalereta 2012).

Obr. č. 20 „Moss and cep“ (Kalereta 2012)



V současnosti používají některé čínské etnické národy lišejníky jako potraviny i na přípravu čaje. Mezi lišejníky které konzumují, patří například *Lobaria isidiophora* Yoshim., *Lobaria kurokawae* Yoshim., *Lobaria yoshimurae* Kurok. & Kashiw., *Ramalina conduplicans* Vain. a *Ramalina sinensis* Jatta, čaj podporující zdraví se připravuje z lišejníků *Lethariella cashmeriana* Krog., *Lethariella sernanderi* (Motyka) Obermayer, *Lethariella sinensis* J. C. Wei & Y. M. Jiang, *Thamnolia vermicularis* (Sw.) Schaer. a *Thamnolia subuliformis* (Ehrh.) W. L. Culb. Tyto národnosti konzumují lišejníky pravidelně. Druhy *Lobaria* se smaží, druhy *Ramalina* se používají k přípravě studených pokrmů. Pokrmy z druhů *Ramalina* se v některých oblastech podávají jako svatební chod, jinde jsou konzumovány běžně. Čaje připravené z druhu *Lethariella* jsou v tradiční tibetské medicíně používány pro snižování krevního tlaku a tělesného tuku i k léčbě zánětů. Druhy *Thamnolia* jsou používány v tradiční čínské medicíně po stovky, možná tisíce let. Lišejníky se v Číně prodávají jak v obchodech, tak na trzích (obr. č. 21–22) (Wang et al. 2001).

Obr. č. 21–22 Prodej lišejníků v Číně (Wang et al. 2001)



I v Indii se používají lišejníky k přípravě pokrmů. Velmi rozšířené je také využití lišejníků do různých směsí (např. Gharm Masala, Masala, Sambar Masala), k ochucování masa a zeleniny (*Everniastrum cirrhatum*, *Heterodermia tremulans* (Müll. Arg.) W. L. Culb., *Parmotrema reticulatum*, *P. tinctorium* (Despr. ex Nyl.) Hale, *Ramalina subcomplanata* (Nyl.) Zahlbr., *Usnea longissima*). Velké využívání a selektivní sběr je však v současné době v Indii pro lišejníky velkou hrozbou (Upreti et al. 2005).

Na Islandu *Cetraria islandica* často nahrazovala obilí, protože jeho dovoz byl drahý. Lišejník se přidával do kaše, polévky nebo uzenin. Používal se prakticky do

jakéhokoliv vařeného pokrmu. Některé recepty z *Cetraria islandica* se zachovaly dodnes. Mezi ně patří například mléková polévka s lišejníkem, recepty na domácí chléb nebo špaldové housky. „Islandský lišejník“ spolu s žitnou a celozrnnou pšeničnou moukou se stále používá např. jako surovina ke komerční výrobě chleba (obr. č. 24 ) (Iceland vacation 2012).

#### 10.5 LIŠEJNÍKY A ALKOHOL

Ve Švédsku byla do roku 1894, kdy byly lokálně zcela vyčerpány zdroje lišejníků, rozšířena výroba pálenky a v Rusku a na Sibiři používali lidé lišejníky namísto chmele k výrobě piva v některých kláštorech. Velmi hořké a opojné pivo nabízeli cestujícím k osvěžení (Llano 1951). *Circinaria esculenta* byla jednou ze složek vína vyrobeného z medu a léčivých látek v 9. – 13. století v Arábii (Crum 1993).

Islanský 38% likér Fjallagrass Schnapps (obr. č. 23) se prodává v barech, restauracích a hotelech města Reykjavík. *Cetraria islandica* dodává likéru barvu a jedinečnou chuť.

Obr. č. 23 Islandský „Fjallagrass Schnapps“ (Nordic Store 2002)



Obr. č. 24 Islanský chléb s lišejníkem  
(Iceland vacation 2012)



## 10.6 LIŠEJNÍKY JAKO BIOINDIKÁTORY ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

Vzhledem k mnoha aspektům zásahů člověka do přírodních procesů se mění životní prostředí. Cennými indikátory našeho měnícího se prostředí jsou jednotlivé druhy lišejníků (Seaward 2008). Lišejníky hrají velkou roli v terestrických ekosystémech pro svou schopnost vázat uhlík, dusík i minerální látky (Kocourková 2007) a jsou extrémně citlivé na environmentální stres, zejména pokud jde o znečišťování ovzduší (Asta et al. 2002, Weaver 1975). Jsou to organismy velice citlivé na změny prostředí a znečištění ovzduší, indikují obsahové látky v substrátu, na kterém rostou i látky v ovzduší a reagují na změny v prostředí. Mimo jiné reagují i na eutrofizaci prostředí, čistotu vod, změny biotopu, především na změny ve skladbě lesů, rašelinišť, vřesovišť či nivních a suťových biotopů, klimatické změny vyplývající z globálního oteplování. Reagují také na urbanizaci, industrializaci či desertifikaci, které vyplývají ze světového přelidnění (Kocourková 2007, Seaward 2008).

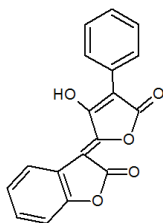
Lišejníků jako bioindikátorů bylo využito již v roce 1866 ve Francii, v okolí Paříže a od té doby byly prováděny studie v městských oblastech na několika kontinentech (Weaver 1975).

Lišejníky jsou značně citlivé na oxid siřičitý, sloučeniny fluoru, dusíkaté látky (Pišút 1984). Slouží také jako bioindikátory amoniaku (Smith et Baker 2003). Vysoká citlivost lišejníků souvisí s tím, že houba v lišejníku přijímá ve vodě rozpuštěné anorganické látky celým povrchem těla, na povrchu stélky lišejníků není vytvořena kutikula, lišejníky mají zvýšenou rychlost metabolismu, zejména když jsou vlhké, a k příjmu látek dochází především z atmosféry. Nejvíce citlivé jsou lišejníky s největším povrchem těla, tedy keříčkovité (*Usnea*, *Bryoria* a *Ramalina*). Méně citlivé jsou lupenité a nejméně citlivé jsou korovité lišejníky. Největší povrch stélky načerpá nejvíce škodlivin a tyto látky (například dusík, síra nebo kovy) se ve stélce hromadí a kumulují do vysokých koncentrací. Epifytické lišejníky jsou citlivější než druhy epigeické a epilické, protože přijímají více imisí. Různé druhy lišejníků snesou jinou maximální krátkodobou koncentraci SO<sub>2</sub> nebo oxidů dusíku, nedokáží je metabolicky odbourat a odumírají (Asta et al. 2002, Kocourková 2007, Nash 2008, Pišút 1984). Lišejníky mají jen omezenou biologickou kontrolu na výměnu plynů a škodlivých látek (Seaward 2008). Protože lišejníky nemají cévní systém, vyvinuly si mechanismy pro příjem vody a živin z atmosférických zdrojů.

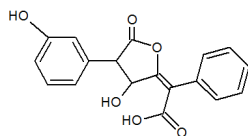
Hlavním zdrojem vody je pro ně v mnoha případech mlha a rosa, které mají často mnohem vyšší koncentrace znečišťujících látek. To, že jsou lišejníky citlivé na znečištění prostředí, je jen zobecnění, protože různé druhy jsou různě citlivé na specifické látky v prostředí. Přítomnost několika druhů lišejníků na stanovišti může odrážet různé úrovně na znečišťující látky. Tam kde jisté druhy zaniknou, mohou jiné druhy přetrvávat a dochází i ke změnám v biodiverzitě druhů (Kocourková 2007, Nash 2008).

Lišejníky jsou citlivé na změny a znečištění prostředí, ale velmi odolné proti účinkům gama záření. Vydrží i velmi vysoké dávky. Malá citlivost se vysvětluje řídkým pletivem stélky, malými jádry a jednoduchou stavbou chromozómů (Pišút 1984). Některé lišejníky mají jedinečnou schopnost růst v silně kontaminovaných oblastech a vzhledem k adaptivním mechanismům umožňují vysokou toleranci ke kovům. Proto je důležitý výběr vhodných lišejníků k biomonitoringu (Sarret et al. 1998).

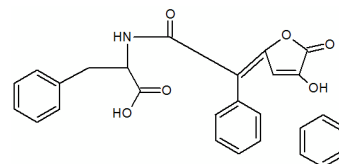
Ochrana proti záření – je založena na aromatické povaze složek sekundárních metabolitů (kyselina usnová, kyselina vulpinová aj.), které jsou světlem stimulovaným mechanismem produkovány ve větší míře (především mykobiontem). Tyto látky silně selektivně absorbují v UV-oblasti (složka B - kratší vlnové délky) a jejich zvýšená koncentrace, a tedy absorpce záření, zabraňují mutagennímu a letálnímu účinku UV na řasovou složku jako producenta organických asimilátů (hlavními látkami schopnými absorpce B-UV jsou – parietin, kalycin, kyselina pinastrová, kyselina rhizokarpová). Sekundární metabolity lišejníků, kyselina usnová i kyselina vulpinová, obsahují ve svých molekulách aromatická jádra, která silně a současně specificky absorbují při kratších vlnových délkách odpovídajících ultrafialové oblasti spektra tzv. BUV (složka UV záření v rozmezí vlnových délek 280 – 315 nm).



kalycin



kyselina pinastrová



kyselina rhizocaropová



K bioindikaci se používá řada metod, které lze rozdělit do skupin (Anděl 2011):

1. Metody fyziologické – tyto metody sledují metabolické pochody v závislosti na působení imisí, jako je například pokles intenzity fotosyntézy, snížení obsahu chlorofylu a přítomnost feofytinu, pH a vodivost lišejníkové stélky, redukci fosfatázové aktivity, aktivitu nitratreduktázy, metabolismus aminokyselin. Význam těchto metod spočívá především v kombinaci s experimentálními postupy.

2. Metody morfologicko-anatomické – tyto metody využívají viditelných změn, ke kterým dochází v průběhu zakrňování a odumírání stélky.

3. Metody floristické-chorologické – patří k nejrozšířenějším metodám používaných k bioindikaci a jsou založeny na skutečnosti, že různé druhy lišejníků mají různou citlivost k imisím.

4. Metody fytoocenologické – při této metodě, se pracuje se skupinou druhů s podobnými ekologickými nároky. Cílem metody je vytvoření jednoho ukazatele, který by vyjadřoval celkovou imisní zátěž dané lokality.

5. Metody chemicko-analytické – tyto metody využívají lišejníkové stélky pro chemickou analýzu jednotlivých složek imisí. Důležitý je mechanismus záchytu obsahu těžkých kovů ve stélkách lišejníků.

Již v 70. letech byly publikovány kvalitativní a kvantitativní metody k určování znečištění ovzduší (Svoboda 2003). Mezi ně patří kvalitativní metoda Hawkswortha a Rose (Hawksworth et Rose 1970). Jejich metoda se používá na přímé zhodnocení kvality ovzduší. Řadí přibližně 80 druhů lišejníků do kategorií 0 až 10 a jednotlivým kategoriím jsou přiřazeny hodnoty koncentrace SO<sub>2</sub>. Kategorie 0 odpovídá maximálnímu znečištění a kategorie 10 ovzduší optimálně čistému. Mezi nejnovější metody pro mapování lišejníkové diversity jako indikátoru stavu prostředí patří metoda LDV – Lichen Diversity Value (Asta et al. 2002). Metoda LDV slouží jako podklad pro indikaci kvality prostředí jako celku (Svoboda 2003).

## VYUŽITÍ LIŠEJNÍKŮ JAKO BIOINDIKÁTORŮ

Lišejníky splňují všechny podmínky bioindikace tj.:

- schopnost akumulace polutantu, aniž by jejich buňky byly likvidovány
- mají široký geografický areál a distribuci

- jsou ubikvistní, hojné a současně žijí přisedle nebo mají minimální mobilitu
- celý rok jsou dostupné pro odběr vzorků
- jsou snadno odebírány a jsou rezistentní vůči laboratorním podmínkám
- mají vysoké koncentrace polutantu vzhledem k ostatním látkám
- existuje přímá korelace mezi intracelulární koncentrací polutantu a extracelulární koncentrací polutantu

Akumulační schopnost je ve studovaném místě relativně konstantní. Podstatou akumulace jsou:

- a) fyzikálně chemické procesy – difuze prostá, pasivní transport, facilitovaná nábojem – takto přijímané polutanty jsou ukládány extracelulárně
- b) biologické – aktivní transport – takto přijímané polutanty jsou ukládány intracelulárně

Protože fyzikální chemické procesy výrazně převládají, je možné vysvětlit neletální působení bioakumulace – polutanty se hromadí v medule stélky extracelulárně, aniž by kolidovaly s buněčným metabolismem.

Používané bioindikace:

1. B-UV – existuje přímá korelace mezi koncentrací usnové kyseliny (stanovovaná obvykle elektrochemicky) a časovou iradiací B-UV. Obecně lze říci, že čím déle byla lišejníková stélkavystavena působení B-složky UV záření, tím větší bude zastoupení sekundárních metabolitů v sušině stélky. Jinak řečeno, lze z množství metabolitů usuzovat na zátěž ultrafialovým zářením.
2. SO<sub>2</sub> – působí oxidativní stres vyúsťující v degradaci chlorofylu a<sub>ii</sub>(PH 700) – lze přímo měřit (po extrakci komponent) poměr chlorofyl/phaeophytin, který je funkcí expozice koncentraci okolního SO<sub>2</sub>
3. NO<sub>x</sub> – koncentrace malondialdehydu je v přímé korelaci s tímto polutantem (vzniká peroxidací lipidické složky membrány)

4. O<sub>3</sub> – chová se podobně jako NO<sub>x</sub>, ale obvyklým metabolitem stanovovaným jsou hydroxyperoxidované dieny – HPCD

5. X<sup>-</sup>(hlavně Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>) – zatím nespecifické, chybí standardní metodologie

6. radionuklidy – existuje korelace mezi koncentrací radionuklidů vně stélky a uvnitř stélky; nadějným se jeví především stanovování radionuklidů <sup>137</sup>Cs, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu – oblasti atomových střeňnic a jaderných elektráren (Biazrov 1993, Koranda et Robison 1978, Ramzaev et al. 2007).

Kontaminace půdy a plodin těžkými kovy z výfukových plynů z dopravy je významným problémem v rozvinutých i rozvojových zemích po celá desetiletí. Posouzení rozsahu znečištění v silničních půdách je klíčem k postupu ochrany jejich ekologických funkcí a trvale udržitelného zemědělství. Tyto nálezy naznačují, že lišejníky *Xanthoria candelaria*, *Lecanora muralis* (Schreb.) Rabenh. a *Xanthoria elegans*, které byly použity při sledování znečištění dopravního původu, jsou dobrými indikátory. Dobrým indikátorem je zejména *Xanthoria candelaria* (Aslan et al. 2011).

Lišejníky jsou často přirovnávány ke kanárkům v uhelném dole, protože jsou citlivé na změny životního prostředí. Jsou vysoce hodnotnými ekologickými ukazateli právě pro svou citlivost na širokou škálu environmentálních stresorů, jako jsou například znečištění vody, změna ovzduší nebo klimatu. Vysoká nebo nízká druhová rozmanitost často vyplývá z některých druhů znečištění a jejich diverzita je používána jako obecný ukazatel zdraví lesů. Důvodem jejich využití jako bioindikátorů je jejich schopnost mapovat podmínky na rozsáhlých územích bez drahého technologického zařízení. Protože jsou úzce spjaty s místními podmínkami, odrážejí škody na životním prostředí a jejich reakce na stres reprezentativněji než výsledky monitorovacích zařízení (Jovan 2008, Monge-Nájera et al. 2002, Richardson 1981). Lišejníkové stélky reagují v krátké době na vliv znečištění ovzduší (Gomoiu et Steřanu 2008). Využití lišejníků jako bioindikátorů je efektivní, jednoduché a levné, oproti elektronickým monitoringům, jejichž provoz a údržba jsou složité a náročné (Jovan 2008, Monge-Nájera et al. 2002). Epifytické lišejníky jsou uznávaným ukazatelem zejména při určování hladiny oxidu siřičitého (Larsen et al. 2007). Navíc jsou elektronické monitoringy omezeny jen na několik málo prvků

nebo chemických sloučenin a nemají žádný vztah s biologickými účinky kontaminujících látek (Monge-Nájera et al. 2002).

Monitorování přístroji nemůže nikdy změřit všechny abiotické a biotické faktory, které mohou mít vliv na životní prostředí. Přestože měřením pomocí přístrojů lze určit úroveň znečišťujících látek v ovzduší, ve vodě i v půdě, ale ze získaných informací nelze určit, kdy jsou člověk, fauna nebo flora v nebezpečí (Batič 2002).

#### 10.7 LIŠEJNÍKY JAKO HERBICIDY

Vědci se stále více zaměřují na výzkum využití přírodních produktů šetrných k životnímu prostředí. Lišejníky produkují alelopatické látky, tj. látky, které mají vliv na vývoj a růst okolních rostlin, hub a lišejníků (Molnár et Farkas 2010). Tyto lišejníkové látky jsou zkoumány biology, chemiky i ekology jako zdroj přírodních herbicidů. Příkladem takové látky je například kyselina usnová, která je silným, biologicky odbouratelným pesticidem a mohla by tak nahradit používané syntetické přípravky, které mají na životní prostředí nepříznivý vliv (Becker 2001, McLaughlin 1990, Molnar et Farkas 2010).

#### 10.8 LICHENOMETRIE

Lichenometrie je metoda mapování povrchu. Technika rozšířená za posledních několik desetiletí, která prostřednictvím podrobného mapování poskytuje základ informací týkající se kvantitativních a kvalitativních změn životního prostředí (Seaward 2008). Pomocí měření velikosti stélky lišejníku stejného druhu v dané lokalitě určí stáří podkladu, na kterém lišejník roste. K tomuto účelu se používá nejčastěji lišejníku rodu *Rhizocarpon*, který roste pomalu a dožívá se značného stáří. K datování a zaznamenávání na růstovou křivku se využívá i dalších zdrojů, jako např. stáří náhrobků, polí, opuštěných farem, kamenných zdí nebo mohyl (Armstrong 2004, Innes 1985).

- Přímá metoda je založena na měření stélek po dobu několika let. Stélky v mnoha různých velikostech jsou měřeny a data zaznamenávají na růstovou křivku. Měření se týká pouze pomocí známého tempa růstu lišejníku a používá se pro kratší časové intervaly. Metoda předpokládá, že růst stélky je konstantní a ignoruje rozdíly v klimatických podmínkách. To může být

překonáno pouze měřením růstu po velmi dlouho dobu a to předpokládá dlouhodobý výzkum. Přesnost je sporná, protože je mnoho neznámých. Jako například počáteční datum kolonizace nebo sezónní odchylky v růstu.

- Nepřímá metoda je založena na měření největší stélky na jednom druhu substrátu známého stáří v určité oblasti. Výsledný empirický vztah se použije k zakreslení na růstovou křivku k porovnání ostatních podkladů. Nepřímá metoda je považována za přesnější, protože klimatické výkyvy jsou již součástí záznamu (Armstrong 2004, Egan 2010).

Lichenometrie byla použita především pro datování stáří ledovcových morén, k odhadu rychlosti ústupu ledovců v Alpách, na Aljašce a v Kanadě, ale také pro datování stáří artefaktů, například kamenných soch na Velikonočním ostrově (Brodo et al. 2011).

## 10.9 DALŠÍ VYUŽITÍ LIŠEJNÍKŮ

### 10.9.1 RITUÁLY

Apači si malují nohy barvivem z *Letharia vulpina*, protože věří, že jsou pro své nepřátele neviditelní (Sharnoff 1997).

Domorodci z Nové Quiney si při svých rituálech k různým příležitostem zdobí vlasy a vousy lišejníkem rodu *Usnea* (Lambley 1998).

Ve východním Ekvádoru se používal lišejník druhu *Dictyonema* asi do roku 1900 k šamanským rituálům. Způsoboval silné bolesti hlavy a zmatenost (Davis et Yost 1983). Magické vlastnosti se připisovaly *Letharia vulpina* Barvou získanou z lišejníku si malovali apáčští bojovníci kříže na nohou a věřilo se, že jim umožňuje být neviditelnými pro jejich nepřátele (Palmer 1878). *Peltigera membranacea* (Ach.) Nyl., se zase používala v Britské Kolumbii k milostnému kouzlu (Turner et Bell 1973). A například v oblasti východní Kanady se kladl lišejník *Umbilicaria mammulata* (Ach.) Tuck. na žaludek ženy v případě těžkého porodu (Arnason et al. 1981). Lišejníky *Cetrelia collata* (Nyl.) W. L. Culb. & C. F. Culb., *Everniastrum cirrhatum* (Fr.) Hale ex Sipman, *Melanohalea infumata*, *Parmotrema nilgherrense* (Nyl.) Hale jsou spalovány ve směsích s jinými aromatickými bylinami, při svatých

obětních ohních, známých jako Hawan nebo Homa, při různých kulturních událostech (Upreti et al. 2005).

### 10.9.2 DEKORACE

*U.scabrata* nebo *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda se používá při aranžování květin (obr. 25), nástěnných dekorací a ozdob. Hřbitovní věnce a kříže se základem *Cladonia stellaris* zůstávají po dlouhou dobu v dobrém stavu a nejvíce se používají v Německu, odkud se tento zvyk šíří do Velké Británie. Málo kdo si někdy všimnul, že stromy a keře (obr. 26) železničních či architektonických maket jsou vyrobené z lišejníku, např. z lišejníku *C. islandica* nebo lišejníků rodu *Cladonia*. Malé části lišejníku se namáčí v glycerolu, aby byly ohebnější, a tvarují se do požadovaných tvarů. Lišejníky mohou tvořit i součást podpourri, ve směsi *Pseudevernia furfuracea*, *Cladonia* s aromatickými květy, listy, semen nebo barevných dřevěných hoblin. Zde je použitý aromatický olej absorbován lišejníkem a postupně uvolňován (Gilbert 2010, Kratochvíl 2007–2009, Sharnoff 1997). Děti ve Skotsku malují velikonoční vajíčka barvami získanými z lišejníku *Xanthoria parietina* (Johnston 1831 in Gilbert 2010). Barvami z lišejníků se barví alkohol v teploměrech (Gilbert 2010).

Obr. č. 25 *Cetraria islandica* (Aranžování květin 2013)



Obr. č. 26 Zeleň modelové železnice (Elektrické vláčky 2013)

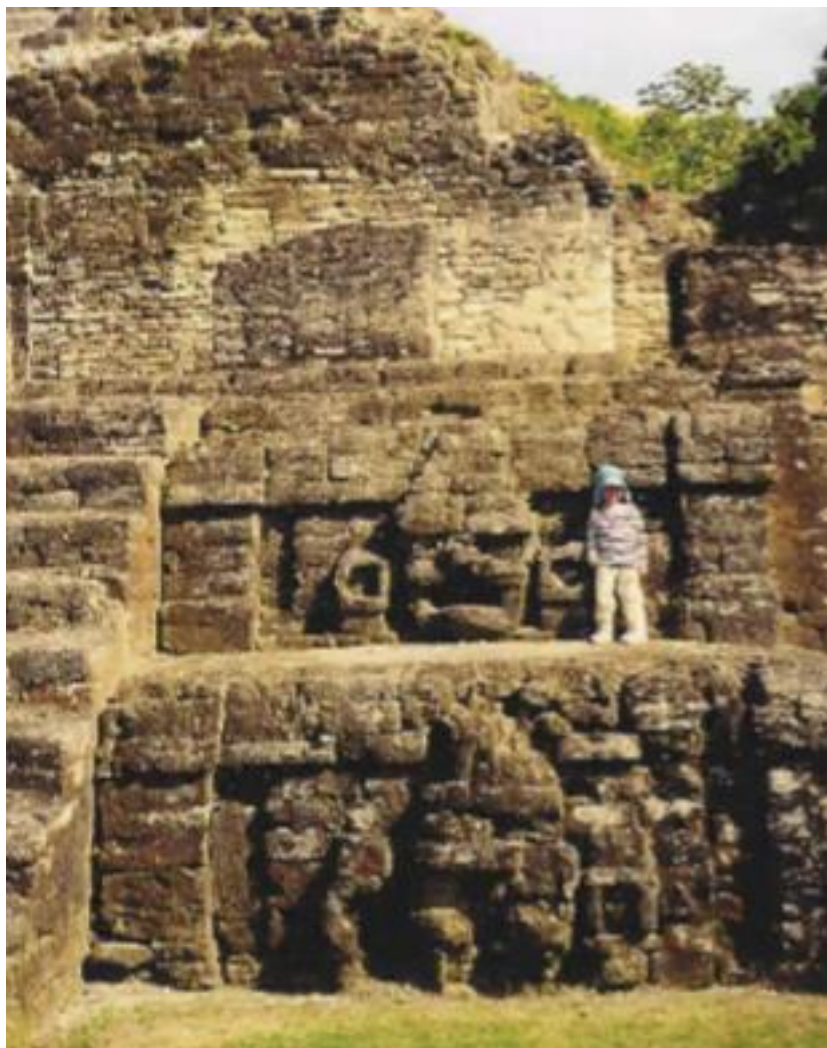


## 11. ŠKODLIVÉ ÚČINKY LIŠEJNÍKOVÝCH LÁTEK

Přes svou krásu nejsou lišejníky vždy všude vítány. Pokud chceme zachovat architektonické a kulturní památky (obr. 27), musíme je před lišejníky chránit (Brodo et al. 2011).

Nebezpečí lišejníků souvisí s tím, že se podílejí na rozrušování těchto památek pomocí kombinovaných účinků mechanické penetrace rhiziny s působením organických kyselin, které uvolňují houbové složky. Některé kyseliny mají chelatační účinky jako například kyselina lekanorová, evernová, lobarová. Endolithické lišejníky představují pro stavby nebezpečí pro chemickou reaktivitu metabolitů, zvláště pokud mají dostatek času ke svému působení (Hale et Cole 1988, Kotlík 1999).

Obr. č. 27 Mayská ruina – porůstání lišejníky (Egan 2010)



Podstata zvětrávacího vlivu lišejníkových metabolitů (Adamo et Violante 1999; Škárka et Ferenčík 1992):

### 1. Mechanická (fyzikální)

- a) fyzická penetrace hyfami mykobionta do substrátu
- b) expanze, kontrakce a s tím spojené změny objemu hyf (po příjmu či výdeji H<sub>2</sub>O) a tím zvětšování již přirozeně existujících trhlin
- c) osmotické jevy na půdních elementech – především výměna H<sub>2</sub>O a její periodické zamrzání a odtávání => mechanické rozrušení podkladu (po cyklech hydratace – dehydratace – rehydratace a objemová expanze spojená s tuhnutím H<sub>2</sub>O a kontrakce spojená s táním)

### 2. Aktivní (chemická)

Podstatou je sekrece organických karboxylových kyselin, buď nízkomolekulárních – oxalová, mléčná, citronová, glukonová, nebo vysokomolekulárních - lišejníkové kyseliny – usnová, vulpinová, lichenová, protolichenová aj. a jejich následná interakce se substrátem.

Molekulární podstatou působení na chemické bázi je:

- a) acidofilní solubilizace – podstatou acidofilní solubilizace je převedení původně nerozpustných silikátů kovů (včetně těžkých) do roztoku. Jená se vlastně o mobilizace kationtů z nerozpustných solí
- b) chelatační procesy – lišejníkové kyseliny jsou polydentátní ligandy s vysokými konstantami komplexity, chemické látky, obsahující ve svých molekulách dva a více volných elektronových párů na elektronegativních atomech (dusík, kyslík), které poskytují provznik koordinačně kovalentní vazby s atomy kovů. Tyto druhy ligandů se tedy chovají jako chelatační činidla = látky, vytvářející chelátové komplexy
- c) extrakce silnými kyselinami
- d) precipitace extrahovaných iontů na málo rozpustné soli H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (lišejníky uvolněná kyselina šťavelová)

(Piter 1999)



## 12. LIŠEJNÍKY ROZDĚLENÉ PODLE ZPŮSOBU VYUŽITÍ

Tab. č. 2 Seznam excerpovaných lišejníků

	Barviva	Medicína	Potraviny	Čaj	Kosmetika	Bioindikace	Alkohol
<i>Alectoria sp.</i>	hnědé						
<i>Alectoria ochroleuca</i>			+				
<i>Brodoa atrofusca</i>	žluto-hnědé						
<i>Circinaria esculenta</i>			+				+
<i>Cetraria aculeata</i>	červené fialové oranžové	+					
<i>Cetraria islandica</i>	hnědé	+					+
<i>Cetrariastrum nepalense</i>					+		
<i>Circinaria calcarea</i>	červené fialové oranžové						
<i>Cladonia rangiferina</i>		+	+				
<i>Cladonia rangiformis</i>		+					
<i>Collema flaccidum</i>		+					
<i>Diploschistes scruposus</i>	červené fialové oranžové						
<i>Evernia mesomorpha</i>					+		
<i>Evernia prunastri</i>	červené fialové oranžové				+		
<i>Flavoparmelia caperata</i>	červené fialové oranžové						
<i>Heterodermia tremulans</i>			+				
<i>Hypogymnia physodes</i>	hnědé						
<i>Chrysothrix chlorina</i>	hnědé						
<i>Lasallia pustulata</i>	červené fialové oranžové	+					
<i>Lecanora muralis</i>						+	
<i>Lecanora pallescens</i>	fialové						
<i>Letharia vulpina</i>	žluté						
<i>Lethariella cashmeriana</i>				+			
<i>Lethariella sinensis</i>				+			

	Barviva	Medicína	Potraviny	Čaj	Kosmetika	Bioindikace	Alkohol
<i>Lobaria isidiophora</i>							
<i>Lobaria kurokawae</i>			+				
<i>Lobaria pulmonaria</i>	červené fialové oranžové hnědé	+					
<i>Lobaria scrobiculata</i>	hnědé						
<i>Lobaria yoshimurae</i>			+				
<i>Ochrolechia parella</i>	červené fialové oranžové						
<i>Ochrolechia tartarea</i>	červené fialové oranžové						
<i>Parmelia omphalodes</i>	hnědé						
<i>Parmelia saxatilis</i>	červené fialové oranžové						
<i>Parmelia sulcata</i>		+					
<i>Parmotrema perlatum</i>	fialové	+					
<i>Parmotrema reticulatum</i>			+				
<i>Parmotrema tinctorium</i>			+				
<i>Peltigera canina</i>		+					
<i>Peltigera polydactyla</i>		+					
<i>Pertusaria corallina</i>	červené fialové oranžové						
<i>Pseudevernia furfuracea</i>		+			+		
<i>Ramalina conduplicans</i>			+				
<i>Ramalina farinacea</i>	červené fialové oranžové						
<i>Ramalina siliquosa</i>	červené fialové oranžové						
<i>Ramalina sinensis</i>			+				
<i>Rhizocarpon geographicum</i>	hnědé						
<i>Rimelia reticulata</i>		+					
<i>Roccella phycopsis</i>	červené fialové oranžové						
<i>Solorina crocea</i>	červené fialové oranžové						
<i>Stereocaulon himalayense</i>		+					

	Barviva	Medicína	Potraviný	Čaj	Kosmetika	Bioindikace	Alkohol
<i>Teloschistes flavicans</i>	hnědé						
<i>Thamnotia subuliformis</i>				+			
<i>Thamnotia vermicularis</i>				+			
<i>Umbilicaria crustulosa</i>		+					
<i>Umbilicaria cylindrica</i>	hnědé hnědo- zelené	+	+				
<i>Umbilicaria deusta</i>	hnědé						
<i>Umbilicaria esculenta</i>		+					
<i>Umbilicaria vellea</i>	fialové						
<i>Usnea scabrata</i>	oranžové	+					
<i>Usnea filipendula</i>		+					
<i>Usnea florida</i>	červené fialové oranžové barvivo						
<i>Usnea ghattensis</i>	+						
<i>Usnea longissima</i>			+				
<i>Usnea plicata</i>	červené fialové oranžové						
<i>Vulpicida juniperinus</i>	hnědé						
<i>Xanthoparmelia conspersa</i>	červené fialové oranžové						
<i>Xanthoparmelia chlorochroa</i>	+						
<i>Xanthoria candelaria</i>	hnědé					+	
<i>Xanthoria elegans</i>						+	
<i>Xanthoria parietina</i>	žluto- hnědé hnědé	+					

### 13. SEKUNDÁRNÍ METABOLITY VYUŽITELNÉ V MEDICÍNĚ

	atranorin	kyselina usnová	kyselina fydosová	kyselina fumaprotocetratová	kyselina olivetorová	kyselina protolichesterinová	kyselina stiktová	kyselina salazinová	kyselina gyroforová	chloratranorin	kyselina 3-hydroxyfyosodová	kyselina konstiktová	kyselina norstiktová	panarin
<i>Alectoria</i> sp.		+												
<i>Cetraria aculeata</i>						+								
<i>Cetraria islandica</i>				+		+								
<i>Cladonia rangiferina</i>	+			+										
<i>Cladonia rangiformis</i>	+			+										
<i>Collema flaccidum</i>														+
<i>Evernia prunastri</i>	+	+												
<i>Evernia furfuracea</i>	+		+		+									
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	+		+								+			
<i>Lasallia pustulata</i>									+					
<i>Lecanora</i> sp.		+												
<i>Lethariella cashmeriana</i>														
<i>Lethariella sermanderi</i>														
<i>Lethariella sinensis</i>														
<i>Lobaria pulmonaria</i>								+	+			+	+	
<i>Parmelia sulcata</i>	+								+					
<i>Parmotrema perlatum</i>	+							+						
<i>Peltigera polydactyla</i>														
<i>Pseudevernia furfuracea</i> var. <i>ceratea</i>	+		+		+					+				
<i>Pseudevernia furfuracea</i> var. <i>furfuracea</i>	+		+		+					+				
		+												
<i>Stereocaulon himalayense</i>														
<i>Thamnolia subuliformis</i>														
<i>Thamnolia vermicularis</i>														
<i>Umbilicaria crustulosa</i>														
<i>Umbilicaria cylindrica</i>														
<i>Umbilicaria esculenta</i>														
<i>Usnea scabrata</i>		+												
<i>Usnea filipendula</i>		+												
<i>Xanthoparmelia pokornyi</i>									+					
<i>Xanthoria parietina</i>														

## 14. VÝSLEDKY PRÁCE

Cílem práce bylo shromáždit informace o využívání lišejníků a jejich sekundárních metabolitů člověkem, v historii i v současnosti.

Informace byly excerpovány z odborných článků, které se týkají výzkumu sekundárních metabolitů a především jejich významu pro člověka v současné době.

Byl vytvořen ucelený přehled využití lišejníků a jejich významu. Jednotlivé kapitoly byly rozděleny podle způsobu využití lišejníků a shrnuty do tabulky (Tab. č. 2, str. 65–67). Dále byla vypracována tabulka (Tab. č. 3, str. 68), která ukazuje, které sekundární metabolity jsou obsažené ve vyexcerpovaných lišejnicích látky.

Získané informace ukazují, že se lišejníky využívaly již od starověku a díky svým jedinečným vlastnostem, budou využívat dále. Je vhodné pokračovat ve studiu těchto organismů a chránit je v rámci ekologicky přijatelného rozvoje, protože jsou zdrojem látek, které jsou pro člověka využitelné. Především jako zdroj látek využitelných v medicíně, jako bioindikátory nebo v lichenometrii. Nové technologie nabízí nové možnosti i při studiu lišejníků a jejich látek. Např. testy se simulací atmosféry Marsu, teploty, vlhkosti a UV záření, prokázaly přetrvání fotosyntetické aktivity *Xanthoria elegans* (Link) Th. Fr. Tyto výsledky jsou cenné pro stanovení obyvatelnosti planety a pátrání po případných život podporujících stanovištích na planetách, jako je Mars (Vera 2012).

### **Seznam excerpovaných lišejníků, které lidé využívají:**

*Alectoria ochroleuca* (Hoffm.) A. Massal.

*Brodoa atrofusca* (Schaer.) Goward

*Circinaria esculenta* (Pall.) Sohrabi

*Cetraria aculeata* (Schreb.) Fr.

*Cetraria islandica* (L.) Ach.

*Everniastrum nepalense* (Taylor) Hale ex Sipman

*Cetrelia collata* (Nyl.) W. L. Culb. & C. F. Culb.

*Circinaria calcarea* (L.) A. Nordin, S. Savic' & Tibel

*Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F. H. Wigg.

*Cladonia rangiformis* Hoffm.

*Collema flaccidum* (Ach.) Ach.

*Diploschistes scruposus* (Schreb.) Norman

*Evernia mesomorpha* Nyl.  
*Evernia prunastri* (L.) Ach.  
*Everniastrum cirrhatum* (Fr.) Hale ex Sipman  
*Flavoparmelia caperata* (L.) Hale  
*Heterodermia tremulans* (Müll. Arg.) W. L. Culb.  
*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.  
*Chrysothrix chlorina* (Ach.) J. R. Laundon  
*Lasallia pustulata* (L.) Mérat  
*Lecanora muralis* (Schreb.) Rabenh.  
*Lecanora pallescens* A. Massal.  
*Letharia vulpina* (L.) Hue.  
*Lethariella cashmeriana* Krog.  
*Lethariella sinensis* J. C. Wei & Y. M. Jiang  
*Lobaria isidiophora* Yoshim.  
*Lobaria kurokawae* Yoshim.  
*Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.  
*Lobaria scrobiculata* (Scop.) P. Gaertn.  
*Lobaria yoshimurae* Kurok. & Kashiw.  
*Melanohalea infumata* (Nyl.) O. Blanco et al.  
*Ochrolechia parella* (L.) A. Massal.  
*Ochrolechia tartarea* (L.) A. Massal.  
*Parmelia omphalodes* (L.) Ach.  
*Parmelia saxatilis* (L.) Ach.  
*Parmelia sulcata* Taylor  
*Parmotrema nilgherrense* (Nyl.) Hale  
*Parmotrema perlatum* (Huds.) M. Choisy  
*Parmotrema reticulatum* (Taylor) M. Choisy  
*Parmotrema tinctorium* (Despr. ex Nyl.) Hale  
*Peltigera canina* (L.) Willd.  
*Peltigera polydactyla* (Neck.) Hoffm.  
*Pertusaria corallina* (L.) Arnold  
*Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf  
*Ramalina conduplicans* Vain.  
*Ramalina farinacea* (L.) Ach.

*Ramalina siliquosa* (Huds.) A. L. Sm.  
*Ramalina sinensis* Jatta  
*Rhizocarpon geographicum* (L.) DC.  
*Roccella phycopsis* Ach.  
*Solorina crocea* (L.) Ach.  
*Stereocaulon himalayense* D. D. Awasthi & I. M.  
*Teloschistes flavicans* (Sw.) Norman  
*Thamnotia subuliformis* (Ehrh.) W. L. Culb.  
*Thamnotia vermicularis* (Sw.) Schaer.  
*Umbilicaria crustulosa* (Ach.)  
*Umbilicaria cylindrica* (L.) Delise ex Duby  
*Umbilicaria deusta* (L.) Baumg.  
*Umbilicaria esculenta* (Miyoshi) Minks  
*Umbilicaria vellea* (L.) Ach.  
*Usnea scabrata* Nyl.  
*Usnea filipendula* Stirt.  
*Usnea florida* (L.) Weber ex F. H. Wigg.  
*Usnea ghattensis* G. Awasthi  
*Usnea longissima* Ach.  
*Usnea plicata* (L.) Weber ex F. H. Wigg.  
*Vulpicida juniperinus* (L.) J. - E. Mattsson & M. J. Lai  
*Xanthoparmelia conspersa* (Ehrh. ex Ach.) Hale  
*Xanthoparmelia chlorochroa* (Tuck.) Hale  
*Xanthoria candelaria* (L.) Th. Fr.  
*Xanthoria elegans* (Link) Th. Fr.  
*Xanthoria parietina* (L.) Beltr.

## 15. DISKUSE

Práce měla především ukázat, kdy člověk lišejníky a jejich látky využíval a využívá nejčastěji, které látky byly v historii a jsou v současné době využívány nejvíce a také které sekundární metabolity jsou vhodné v budoucnosti dále studovat, protože nabízí uplatnění. Všem, kteří budou tuto číst práci, by měla osvětlit, jakou roli lišejníky hrají v přírodě, jakými jsou využitelnými zdroji pro člověka i jak je důležité je chránit a hledat způsob, jak je kultivovat, abychom o tyto zdroje nepřišli.

Ze získaných informací vyplývá, že lišejníků a lišejníkových látek bylo v minulosti hodně využíváno, a že i v současné době je využití extracelulárních metabolitů lišejníků středem zájmu vědců mnoho oborů. A to oprávněně, protože tyto organické látky, by mohly v budoucnu nahradit synteticky vyráběné produkty.

V historii se používaly především k získání barviv, kdy byly levným a dostupným zdrojem k jejich výrobě a technologický způsob výroby nebyl složitý. Nejvíce se k získání barviv používaly lišejníky rodů *Rocella*, *Umbilicaria*, *Parmelia*, *Ochrolechia* a *Lasallia*. Barviva získána z lišejníků a léčivé vlastnosti používají Indiáni dodnes.

Dostupná literatura ukazuje, že také využití v medicíně, bylo velmi rozšířené. První zmínka o použití lišejníku jako léku pochází přibližně z roku 1500 před n. l. lidé v zemích východní Asie a kmeny původních obyvatel Ameriky používali lišejníky již od starověku a používají do dnešní doby.

Využití lišejníků jako potravin nebylo časté. Lidé připravovali lišejníky především v době hladomoru, i když některé národy i dnes považují za lahůdku.

Dalšími způsoby nakládání s lišejníky jako jsou různé magické rituály anebo využití lišejníků jako hygienických potřeb pro ženy a děti, nebyly tak časté.

Nejvíce odborných článků o výzkumu lišejníků a jejich extracelulárních látek v současné době souvisí s medicínou. V době, kdy jsou nové kmeny patogenů rezistentní vůči antibiotikům získaným synteticky, je výzkum těchto organismů určitě žádoucí. Studium antibiotických, antimikrobiálních, protizánětlivých, antivirových, analgetických, antipyretických, antiproliferativních nebo cytotoxických vlastností některých sekundárních látek, by mohlo pomoci syntetické látky nahradit. Vědci se stále více zaměřují na studium sekundárních metabolitů z hlediska využití jejich léčivých látek a především jejich kultivací, protože je obtížné získat dostatečné množství materiálu k jeho komerčnímu využití. Mezi nejvíce studované extracelulární metabolity patří kyselina usnová, kterou produkují např. lišejníky rodů *Usnea*, *Cladonia*, *Evernia* nebo *Pseudevernia*. Kyselina usnová má antibakteriální a antibiotické vlastnosti. Antibiotické vlastnosti mají i atranorin, kyselina norstiktová, kyselina konstiktová, kyselina stiktová a kyselina vulpinová. Antibiotické vlastnosti má také například kyselina salazinová a antimikrobiální vlastnosti má



atranorin, chloratranorin, kyselina fysodová, olivetorová nebo kyselina 3-hydroxyfysodová. Všechny těchto vlastností by se dalo určitě využít ve farmakologickém průmyslu, pokud se podaří nalézt techniky, pomocí nichž bude možné kultivovat lišejníky s jejich sekundárními látkami.

V on-line lékárnách lze snadno zjistit, že se dnes v České republice nabízí škála produktů, které obsahují lišejník. *Cetraria islandica*, jediný lišejník, který je v ČR uznán jako léčivá rostlina, je složkou obsaženou především v bylinných čajích, potravinových doplňcích a hygienických produktech (např. zubní pasty, ústí vody).

Studie ukazují, že velmi důležitými jsou lišejníky i při biomonitoringu znečištění životního prostředí, kde mají své nezastupitelné místo, nejen na stanovištích, kde není možné použít technické přístroje. Hlavním důvodem je především to, že jejich indikace ukazuje abiotické i biotické faktory, které mají vliv na životní prostředí.

Také využití lišejníků jako zdroje barviv je v současné době aktuálním tématem k výzkumu, protože jejich antibakteriální vlastnosti by se mohly využít k výrobě oděvů vhodných například pro alergiky.

K výrobě parfémů se také v současnosti stále používá lišejníků (*Evernia prunastri*, *Pseudevernia furfuracea*), a to především ve Francii. Ale množství lišejníků, které se ročně spotřebuje, k výrobě parfému je určitě varovné.

Z mnoha odborných prací zaznívá varování před velkým využíváním a selektivním sběrem, které jsou pro lišejníky velkou hrozbou. Miao (2001) uvádí, že průmyslový rozsah sklizně lišejníků není ekologicky rozumný, ani udržitelný a u mnoha druhů ani proveditelný, protože rychlému využití brání především jejich pomalý růst (často méně než jeden milimetr za rok). A proto jsou velmi žádoucí další studie sekundárních metabolitů lišejníků, stejně jako jejich ekonomická a rychlá izolace. Úsilí lišejníky kultivovat, se setkalo s povzbudivou mírou úspěšnosti, ale kultury zatím často nevytváří typické lišejníkové látky a proto je nutné nalézt nové techniky. Alternativním přístupem jsou nové moderní technologie v molekulární biologii jako například molekulárně genetické techniky využívající polymerázovou řetězovou reakci – PCR. Molekulárně genetické studie byly v minulosti velmi omezené, ale v současné době se přístup k biologii lišejníků dostává do popředí

zájmu. Studie lišejníků naznačují, že mohou být produktivním zdrojem metabolitů více, než se předpokládalo.

## **16. ZÁVĚR**

Využití lišejníků a jejich sekundárních metabolitů bylo v minulosti a je i současnosti velmi rozšířené, ale výsledky výzkumů těchto zajímavých organismů nejsou veřejnosti dost známé.

Čerpáno bylo především z odborných článků lichenologů, kteří se zabývají studiem sekundárních metabolitů z hlediska jejich využití člověkem. Práce je pak uceleným přehledem využití lišejníků člověkem (etnolichenologie) a výsledků výzkumů sekundárních chemických látek českých a především zahraničních lichenologů a biochemiků.

Práce je rozdělena podle jednotlivých způsobů využití těchto metabolitů a doplněna o biochemické odborné údaje. Jejím účelem je využití poznatků jako zdroj informací a bude tak podkladovým materiálem pro další výzkum chemismu lišejníků.

V oboru lichenologie je studium extracelulárních sekundárních metabolitů, látek, které jsou specifické pro lišejníky, a které vznikají jako vedlejší produkt jejich metabolismu, v popředí zájmu vědců taxonomů a v popředí aplikovaného výzkumu z důvodu využití speciálních vlastností těchto látek v mnoha oborech vědy.

Na tuto práci mohou navazovat další, které budou prohlubovat poznatky o výsledcích výzkumů sekundárních metabolitů, nových objevených látek a dalšího využití lišejníků a jejich chemismu.

## POUŽITÁ LITERATURA

- Adamo P., Violante P. (2000): Weathering of rocks and neogenesis of minerals associated with lichen activity. – *Applied Clay Science* 16: 229–256.
- Agelet A., Vales J. (2003): Studies on pharmaceutical ethnobotany in the region of Pallars (Pyrenees, Catalonia, Iberian Peninsula). Part III. Medicinal uses of non-vascular plants. – *Journal of Ethnopharmacology* 84: 229–234.
- Ambrožová J. (2003): Aplikovaná a technická hydrobiologie. – VŠCHT Praha, Praha. 226 pp.
- Armstrong R. A. (2004): Lichens, Lichenometry and global warming. – *The Microbiologist* 5: 32–35.
- Anděl P. (2011): Ekotoxikologie, bioindikace a biomonitoring. – Evernia s.r.o. Liberec. 265 pp.
- Arnason T., Hebda R. J., Johns T. (1981): Use of plants for food and medicine by native peoples of eastern Canada. – *Canadian Journal Botany* 59: 2189–2325.
- Aslan A., Çiçek A., Yazıcı K., Karagöz Y., Turan M., Akkuş F., Yildirim O. S. (2011): The assessment of lichens as bioindicator of heavy metal pollution from motor vehicles activities. – *African Journal of Agricultural Research* 6: 1698–1706.
- Asta J., Erhardt W., Ferreti M., Fornasier F., Kirschbaum U., Nimis P. L., Purvis O. W., Pirintsos S., Scheidegger C., Van Haluwyn C., Wirth W. (2002): Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. – In: Nimis P. L., Scheidegger C., Wolseley P. A.: *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens.*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. 273–279.
- Batič F. (2002): Bioindication of sulphur dioxide pollution with lichens. – *Protocols in lichenology*: 483–503.
- Baumann B. B. (1960): The botanical aspects of ancient Egyptian embalming and burial. – *Economic Botany* 14: 84–104.
- Becker H. (2001): Lichens: an unlikely source of new herbicides. – *Agricultural research* 49: 10–11.

- Behera B. C., Makhija U. (2001): Effect of various culture conditions on growth and production of salzinic acid in *Bulbothrix setschwanensis* (lichenized ascomycetes) in vitro. – Current Science-Bangalore 80: 1424–1427.
- Bechtold T., Mussak R. (2009): Handbook of Natural Colorants. – John Wiley & Sons. 434 pp.
- Berzelius J. J. (1813): Versuche über die Mischung des isländischen Moooses und seine Anwendung als Nahrungsmittel. – Schweigger's Journal der Chemie und Physik 7: 317–352.
- Biazrov L. G. (1993): The Radionuclides in Lichen Thalli in Chernobyl and East Urals Areas after Nuclear Accidents. – Phytton, 34: 85-94.
- Bidlová V. (2005): Barvení pomocí rostlin. – Grada Publishing, Praha. 88 pp.
- Bolton E. M. (1960): Lichens for vegetable dyeing. – Studio Books, London. 63 pp.
- Boron W. F., Boulpaep E. L. (2012): Medical Physiology. – A Cellular and Molecular Approach, Updated 2nd Edition. – Elsevier, Philadelphia. 1337 pp.
- Brodo I. M., Sharnoff S. D., Sharnoff S. (2011): Lichens of North America. – Yale University Press, New Haven and London. 795 pp.
- Boustie J., Grube M. (2005): Lichens – a promising source of bioactive secondary metabolites. – Plant Genetic Resources 3(2): 273–287.
- Cannon P. (2010): Lichen camouflage and lichen mimicry. – British Lichen Society Bulletin 106: 39–41.
- Cedano M. M., Ibarra L. V. (2006): Colorantes orgánicos de hongos y líquenes. – Scientia Cucba 8(2): 141–161.
- Cooksey Ch. J. (2001): Tyrian Purple: 6,6'-Dibromoindigo and Related Compounds. – Molecules 6: 736–769.
- Crum H. (1993): A lichenologist's view of lichen manna. – Contributions to the University of Michigan Herbarium 19: 293–306.
- Čapek K. (2011): Cestopisné fejetony. – Nakladatelství Fragment, Praha. 499 pp.
- Čelakovský L. (1876): Lišejníky co dvojité bytosti rostlinné. – dr. Ed. Gregr, Praha. 45 pp.

- Čeněk M. (2009): Mechy a lišejníky. – Národní zemědělské muzeum Praha, Praha. 96 pp.
- Červinka O., Dědek, V., Ferles M. (1980): Organická chemie. – SNTL/Alfa, Bratislava. 792 pp.
- Davis E. W., Yost J. A. (1983): Novel hallucinogens from eastern Ecuador. – Botanical Museum Leaflets, Harvard university (Peabody Museum) 29(3): 291–295.
- Donkin R. A. (1981): The "Manna Lichen": *Lecanora esculenta*. – *Anthropos* 76(3/4): 562–576.
- Elix J. A. (1982): Peculiarities of the Australasian lichen flora: accessory metabolites, chemical and hybrid strains. – *Journal of The Hattori Botanical Laboratory* 52: 407–415.
- Elix J. A., Stocker-Wörögter E. (2008): Biochemistry and secondary metabolites. Pages 104–133. In: Nash III T. H. (ed.): *Lichen Biology (Second Edition)*. – Cambridge University, Cambridge.
- Freeman M. M. R. (1967): An ecological study of mobility and settlement patterns among the Belcher Island Eskimo. – *Arctic* 20(3): 154–175.
- Gabriel J. (1993): Sekundární metabolity lišejníků, I. Ochranná úloha lišejníkových látek. – *Bryonora* 11: 5–6.
- Gilbert O. (2000): *Lichens: the new naturalist* [online]. 1st publ. – Harper Collins Publishers, London. 288 pp.
- Gloser J. (2008): Antarktické vegetační oázy 2. Lišejníky. – *Živa* 2: 69–72.
- Hawksworth D. L., Rose F. (1970): Qualitative scale for estimation sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. – *Nature* 227: 145–148.
- Hofmann A., Schultes R. E. (1996): *Rostliny bohů – Jejich posvátná, léčebná a halucinogenní moc*. – Maťa, Volvox Globator, Praha. 192 pp.
- Huneck S., Yoshimura I. (1996): *Identification of Lichen Substances*. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 493 pp.

- Chooi Y. (2008): Genetic potential of lichen-forming fungi in polyketide biosynthesis. – 273 pp. [PhD Thesis, depon. in: School of Applied Sciences, RMIT University].
- Ingólfssdóttir K., Bloomfield A. F., Hylands P. J. (1985): In Vitro Evaluation of the Antimicrobial Activity of Lichen Metabolites as Potential Preservatives. – *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 28(2): 289–292.
- Ingólfssdóttir K., Hjalmarsdóttir M. A., Sigurdsson A., Gudjonsdóttir G. A., Brynjólfssdóttir A., Steingrímsson O. (1997): In vitro susceptibility of *Helicobacter pylori* to protolichesterinic acid from the lichen *Cetraria islandica*. – *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 41(1): 215–217.
- Ingólfssdóttir K. (2002): Usnic acid. – *Phytochemistry* 61(7): 729–736.
- Innes J. L. (1985): Lichenometry. – *Progress in Physical Geography* 9: 187–254.
- Jarkovský M. (1978): Lišejníkové látky a jejich identifikace. – Pedagogická fakulta v Hradci Králové, Hradec Králové. 106 pp.
- Joulain D., Tabacchi R. (2009): Lichen extracts as raw materials in perfumery. Part 1: oakmoss. – *Flavour and Fragrance Journal* 24: 49–61.
- Joulain D., Tabacchi R. (2009): Lichen extracts as raw materials in perfumery. Part 2: treemoss. – *Flavour and Fragrance Journal* 24: 105–116.
- Jovan S. (2008): Lichen Bioindication of Biodiversity, Air Quality, and Climate: Baseline Results From Monitoring in Washington, Oregon, and California. – Pacific Northwest Research Station. 115 pp.
- Knudsen K. (2011): An Adventure in Ethnolichenology. – *Bulletin of the California Lichen Society* 18(1):14–16.
- Koranda, J. J., Robison W. L. (1978): Accumulation of radionuclides by plants as a monitor system. – *Environmental health perspectives* 27: 165–179.
- Kotlík P. (1999): Stavební materiály historických objektů. – VŠCHT Praha, Praha. 112 pp.

- Kumar B., Tewari L. M., Kholia H. (2011): Diversity of Potential lichens on Banj oak twigs in Banlekh forest of district Champawat, Kumaun Himalaya. – Report and Opinion 3(1): 151–154.
- Lai B., Upreti, D. K. (1995): Ethnobotanical notes on three Indian lichens. – The Lichenologist 27(1): 77–79.
- Lambley P. (1998): Usnea used in body decoration in Papua New Guinea. – British Lichen Society Bulletin 82: 20–21.
- Larsen R. S., Bell J. N. B., James P. W., Chimonides P. J., Rumsey F. J., Tremper A., Purvis O. W. (2007): Lichen and bryophyte distribution on oak in London in relation to air pollution and bark acidity Original Research Article. – Environmental Pollution 146(2): 332–340.
- Lawrey J. D. (1986): Biological role of lichen substances. – The Briologist 89: 111–122.
- Lawrey J. D. (1986): Biological role of lichen substances. – The Bryologist 89:111–122. Cocchiello M., Skert N., Nimis P. L. (2002): A review on usnic acid, an interesting natural compound. – Naturwissenschaften 89: 137–146. Liška J. (2000): Vázaný a nevázaný život lišejníků, Lichenizace jako příklad úspěšné strategie. – Vesmír 79: 623– 629.
- Liška J., Palice Z. (2010): Červený seznam lišejníků České republiky (verze 1.1). – Příroda 29: 3-66.
- Llano G. A. P. (1944): Lichens: their biological and economic significance. – The Botanical Review 10 (1): 1–65.
- Llano G. A. (1951): Economic uses of lichens. – Annual report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution: 385–422.
- Llano G. A. (1956): Utilization of lichens in the arctic and subarctic. – Economic Botany 10(4): 367–392.
- Lokvenc T. (1978): Toulky krkonošskou minulostí. – Kruh, Hradec Králové. 267 pp.
- Maliček J. (2012): Sekundární metabolity lišejníků a jejich význam pro taxonomii, – Živa 6: 276–278.

- McLaughlin J. L. (1990): Bench-top bioassays for the discovery of bioactive compounds in higher plants. – *Brenesia* 34: 1–14.
- Miao V., Coëffet-LeGal M. F., Brown D., Sinnemann S., Donaldson G., Davies J. (2001): Genetic approaches to harvesting lichen products. – *Trends in Biotechnology* 19(9): 349–355.
- Mitrović T., Stamenković S., Cvetković V., Nikoloć M., Tošić S., Stojičić D. (2011): Lichens as source of versatile bioactive compounds. – *Biologica Nyssana* 2 (1): 1–6.
- Modenesi P. (2009): Skull lichens: A curious chapter in the history of phytotherapy Review Article. – *Fitoterapia* 80(3): 145–148.
- Molnár K., Farkas E. (2010): Current Results on Biological Activities of Lichen Secondary Metabolites: A Review. – *Zeitschrift für Naturforschung C. – Journal of Bioscience* 65: 157–173.
- Molnár K., Farkas E. (2010): Current results on biological activities of lichen secondary metabolites: a review. – *Zeitschrift für Naturforschung C. – Journal of Bioscience* 65: 157–173.
- Momoh M. A., Adikwu M. U. (2008): Evaluation of the effect of colloidal silver on the antibacterial activity of ethanolic extract of the lichen *Parmelia perlata*. – *African Journal of Pharmacy and Pharmacology* 2: 106–109.
- Moning Ch., Müller J. (2009): Critical forest age thresholds for the diversity of lichens, molluscs and birds in beech (*Fagus sylvatica* L.) dominated forests. – *Ecological Indicators* 9: 922–932.
- Monge-Nájera J., González M. I., Rossi M. R., Méndez V. H. (2002): A new method to assess air pollution using lichens as bioindicators. – *Revista de Biología tropical* 50: 321–325.
- Muggia L., Schmitt I., Grube M. (2009): Lichens as treasure chests of natural products. – *Sim News* May/June: 85–97.
- Nash III T. H. (2008): *Lichen Biology (Second Edition)*. – Cambridge University, Cambridge. 486 pp.



- Nimis P. L., Scheidegger Ch., Wolseley P. A. (2002): Monitoring with Lichens - Monitoring Lichens. – Kluwer Academic publishers. 408 pp.
- Orange A., James P. W., White F. J. (2001): Microchemical Methods for the Identifikacion of Lichens. – The British lichen Society, London. 101 pp.
- Palmer E. (1878): Plants used by the Indians of the United States. – The American Naturalist 12(9): 593–606, 646–656.
- Pišút I. (1984): Záhadný zelený lišajník. – Mladé letá, Bratislava. 100 pp.
- Piter P. (1999): Hydrochemie. – Vydavatelství VŠCHT, Praha. 568 pp.
- Ramzaev V., Mishine A., Kaduka M., Basalaeva L., Brown J., Andersson K. G. (2007): <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in live and dead reindeer lichens (genera *Cladonia*) from the “Kraton-3” underground nuclear explosion site. – Journal of Environmental Radioactivity : 84-99.
- Ranković B., Misić M., Sukdolak S. (2007): Evaluation of antimicrobial activity of the lichens *Lasallia pustulata*, *Parmelia sulcata*, *Umbilicaria crustulosa* and *Umbilicaria cylindrica*. – Mikrobiologija 76(6): 723–727.
- Richardson H. S. (1981): Lichens as bioindicators. – Umschau in Wissenschaft und Technik 81 (18): 553–556.
- Rodriguez C. M., Bennett J. P., Johnson Ch. J. (2012): Lichens – Unexpected anti-prion agents? – Prion 6(1): 11–16.
- Rundel P. W. (1978): The ecological role of secondary lichen substances. – Biochemical Systematics and Ecology 6: 157–170.
- Rypáček V. (1957): Biologie dřevokazných hub. – Nakladatelství Československé akademie věd, Praha. 209 pp.
- Sancho L. G., Torre R., Horneck G., Ascaso C., Rios A., Pintado A., Wierzchos J., Schuster M. (2007): Lichens Survive in Space: Results from the 2005 LICHENS Experiment. – Astrobiology 7(3): 443–454.
- Sancho L. G., Torre L., Pintado A. (2008): Lichens, new and promising material from experiments in astrobiology. – Fungal Biology Reviews 22: 103–109.

- Sarret G., Manceau A., Cuny D., Van Haluwyn Ch., Déruelle S., Hazeman J. L., Soldo Y., Eybert-Bérard L., Menthonnex J. J. (1998): Mechanism of Lichen Resistance to Metallic pollution. – Environmental Geochemistry Group 32: 332–333.
- Segura-Sanchez F., Bouchemal K., Lebas G., Vauthier Ch., Santos-Magalhaes N. S., Ponchel G. (2009): Elucidation of the complexation mechanism between (+)-usnic acid and cyclodextrins studied by isothermal titration calorimetry and phase-solubility diagram experiments. – Journal of Molecular Recognition 22(3): 232–241.
- Schmull M., Brown D. L. (2009): *Pseudevernia furfuracea*, the mummy's lichen at the Farlow Herbarium. – Opuscula Philolichenum 6: 45–50.
- Smith G. L., Baker T. R. (2003): Lichens as bioindicators. – Science Scope November 2003: 16–19.
- Stocker-Wörgötter E. (2008): Metabolic diversity of lichen-forming ascomycetous fungi: culturing, polyketide and shikimate metabolite production, and PKS genes. – Natural Product Report 25: 188–200.
- Studzińska-Sroka E. (2008): Historia badań nad porostami. – Nowiny Lekarskie 77(5): 367–372.
- Svoboda D. (2003): Lišejníky Českého krasu: Diversita lišejníků v údolí řeky Berounky v CHKO. Bioindikace znečištění v centrální části Krasu. – 147 pp. Ms. – [Diplomová práce, depon in: Přírodovědecká fakulta UK, Praha]
- Škárka B., Ferenčík M. (1992): Biochémiá. – Alfa, Bratislava. – 848 pp.
- Thippeswamy B., Sushma N, R., Naveenkumar K. J. (2012): Antimicrobial property of bioactive factor isolated from *Parmelia perlata*. – International Multidisciplinary Research Journal 2: 1–5.
- Tichý L., Tichá I. (1997): Barvy z rostlin. – Rezekvítek, Brno. 71 pp.
- Türk A. Ö., Yılmaz M., Kıvanc, M., Türk H. (2003): The Antimicrobial Activity of Extracts of the Lichen *Cetraria aculeata* and Its Protolichesterinic Acid Constituent. – Zeitschrift für Naturforschung C. Journal of Bioscience 58: 850–854.

- Türka H., Yılmaz M., Taya T., Türkb A. Ö., Kivanc M. (2006): Antimicrobial Activity of Extracts of Chemical Races of the Lichen *Pseudevernia furfuracea* and their Physodic Acid, Chloroatranorin, Atranorin, and Olivetoric Acid Constituents. – Zeitschrift für Naturforschung C. Journal of Bioscience 61: 49–507.
- Turner N. C., Bell M. A. (1973): The ethnobotany of the Southern Kwakiutl Indians of British Columbia. – Economic Botany 27 (3): 257–310.
- Turner N. J. (1977): Economic importance of black tree lichen (*Bryoria fremontii*) to the Indians of western North America. – Economic Botany 31: 461–470.
- Upreti D. K., Divakar P. K., Nayaka S. (2005): Commercial and ethnic use of lichens in India. – Economic Botany 59(3): 269–273.
- Upreti D. K., Tiwari P., Shukla P., Dwivedi A. (2012): Natural thalli and cultured mycobiont of *Usnea ghattensis* G. Awashi – A potential source of purple dye yielding lichen from India. – Indian Journal of Natural Products and Resources 3(4): 489–492.
- Vera J. P. (2012): Lichens as survivors in space and on Mars – Fungal Ecology 5(4): 472–479.
- Wang L., Narui T., Harada H., Culberson Ch. F., Culberson W. L. (2001): Ethnic Uses of Lichens in Yunnan, China. – The Bryologist, 104(3): 345–349.
- Weaver R. E., Jr.(1975): Lichens: mysterious and diverse. – Arnoldia 35(3): 133–159.
- Xu B., Sung Ch., Han B. (2011): Crystal Structure Characterization of Natural Allantoin from Edible Lichen *Umbilicaria esculenta*. – Crystals 1: 128–135.
- Yılmaz M, Tay T., Kivanc, Türk H., Türk A. Ö. (2005): The Antimicrobial Activity of Extracts of the Lichen *Hypogymnia tubulosa* and Its 3-Hydroxyphysodic Acid Constituent. – Z. Naturforsch. 60c, 35–38.

## INTERNETOVÉ ZDROJE

- Aleky.cz (2013): Müllerovy pastilky s islandským lišejníkem. Online:  
<http://www.aleky.cz/mullerovy-pastilky-s-islandskym-lisejnikem-30-6ks> (cit. 2013–04).
- Aranžování květin (2013): Islandský mech. Online:  
[http://www.aranzovanikvetin.cz/item.php?zbozi\\_id=2836-islandsky-mech](http://www.aranzovanikvetin.cz/item.php?zbozi_id=2836-islandsky-mech) (cit.2013–04).
- Aslam J. A. (2008): History of Unani. Online:  
[http://www.unaniherbal.org/history\\_unani\\_.htm](http://www.unaniherbal.org/history_unani_.htm) (cit. 2013–03).
- Canberra (2011): Australian National Botanic Gardens. Online:  
<http://www.anbg.gov.au/index.html> poslední aktualizace: 2012 (cit. 2012–09).
- Dharmananda S. (2003): Safety Issues Affecting Herbs (*Usnea*: an herb used in Western and Chinese medicine). Online:  
<http://www.itmonline.org/arts/usnea.htm> (cit. 2012–10).
- Egan R. S. (2010): Chemistry of lichens. Online:  
<http://www.unomaha.edu/lichens/Bio%204350%20PDF.htm> poslední aktualizace: 2010 (cit. 2012–09).
- Elektrické vláčky (2013): Islandský mech. Dostupné:  
[http://www.elektrickevlacky.cz/modelova-zeleznice-islandsky-mech-zeleny-50g\\_p\\_1867.html](http://www.elektrickevlacky.cz/modelova-zeleznice-islandsky-mech-zeleny-50g_p_1867.html) (cit. 2013–04).
- Hale M. E. Jr., Cole M. (1988): Lichens of California. Online:  
[http://books.google.cz/books?id=81iCQ8blmwcC&printsec=frontcover&dq=Hale+lichens&source=bl&ots=jn2G68GfTr&sig=WE46e95g6fXW18Q07Nr u55gGezw&hl=cs&ei=num8S4ejFJOFOIb3wbUI&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=4&ved=0CCQQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false](http://books.google.cz/books?id=81iCQ8blmwcC&printsec=frontcover&dq=Hale+lichens&source=bl&ots=jn2G68GfTr&sig=WE46e95g6fXW18Q07Nr u55gGezw&hl=cs&ei=num8S4ejFJOFOIb3wbUI&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CCQQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false) (cit. 2012–09).
- Index Fungorum (2008): Search Index Fungorum. Online:  
<http://www.indexfungorum.org/Names/Names.asp> (cit. 2013–04).

- Johnson Ch. J., Bennett J. P., Biro S. M., Duque-Velasquez J. C., Rodriguez C. M., Bessen R. A., Rocke T. E. (2011): Degradation of the Disease-Associated Prion Protein by a Serine Protease from lichens. – Plos one. Online: [https://www.email.cz/getAttachment?session=%0C7%3C%21C9%22u%F6%7B%F5e%FEo%0C%C2k%3C%D3x%2C%07%ECQ%AA\\_Zj%17%DD%2A%95Ka%C3v%DFI%DB%C0%F5%1C9%01%11%B5%B3%06%3E%F3%B3%84%99an\\_%96%85d%8B%8A%EBL%5C8%D9%2B%2C%BB%B8xY%5EL%B14%3B%20eQI%E6i%A7%DD%18/1L%98%B2%1E%BA%DE%87%AE%80%3F%C2%1D%CE9%2C%E6%3Ee%B7%DEm%0A4%25](https://www.email.cz/getAttachment?session=%0C7%3C%21C9%22u%F6%7B%F5e%FEo%0C%C2k%3C%D3x%2C%07%ECQ%AA_Zj%17%DD%2A%95Ka%C3v%DFI%DB%C0%F5%1C9%01%11%B5%B3%06%3E%F3%B3%84%99an_%96%85d%8B%8A%EBL%5C8%D9%2B%2C%BB%B8xY%5EL%B14%3B%20eQI%E6i%A7%DD%18/1L%98%B2%1E%BA%DE%87%AE%80%3F%C2%1D%CE9%2C%E6%3Ee%B7%DEm%0A4%25) (cit. 2012–10).
- Kalerta M. (2012): Zažít večer v restauraci Noma. Online: <http://www.kalerta.com/item/152> poslední aktualizace 2012 (cit. 2013–3).
- Kodíček M. (2007): Chromatografie, Biochemické pojmy : výkladový slovník, Praha: VŠCHT Praha. Online: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-002/ebook.html?p=chromatografie](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-002/ebook.html?p=chromatografie) poslední aktualizace: 2007 (cit. 2012–09).
- Kratochvíl F. (2009): Fragrance mix I. Online: <http://www.epitesty.cz/pasports/Mx%2007.pdf> poslední aktualizace: 2009 (cit. 2012–09).
- Kratochvíl F. (2009): Lichen acid mix, Směs lišejníkových kyselin. Online: <http://www.epitesty.cz/pasports/Mx%2015.pdf> (cit. 2012–09).
- Mairet E. M. (2007): Vegetable Dyes. Online: [http://www.shtfinfo.com/shtffiles/clothing/Vegetable\\_Dyes,-1.pdf](http://www.shtfinfo.com/shtffiles/clothing/Vegetable_Dyes,-1.pdf) (cit. 2013–02).
- Malhotra S., Subban R., Singh A. P. (2008): Lichens - Role in Traditional Medicine and Drug Discovery. Online: <http://www.ispub.com:80/journal/the-internet-journal-of-alternative-medicine/volume-5-number-2/lichens-role-in-traditional-medicine-and-drug-discovery.html> (cit. 2013–02).
- Mycobank (2013): Fungal Databases Nomenclature and Species Banks. Online: <http://www.mycobank.org/> (cit. 2013–04).

- Nordic Store (2002): Iceland Moss Schnapps. Online:  
[http://www.nordicstore.net/iceland\\_moss\\_schnapps\\_4487\\_prd1.htm](http://www.nordicstore.net/iceland_moss_schnapps_4487_prd1.htm) (cit. 2013–04).
- Sharnoff S. D. (1997): Lichens and people. Dostupné:  
<http://www.lichen.com/people.html> (cit. 2012–10).
- Tryščuk P. (2008): Barvení pomocí lišejníků: fialová. Online:  
<http://www.slovane.cz/view.php?navezclanku=barveni-iii-a-barveni-pomoci-lisejniku-fialova&cisloclanku=2008010001> (cit. 2013–04).
- Vamida.at - Spart Euch Apothekenpreise (2012): Isla Moos Pastillen. Online:  
<http://www.vamida.at/isla-moos-pastillen.html#!prettyPhoto> (cit. 2013–04).
- VIVANTIS a.s. (2013): HerbalMed® pastilky Dr. Weiss. Online:  
<http://www.prozdravi.cz/herbalmed-pastilky-dr-weiss-pro-odkaslavani-24-pastilek-6-pastilek-zdarma.html> (cit. 2013–04).
- Wikipedia. org (2013): *Umbilicaria esculenta*. Online:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Iwatake\\_](http://en.wikipedia.org/wiki/Iwatake_) poslední aktualizace 2013 (cit. 2013–03).