

Těžké kovy v houbách

Jan Fikar

Bakalářská práce
2009

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav potravinářského inženýrství

akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan FIKAR**

Studijní program: **B 2901 Chemie a technologie potravin**

Studijní obor: **Chemie a technologie potravin**

Téma práce: **Těžké kovy v houbách**

Zásady pro vypracování:

- Charakterizujte těžké kovy obecně.
- Popište chemické složení vyšších hub, zmiňte se také o taxonomii říše hub.
- Detailně zpracujte problematiku výskytu těžkých kovů v plodnicích vyšších hub.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] KEIZER, G. Houby, 2. vydání, Rebo Productions CZ, Praha 2005.

[2] KLÁN, J. Co víme o houbách, 1. vydání, SPN, Praha 1989.

[3] CIBULKA, J. a kol. Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře, 1. vydání, Academia, Praha 1991.

[4] ROSYPAL, S. a kol. Přehled biologie, 1. vydání, SPN, Praha 1987.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Otakar Rop, Ph.D.

Ústav potravinářského inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

18. února 2009

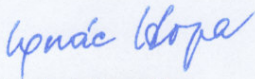
Termín odevzdání bakalářské práce:

31. května 2009

Ve Zlíně dne 31. května 2009


doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan




prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce bylo zaměřit se na plodnice basidiomycet. V práci je popsána jejich charakteristika, anatomie, chemické složení, využití a význam pro člověka. Součástí práce je obecný popis těžkých kovů v životním prostředí. Pozornost byla věnována aktuálnímu tématu výskytu těžkých kovů v houbových pletivech. Konkrétně jsem se zabýval olovem, kadmíem a rtutí.

Klíčová slova: houby, basidiomycety, plodnice, olovo, kadmium, rtuť.

ABSTRACT

This thesis is focused on sporocarps of Basidiomycetes. Their characteristics, anatomy, chemist, utilization and matter to human are defined in the thesis. Part of that is an universal description of heavy metals in environment. Attention was payed to an actual subject matter – the incidence of heavy metals in sporocarps of mushrooms. I was engaged in lead, cadmium and mercury, concretely.

Keywords: mushrooms, Basidiomycetes, sporocarps, lead, cadmium, mercury.

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Otakaru Ropovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky k danému tématu a za odborné vedení během vypracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....

Podpis studenta

OBSAH

ÚVOD.....	7
1 EKOLOGIE VYŠŠÍCH HUB.....	8
2 KONZERVÁRENSTVÍ, VYUŽITÍ VYŠŠÍCH HUB V GASTRONOMII.....	11
3 TAXONOMIE HUB.....	14
4 CHARAKTERISTIKA JEDNOTLIVÝCH ODDĚLENÍ.....	14
4.1 ODDĚLENÍ: HLENKY (<i>MYXOMYCOTA</i>).....	14
4.2 ODDĚLENÍ: CHYTRIDIOMYCETY (<i>CHYTRIDIOMYCOTA</i>).....	15
4.3 ODDĚLENÍ: OOMYCETY (<i>OOMYCOTA</i>).....	15
4.4 ODDĚLENÍ: ODDĚLENÍ: EUMYCETY (HOUBY VLASTNÍ, <i>EUMYCOTA</i>).....	16
4.4.1 Třída: Zygomycety (<i>Zygomycetes</i>).....	16
4.4.2 Třída: Endomycety (<i>Endomycetes</i>).....	17
4.4.3 Třída: Vřeckovýtrusé houby (<i>Ascomycetes</i>).....	17
4.4.4 Třída: Stopkovýtrusé houby (<i>Basidiomycetes</i>).....	18
5 MORFOLOGICKÁ STAVBA HUB.....	20
6 CHEMCKÉ SLOŽENÍ PLODNIC VYŠŠÍCH HUB.....	21
7 TĚŽKÉ KOVY V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍCHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.....	23
7.1 OLOVO.....	23
7.2 KADMIUM.....	24
7.3 RTUŤ.....	27
7.4 BERYLIUM.....	28
7.5 ARSEN.....	30
7.6 NIKL.....	32
8 TĚŽKÉ KOVY V HOUBÁCH.....	34
ZÁVĚR.....	38
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	39
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	45

ÚVOD

Houby považujeme za samostatnou skupinu organismů, existující vedle rostlin a živočichů. Pravděpodobně se vyvinuly z primitivních bičíkovců. V dnešní době odhadujeme, že ve světě existuje 100 tisíc až 1 milion druhů hub, z nichž přibližně dvě třetiny tvoří houby mikroskopické, které žijí v půdě, ve vodě, na rostlinách i na živočiších. Věda, která se zabývá houbami, se nazývá mykologie (z řeckého *mykés* = houba, *logia* = učení o něčem).

Většina hub má vegetativní tělo, tzv. podhoubí (mycelium) ve tvaru tenkých rozvětvených vláken nazývaných hyfy. Hyfy mohou mít podobu jemných pavučinovitých vláken, vzácněji silnějších nitek, provazců či blanitých útvarů. Podhoubí se vyvíjí v nejrůznějším substrátu, jako např. v humusu, rozkládajícím se dřevě, u parazitických druhů uvnitř tkáně hostitele. Na podhoubí se utvářejí plodnice hub s výtrusy neboli sporami, které slouží k rozmnožování.

Nejznámějším tvarem plodnice makromycet je klobouk na třeni. Sem patří většina druhů hub, které sbíráme k jídlu. Jedná se o houby kloboukaté. Je-li třen uprostřed klobouku, pak mluvíme o houbách kloboukatých s třeněm středovým (hřib, křemenáč, holubinka, špička). Plodnice hub mohou mít i další tvary; a sice kulovité (břichatky – např. pýchavky, síťovky), miskovité (ohnivec, mísenky, baňky), kyjovité (kyjanky, dřevnatky), kornoutkovité (stroček trubkovitý), keříčkovité s hustými trsy větévek (kuřátka, krásnorůžek), laločnaté (ucháče), kopytovité, bokem přirostlé k substrátu (choroše), rozlité, pokrývající svrchní část větví (kornatec, pevníky) či laločnaté a lupenité tvořené trsy laloků (rosolovky, bolcovitky). Na plodnicích hub rozlišujeme kromě třeně a klobouku ještě části, na nichž se tvoří výtrusy. U hřibovitých jsou to rourky, u lupenatých lupeny, u lošákovitých ostny, které se utvářejí na spodní straně klobouku.

Houby tvoří samostatnou říši, latinsky *Fungi* (starší název *Mycophyta* pochází z řeckého *mykés* = houba a *fyton* = rostlina). Liší se od zelených rostlin především tím, že neobsahují chlorofyl, a proto v jejich těle neprobíhá fotosyntéza. Nepotřebují tedy nutně k životu sluneční světlo. Plodnice některých druhů bývají živě zbarvené, a to i zeleně – to je však vyvoláno jiným barvivem. Ke svému životu houby potřebují organicky vázaný uhlík, který získávají rozkladem hlavně rostlinné hmoty.

1 EKOLOGIE VYŠŠÍCH HUB

Houby dělíme na mikromycety, mající mikroskopické rozměry, a na makromycety, které tvoří plodnice okem rozeznatelné. Velká většina mikroskopicky malých hub nepředstavuje pro zdraví člověka žádné riziko, některé z nich jsou dokonce užitečné. Vyskytují se však druhy, které jsou škodlivé či nebezpečné. [1]

Podle způsobu získávání živin dělíme houby na hniložijné (saprofitické), příživné (parazitické) a mykorrhizické. Mykorrhiza je těsné spojení mezi houbou a rostlinou, oběma partnerům je prospěšná, vzájemný kontakt se děje kořenem. Jako například lesní strom (dub) je z velké části odkázán v přísunu vody a minerálních látek – fosforu, dusíku na houbu (hřib dubový). Houba od stromu získává sacharidy a některé důležité vitamíny pro její růst. [2]

Při hodnocení významu hub pro výživu člověka se v literatuře setkáváme s různými názory. V současné době jsou již překonány názory německého chemika Zellnera (1907), který tvrdil, že houby jsou naprosto nestravitelné pro vysoký obsah chitinových látek, a tím pro člověka bezcenné. Stejně nesprávný je také názor, který přeceňuje obsah bílkovin v houbách a staví je jako „maso lesa“ příliš do popředí. Prohlubování znalostí o složení hub nás postupně přivedlo k tomu, že houby hodnotíme podobně jako zeleninu a ovoce. Zelenina, která obsahuje množství nestravitelné celulózy, je velmi blízká k houbám s nestravitelnými chitinovými látkami. Tyto látky mají příznivý vliv na peristaltiku střev a také na trávicí procesy a nabývají stále více na důležitosti, protože absorbují nestrávenou potravu, resp. její zbytky převážně dráždivého charakteru. Tím si také vysvětlujeme protirakovinové působení hub při požívání pokrmů z hub, které ještě zesiluje obsah cytostatických látek. [1]

Je velmi zajímavé, že i když člověk konzumuje houby už 3 000 let, až do konce 17. století o nich mnoho nevěděl; vědomosti o jednotlivých druzích byly často velice kusé a nesprávné. Praktické zkušenosti o jedlých či jedovatých houbách se předávaly z generací na generace většinou ústním podáním; jen zřídkakdy byly zaznamenány písemnou formou. Je pravděpodobné, že lidé nesbírali příliš mnoho druhů, ale spíše se hub báli. V každé oblasti se sbíraly jiné druhy hub. Dobré jedlé houby, v některých krajích sbírané k přípravě pokrmů, jsou v jiných krajích dodnes pokládány za jedovaté či nejedlé.

Český popularizátor mykologie Smotlacha viděl hodnotu hub v poměrně vysokém obsahu vitamínů a neobvyklém počtu stopových prvků, které lidské tělo potřebuje. Houby považoval za přirozený „biologický“ doplněk stravy, u něhož nerozhoduje pouze kalorická hodnota, ale především charakteristická vůně a chuť, které pomáhají trávicím procesům. Vycházel při tom ze zkušeností řady generací. Hlavní význam hub nespočívá v jejich kulinárním využití, i když takto jsou v obecném povědomí. Houby mají zásadní a nezastupitelný význam pro zachování života na naší planetě, protože zabezpečují koloběh látek na Zemi. Z makromolekul organických látek získávají energii potřebnou k životu a rozkládají organickou hmotu až na nejjednodušší složky – uhlík, dusík a anorganické prvky. Houby se společně s bakteriemi podílejí na mineralizaci organické hmoty – v podstatě tvorbě humusu a půdy. Kdyby houby přestaly tuto funkci plnit, zanikl by na Zemi život. Těla odumřelých rostlin a živočichů by se nerozkládala, hromadila by se beze změny na zemském povrchu a životní cyklus by se zastavil. Biogenní prvky, vyskytující se v přírodě v omezeném množství, by se vyčerpaly a zastavil by se tak koloběh, který mění organickou hmotu na anorganickou a naopak. Tuto mineralizační činnost vykonávají všechny druhy hub, od kloboukatých až po mikroskopické půdní houby. Z ekologického hlediska houby řadíme mezi heterotrofní organismy, neboť neobsahují chlorofyl jako zelené rostliny, a jsou proto odkázány na příjem uhlíkatých organických látek. [3]

Zaměříme-li se při návštěvě lesa na padlý strom nebo pařez a sledujeme ho opakovaně po několik let, zjistíme, že houby jsou schopné postarat se o jeho přeměnu na lesní humus. Tato činnost je sice pomalá, nenápadná a trvá řadu let, ale bez ní by život v lese docela zanikl. Celá řada dřevokazných hub se vystřídá na tomto procesu – mineralizaci pařezu. Jednotlivé druhy se postupně objevují podle stupně rozkladu dřeva. Objeví-li se kalichovka zvonečková (*Xeromphalia campanella*), znamená to, že se již vystřídala celá řada mykologických pomocníků a že se rozklad dřevní hmoty blíží ke konci. Postupně začnou na zbytku dřevní hmoty růst zelené rostliny a pařez je následně pohlcen lesním humusem. Daleko rychleji můžeme sledovat rozpad drobnějších větviček, dřevních úlomků a listů některými strmělkami (*Clitocybe*), límcovkami, např. límcovku měděnkovou (*Stropharia aeruginosa*) či ohnivcem rakouským (*Sarcosypha austriaca*). Tento vzácný ohnivec se objevuje brzy zjara na větvičkách různých listnatých stromů a má krásné, šarlatově červené plodnice. Větvičky, ze kterých plodnice vyrůstají, jsou vždy ve vlhkém prostředí, často také částečně ponořené v substrátu a pokryté mechy. [1]

Houby slouží člověku odpradáva jako součást potravy (sbírané v přírodě nebo uměle pěstované) a v důsledku své rozmanité metabolické aktivity jsou jedním z hlavních modelů v současné době bouřlivě se rozvíjejícího odvětví biotechnologie, které využívá biologických procesů pro průmyslové cíle. Patří sem jak staré výrobní procesy – získávání lihu kvašením (fermentací), výroba chleba a kynutého pečiva, výroba piva, vína a některých sýrů atd., tak i skutečně průmyslové obory – výroba antibiotik, organických kyselin, námelených alkaloidů a také krmných bílkovin. Houby jsou také jedním z perspektivních modelů pro využití lignocelulózových komplexů (hlavního, pravidelně se obnovujícího zdroje živé hmoty) jako zdroje energie a potravy pro příští potřeby lidské společnosti.

V ekosystémech jsou houby prakticky nenahraditelné při rozkladu celulózy, ligninu, chitinu, keratinu a jiných těžko rozložitelných látek. Podobně jako naprosto nezbytné při syntéze humusových látek a při tvorbě humusu. Vedle toho jsou však nejbohatší skupinou organismů, které jsou původci chorob planých i kulturních rostlin (zemědělství, lesnictví). Přirozené i umělé ekosystémy jsou též zdrojem hub, které způsobují kožní i vnitřní onemocnění zvířat a člověka. Mezi druhou eventualitu počítáme i choroby, jež vznikají v důsledku požívání potravy nebo krmiv, jež byly vyrobeny ze surovin znehodnocených růstem drobnohledných hub. Škodlivou látkou jsou houbové jedy (mykotoxiny), které nelze žádným způsobem odstranit. Mykotoxiny jsou definovány jako nízkomolekulární sekundárně metabolické produkty houbových organismů, toxické pro rostliny i teplokrevné živočichy včetně člověka. [4]

Některé houby jsou nezbytné k přípravě některých důležitých potravin. Například zrání určitých druhů sýrů umožňuje plíseň rodu štetičkovec (druhy *Penicillium camemberti* a *Penicillium roquefortii*). Chléb a pečivo vykyne přidáním kvasnic – jedná se o zvláštní houby tzv. kvasinky. Buňky druhu *Saccharomyces cerevisiae*, lisované spolu s moukou na droždí, se užívají ke kypření těsta (při alkoholovém kvašení unikají bublinky oxidu uhličitého, které těsto nadlehčují). Nesmírnou důležitost pro zdraví člověka mají zhruba od poloviny 20.století antibiotika; látky, které se získávají ze speciálních druhů „plísňovitých“ hub. Tyto látky mají totiž schopnost usmrcovat mikroby a bakterie, původce některých onemocnění. Co se týče uchovávání hub, konzervujeme houby v podstatě ze dvou důvodů, jednak pro pozdější užití v kuchyni, jednak pro vědecko-naučné účely. Dříve se houby ke studijním účelům nakládaly nejčastěji do skleněných válců naplněných lihem nebo formalinem, popř. speciální konzervační tekutinou. Toto uchovávání hub ve speciální směsi

kapalin není příliš praktické, skleněné nádoby zabírají hodně místa a snadno se rozbijí. Rovněž nejnovější metoda zalévání do umělé pryskyřice (metakrylátu), což se dobře osvědčuje u většiny rostlin, se pro houby příliš nehodí, protože jejich plodnice obsahují mnoho vody. Proto se dodnes stále používá nejstarší způsob konzervace, a to sušení. To má sice tu nevýhodu, že se při něm značně změní tvar plodnice, avšak houby jsou pak velmi lehké, málo objemné a snadno skladné. Při opatrném sušení si většinou dosti dobře zachovávají svou vůni, chuť a částečně i barvu. [5]

2 KONZERVÁRENSTVÍ A VYUŽITÍ VYŠŠÍCH HUB V GASTRONOMII

Houby se dají konzervovat více způsoby. Sušit, nakládat do octového nálevu či soli, zkvašovat, upravovat na různé výtažky nebo prášky a také se dají nakládat do čisté vody. Konkrétní způsob volíme především podle druhů hub. Houby rodu Hřib (*Boletus*) můžeme nahradit při konzervaci jinými běžnými houbami. Kromě toho hříby při nakládání do octa dosti slizovatěji. Například udušené muchomůrky růžovky (*Amanita rubescens*) nebo žampióny (*Agaricus*) jsou určitě chutnější než stejně upravené druhy hřibů. Většinu hub konzervujeme na podzim, protože jich také v této době roste nejvíce. Navíc je již chladno, a tak nacházíme největší sortiment hub o vysoké kvalitě. Při sušení se připouští mírná perforace hub, protože z usychajících plátků se případní škůdci odstraní i díky obsahu metylbromidu v sušicím vzduchu. K ostatním způsobům konzervace používáme jen zcela zdravé plodnice. Při správné konzervaci mají mléčně zakvašené houby, houbové výtažky a houby v soli, minimálně půlroční a houby v octě asi dvakrát delší trvanlivost. Sušené a dobře uzavřené houby jsou upotřebitelné ještě i po dvou letech. [6]

Nejstarším a nejrozšířenějším způsobem konzervace hub je sušení. Očištěné houby, rozkrájené na plátky o síle maximálně 5 mm, sušíme na vzdušném místě a podle možností na plastických sítích či proutěných mřížkovaných podložkách po případě na nitích. Je dobré zabezpečit přístup vzduchu jak ze shora tak od spodu. [1] Houby nám rychleji proschnou. Při konzervaci v domácnosti pokud houby do večera neuschnou, je třeba je na noc dát na místo, kde jsou chráněné před rosou a případným deštěm. Zaschlé houby je

možno dosoušet ve vyhřáté otevřené troubě, na peci nebo radiátoru. Vložíme-li však čerstvě nakrájené houby do vyhřáté trouby, následkem velké teploty a špatného proudění vzduchu vznikne houbová rozteklá kaše. Při sušení se z hub odpaří 80 – 90% vody a přibližně o tolik klesne i jejich hmotnost. Průmyslově se houby suší při teplotě 40 °C do ztráty lepkavosti a potom se dosuší při teplotě 80 °C na minimálně 88 % sušiny.

Konzervovat se dají také houby podušené na tuku či oleji. I po sterilaci si uchovají chuť i vůni, ale obsahují značné množství tuku, který může žluknout a kazí nám jejich vzhled. Dušené konzervované houby používáme do polévek, omáček, sekané a jako přílohu k pečenému masu.

Předvařené houby je možnost konzervovat uzením a pak nakládat do octového nálevu nebo zmrazovat při teplotě –18 až –25 °C. Nevystoupí-li teplota v mrazničce nad –18 °C, můžeme mražené houby z podzimu použít na jaře bez obav k jakýmkoliv úpravám, ke kterým používáme čerstvé houby.

Nakládání do soli je nejméně vhodný způsob. Ochlé plátky tvrdších hub se po promíchání se solí nacpou do sklenic a zasypou ještě asi 2 mm vrstvou soli. Poté se vzduchotěsně uzavrou a uloží na chladnějším místě. Vydrží asi 1/2 roku. Houby naložené v soli je třeba před použitím dobře promýt, aby se zmírnila jejich slanost. I přesto však obsahují příliš mnoho soli, a proto nemají širší použití. [6]

Nakládání do vody: očištěné houby povaříme asi 7 minut v osolené vodě, potom je řádně propláchneme a nasypeme do sklenic asi tak 1 cm pod okraj. Zalijeme vodou, vzduchotěsně uzavřeme a sterilujeme při teplotě 100 °C první den 1/2 hodiny, druhý den sterilaci opakujeme. Třetí den vynecháme a čtvrtý den opět sterilujeme 1/2 hodiny při teplotě 100 °C. Tomuto postupu se říká frakcionovaná pasterace, i když je příliš složitá, je zatím jedinou metodou, jak předcházet u nekyselých houbových konzerv mykotoxickým otravám, které jsou velmi zákeřné a mají vážný dopad na lidské zdraví. Takto sterilované houby používáme na jakékoliv úpravy, protože chutnají jako čerstvé. [1]

Houby podušené ve vlastní šťávě: očištěné, nakrájené a osolené houby bez koření a jiných přísad podusíme asi 20 minut ve vlastní šťávě. Potom je naplníme do menších sklenic a pokud nemáme dosti šťávy, tak je dolijeme převařenou vodou zhruba 1 cm pod okraj. Potom houby vzduchotěsně uzavřeme a sterilujeme 1 hodinu při teplotě 100 °C.

Druhý den je sterilujeme ještě jednou, a to opět při teplotě 100 °C, ale stačí pouze 30 minut. To proto, aby se zničily veškeré spory, které by mohly zapříčinit zkažení hub. [6]

Nestačí jedlé houby jen poznávat a sbírat, důležité je také umět je připravit k jídlu. Existuje veliké množství receptů na přípravu nejrozmanitějších výborných pokrmů z hub, ale většina lidí je nezná a používá houby jen do polévek nebo omáček, ke smažení a k nakládání do octa. Množství hub potřebných pro přípravu jídla pro jednu osobu je dosti rozdílné, podobně jako u jiných jídel, doporučují se však spíše menší dávky vzhledem k těžší stravitelnosti hub. Přibližně se dá říci, že na přípravu houbové polévky bývá zapotřebí průměrně 20 dkg čerstvých hub na 1 litr vody, což je množství asi tak pro čtyřčlennou rodinu; na osobu připadne kolem 5 dkg hub. Na houbovou omáčku i na guláš je zapotřebí kolem 15 dkg a k přípravě dušených (smažených) hub asi 20 dkg čerstvých hub na jednu osobu. U některých předpisů je udáno potřebné množství hub, avšak u ostatních je třeba provést odhad, přirozeně také s ohledem na množství hub, které máme k dispozici. [5]

3 TAXONOMIE HUB

Houby jsou heterotrofní organismy, které jsou považovány za samostatnou říši vedle rostlin a živočichů. [4]

Klasifikace hub:

Říše: Houby (*Fungi*)

Oddělení: Hlenky (*Myxomycota*)

Oddělení: Chytridiomycety (*Chytridiomycota*)

Oddělení: Oomycety (*Oomycota*)

Oddělení: Eumycety (houby vlastní, *Eumycota*)

Třída: Zygomycety (*Zygomycetes*)

Třída: Endomycety (*Endomycetes*)

Třída: Vřeckovýtrusé houby (*Ascomycetes*)

Třída: Stopkovýtrusé houby (*Basidiomycetes*)

[7]

4 CHARAKTERISTIKA JEDNOTLIVÝCH ODDĚLENÍ

4.1 Oddělení: Hlenky (*Myxomycota*)

Hlenky (*Myxomycota*) nevytvářejí podhoubí. Vyskytují se jako jednojaderné myxaméby nebo myxomonády se dvěma hladkými, nestejně dlouhými, vpředu umístěnými bičíky. Rozmnožují se dělením (myxomonády podélným) a živí se pohlcováním bakterií apod. [8] Nápadné jsou tehdy, když se začnou shlukovat a vytvoří mnohojaderné plazmodium (u slizovky tříslově žluté koláče až 30 cm v průměru) nebo pseudoplazmodium, ve kterém si každá myxaméba zachovává svou individualitu. Tomu předchází pohlavní proces spočívající ve splývání plazem (plazmogamie) a později i jader (karyogamie) dvou myxaméb nebo myxomonád. Jádra plazmodia jsou po karyogamii diploidní. Za určitých podmínek se z plazmodia vytvoří fruktifikační orgán (sporokarp). Při jeho tvorbě diploidní

jádra prodělala meiózu, takže kulovité výtrusy s celulózní stěnou jsou haploidní. V lesích na dřevěch a pařezech jsou hojné kulovité, zprvu růžové, ve zralosti hnědošedé sporokarpy včelího mléka (*Lycogala epidendron*). [4]

4.2 Oddělení: Chytridiomycety (*Chytridiomycota*)

Chytridiomycety (*Chytridiomycota*) představují mnoho ve vodě a vlhké půdě žijících saprofytů a parazitů planých a kulturních rostlin. Vytvářejí mnohojaderné, trubcovité podhoubí. Stěny podhoubí a spor jsou z chitinu a glukanu. [8] Zoospory a gamety mají po jednom bičíku vzadu. Mezi závažné parazity patří lahvičkovka (*Olpidium brassicae*), cizopasíci v buňkách klíčnicích rostlin zelí, kapusty, brukve nebo květáku a působící jejich „padání“. Nakažené rostliny pod dělohami (na hypokotylu) tmavnou, ohýbají se a později odumírají. Všechny druhy z čeledi lilkovitých napadá rakovinovec bramborový (*Synchytrium endobioticum*). U brambor způsobuje rakovinu hlíz. [7]

4.3 Oddělení: Oomycety (*Oomycota*)

Oomycety (řasovky, *Oomycota*) žijí ve vodách, vlhké půdě a na souši jako saprofyti nebo závazní paraziti cévnatých rostlin. Stěny jsou z celulózy a glukanu. Pohyblivé buňky (zoospory) jsou opatřeny dvěma nestejně dlouhými bičíky vpředu. Kratší bičík je pětité, delší hladký a kmitá směrem dozadu. Někdy jsou zoospory ledvinité a pak jsou bičíky postranní. Podhoubí je bohatě větvené cenocytické. Pohlavní proces připomíná oogamii. Podhoubí i zoospory žijí v diploidním stavu. [4] Kyjovitá anteridia (samčí) a kulovitá oogonia (samičí) jsou mnohojaderná, haploidní. Po oplodnění vzniklá odpočívající, tlustostěnná oospora je opět diploidní a při klíčení produkuje diploidní zoospory. [7] Oomycety ukazují jak po stránce biochemické, tak i morfologické obecný směr evoluce; od ubikvistů, saprofytů vázaných na vodní prostředí k specializovaným parazitům cévnatých rostlin a k saprofytům na souši. Nejzávažnější patogeni u nás: fytoftora bramborová (*Phytophthora infestans*), která parazituje na listech, ale i na hlízách druhů čeledi lilkovitých (brambor, rajče aj.) a vřetenka révová (*Plasmopara viticola*), postihující listy a bobule révy vinné. [8]

4.4 Oddělení: Eumycety (Houby vlastní, *Eumycota*)

Houby (*Eumycota*) mají buněčné stěny zpravidla z chitinu a glukanu. Mají převážně vláknitá, přehrádkovaná podhoubí. Výtrusy jsou vždy nepohyblivé. Jejich vznik je asi v prapůvodních chytridiomycetech. [4] Patří sem tyto třídy:

4.4.1 Třída: Zygomycety (*Zygomycetes*)

Mají podhoubí, které jen ve stáří bývá nepravidelně přehrádkované. Jinak je trubicovitě, mnohojaderné. [8] Jejich zástupcem je např. plíseň hlavičková (*Mucor mucedo*), pokrývající svým podhoubím různé ústrojné živné substráty. Z podhoubí kolmo vzhůru vyrůstají nosiče výtrusnic s výtrusnicemi, pouhým okem patrné jako černé tečky. Nepohlavně se rozmnožuje plíseň pomocí výtrusů z výtrusnic, které vyrůstají na podhoubí, rostoucím mimo substrát na vzduchu. [4] Pohlavně se plíseň rozmnožuje tehdy, setkají-li se dvě různopohlavná podhoubí. Na vlákních se vytvoří kyjovité větve, rostoucí proti sobě. Po dotyku se oba konce těchto větví oddělí od podhoubí přehrádkami a změní se v gametangia, která splynou v bradavičnatou diploidní zygosporu (odpočívající výtrus). Zygospora se uvolní od podhoubí jako samostatná částice, odolná nepříznivým podmínkám a zachovávající si dlouhodobou životaschopnost. V příznivých podmínkách začne klíčit v nosič (sporangiofor), zakončený výtrusnicí (sporangiem). Při klíčení dochází k meiotickému dělení jader, takže výtrusy ve výtrusnici jsou haploidní a fyziologicky rozlišené. Na špatně uskladněném chlebě roste kropidlovec černavý (*Rhizopus nigricans*). [7]



Obr. 1. Kropidlovec černavý

(*Rhizopus nigricans*)

4.4.2 Třída: Endomycety (*Endomycetes*)

Jsou nejčastěji jednobuněčné houby. Patří sem však také druhy mající vláknité, přehrádkované, jedno i mnohoaderné hyfy. [4] Hospodářsky významné jsou kvasinky a sněti. Do řádu kvasinek patří například kvasinka pивní (*Saccharomyces cerevisiae*), kvasinka vinná (*Saccharomyces ellipsoideus*). Kvasinky se rozmnožují nepohlavně pučením, po němž dceřiné buňky zůstávají často pohromadě, takže tvoří řetízky – nepravá podhoubí (pseudomycelia). [7] Jestliže se zmenší množství živných látek a vody v prostředí, rozmnožují se kvasinky pohlavně. V mírně zvětšených vegetativních buňkách proběhnou meiotická dělení. V každé takové buňce (vřecku) vzniknou čtyři haploidní výtrusy, dva a dva fyziologicky rozlišené. Praskne-li vřecko a výtrusy se uvolní, v příhodném prostředí začnou klíčit v buňky. Dvě fyziologicky rozlišené buňky splývají v diploidní zygotu, která pučením vytváří nové buňky. [8]

4.4.3 Třída: Vřeckovýtrusé houby (*Ascomycetes*)

Jsou nejpočetnější skupinou hub (asi 60 %). V substrátech přežívají jako haploidní podhoubí s jednojadernými buňkami. Hyfy jsou přehrádkované, v přehrádce je jednoduchý otvor, umožňující přechod plazmy a jader. [7] Velice rozšířen je u vřeckovýtrusých hub nepohlavní způsob rozmnožování. Při něm se z podhoubí vytvářejí různé typy plodnic (sporangii) nebo nosičů (konidioforů), nesoucích nepohlavní výtrusy – konidie, kterých se tvoří obrovská množství. [4] Při pohlavním rozmnožování se vytvářejí pohlavní orgány (gametangia), a to samčí kyjovitá mnohoaderná anteridia a samičí kulovitá mnohoaderná askogonia, která mohou mít výrůstek (trichogyn). Samčí anteridium se přikládá k samičímu askogoniu, buněčné stěny se rozpouštějí. V případě, že je vytvořen výrůstek, po dotyku vzniká otvor a jím přechází obsah samčího anteridia do samičího askogonia. Jádra samčí a samičí se přikládají k sobě, ale nesplynou. Tato fáze se nazývá plazmogamie. Po dělení putují dvojice jader (vždy samčí a samičí pospolu) do zvláštních vláken – askogenních hyf, na jejichž koncích vznikají zpětné výběžky – háky. Až zde dochází ke splnutí samčího a samičího jádra (karyogamii). Z háků vyrůstají kyjovitá vřeka, ve kterých diploidní jádra projdou meiózou a následující mitózou. Výsledkem je osm haploidních jader, která se přemění na osm výtrusů (askospor). Zralá vřeka se na vrcholu otevírá a haploidní výtrusy jsou uvolněny ven. Jako příklad lze uvést paličkovici nachovou (*Claviceps purpurea*), jejíž tvrdohoubí (námel) je zdrojem alkaloidů k výrobě léčiv. Mnohé askomycety známe jen

jako jejich běžně rozšířenou konidiovou formu. Tak se vyskytují druhy z rodu štětičkovce (*Penicillium*). Některé druhy produkují antibiotika, např. *Penicillium notatum*, *Penicillium chrysogenum*. Jiné spolupůsobí při zrání sýrů: *P. roquefortii*, *P. camembertii*, *P. gorgonzola*. [7]

4.4.4 Třída: Stopkovýtrusé houby (*Basidiomycetes*)

Jejich vlákna jsou přehrádkovaná. Přeřrádky mají v místě otvoru soudečkovitý útvar. Od vřeckovýtrusých hub se odlišují také tím, že nemají morfologicky odlišené pohlavní orgány. Nepohlavně se rozmnožují konidii. V jejich životním cyklu převažuje dvoujaderné podhoubí, které vzniká po setkání a splynutí dvou jednojaderných podhoubí, vyrůstajících z pohlavně odlišených výtrusů. Dochází ke splynutí buněčné plazmy (plazmogamii), nikoliv ke splynutí jader. Dvoujaderné podhoubí roste časově neomezeně dlouho a je schopné za příhodných podmínek vytvořit plodnice. [8] Většina druhů při dělení dvoujaderných buněk vytváří přezky (výrůstky zahnuté dozadu). Do přezky se přestěhuje jedno jádro z jaderného páru. Druhé jádro zůstává ve špičce buňky. Obě jádra se současně dělí. Jedno dceřiné jádro z přezky putuje do špičky buňky a jedno dceřiné jádro ze špičky buňky do její zadní části. Současně se vytvoří dvě přepážky. Jedna je těsně pod výrůstkem a rozdělí buňku na dvě dceřiné, druhá oddělí výrůstek od přední buňky. Teprve ve výtrusorodém roušku plodnice dochází v basidiích ke splynutí jader (karyogamii) a následujícímu meiotickému dělení. Vzniknou čtyři haploidní jádra, která se dále vyvinou ve čtyři stopečkaté výtrusy (basidiospory). Basidie vytvářejí tenkou vrstvičku, která se nazývá výtrusorodé rouško (hymenium). Jsou umístěny buď v rourkách (u hřibovitých), nebo na lupenech (u lupenatých) hub. [7] Plodnice hub mají různou velikost a rozmanitý tvar. Pro řadu druhů je tvar plodnice charakteristický. Plodnice je tvořena kloboukem a třeněm. Na spodu klobouku je hymenofor s hymeniem. Hymenofor je hrotnatý, lupenatý nebo rourkovitý. Některé plodnice bývají v mládí obaleny plachetkou (*velum generale*). Postupným růstem plodnice se plachetka trhá a zanechává na klobouku zbytky, na bázi třeně pochvu. Závoj (*velum parziale*) zakrývá u některých plodnic v mládí rourky nebo lupeny, spojuje okraj klobouku s třeněm. Při růstu plodnice se trhá a zanechává na třeni prsten. Mezi stopkovýtrusé houby patří paraziti rostlin, například z řádu rzí (*Uredinales*) je to rez travní (*Puccinia graminis*), která parazituje na dřevšálalu a některých druzích lipnicovitých. Významně snižuje výnosy obilovin. [8] Mnohé druhy rozrušují celulózu nebo

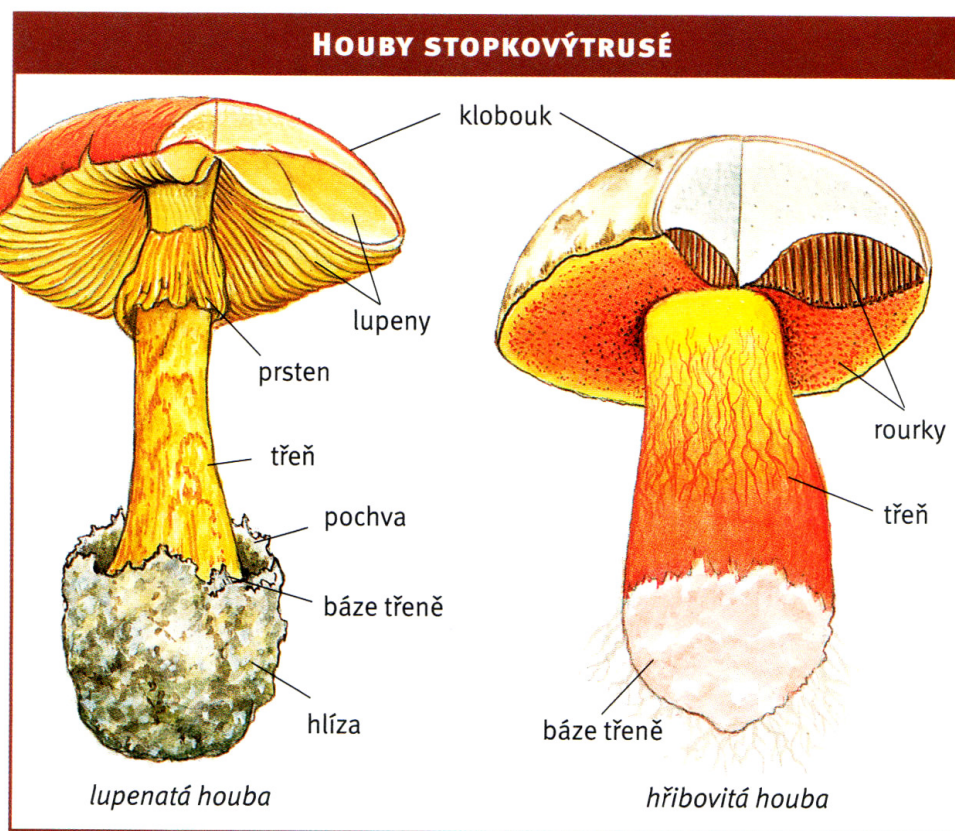
dřevovinu (lignin), nazývají se dřevní houby a nacházíme je na trouchnivějících větvích, pařezech či kmenech. Patří mezi ně např. choroš (*Polyporus*), hlíva ústříčná (*Pleurotus ostreatus*). Plodnice mnohých druhů jsou jedlé. Patří mezi ně především houby hříbovitě (hřib, křemenáč, klouzek, kozák), houby rodu bedla, žampión, ryzec, holubinka, čirůvka, liška aj. Některé jsou jedovaté; mezi smrtelně jedovaté patří muchomůrka zelená (*Amantia phalloides*), zaměňovaná s žampiónem ovčím, muchomůrka tygrovaná (*A. pantherina*), zaměňovaná s muchomůrkou růžovkou aj. Mnohé druhy hub mají léčivé účinky – antibakteriální, antivirové, cytostatické apod. [4]



Obr. 2. Muchomůrka zelená

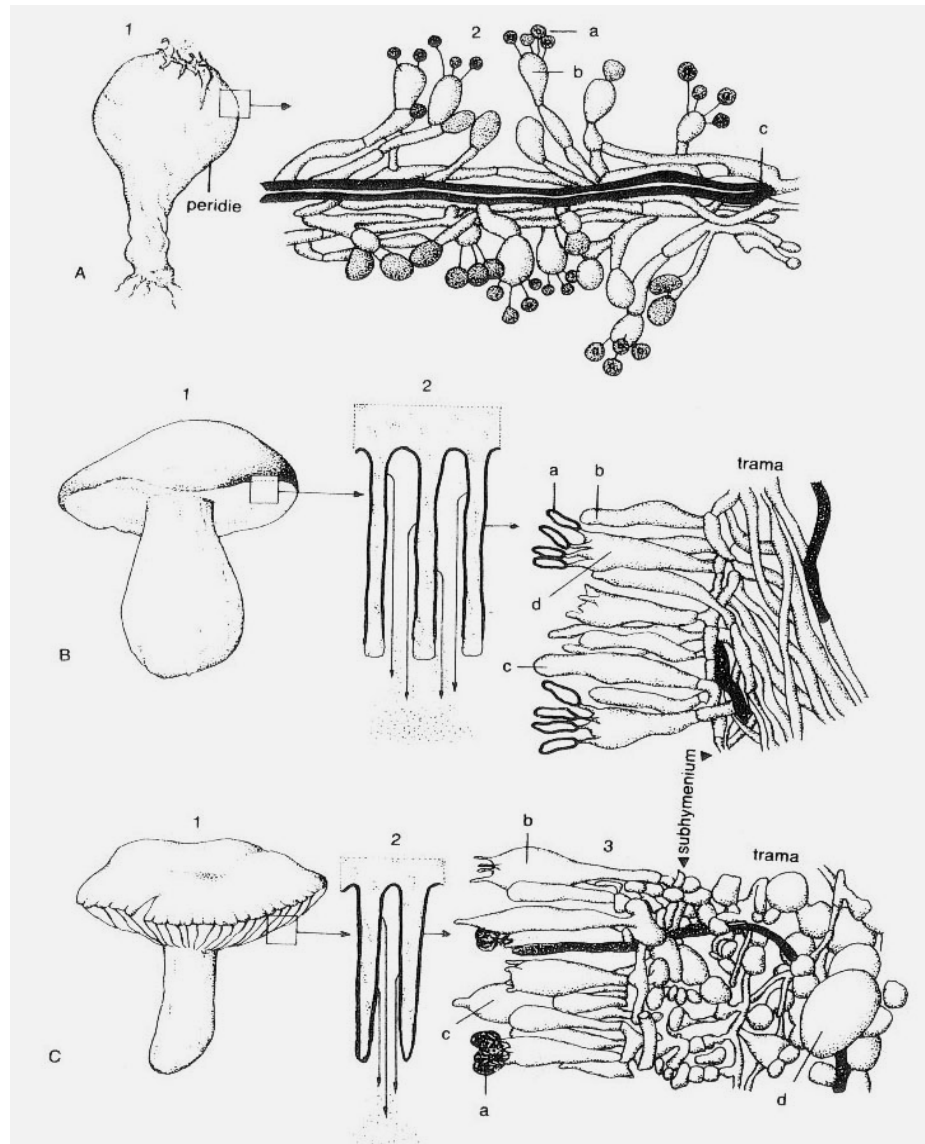
(*Amantia phalloides*)

5 MORFOLOGICKÁ STAVBA HUB



Obr. 3. Morfologická charakteristika stopkovýtrusých hub

Většina makromycetů má plodnice složené z třeně a klobouku, na jehož spodní straně jsou póry, lupeny nebo ostny, které nesou rouško (*hymenium*); tyto útvary nazýváme hymenofor. U některých skupin je v mládí celá plodnice zahalena celkovým obalem (plachetkou) a klobouk navíc odspodu částečným obalem (závojem). U dospělé plodnice po protržení obalů zbude na bázi třeně pochva, která je zvláště nápadná např. u smrtelně jedovaté muchomůrky zelené; na třeni prsten a na povrchu klobouku strupy nebo bradavky, známé např. u muchomůrky červené. [7]



11. Morfologická stavba stopkovýtrosých hub (*Basidiomycotina*): A pýchavka hruškovitá (*Lycoperdon pyriforme*) – 1 plodnice, 2 detailní stavba výtrusorodého teřichu, a výtrusy, b bazídie, c kapilicium; B hřib kovář (*Boletus erythropus*) – 1 plodnice, 2 podélný řez dvěma rourkami, 3 detail hymenia, a výtrusy, b nezralá bazídie, d zralá bazídie, c cystida; C holubinka mandlová (*Russula vesca*) – 1 plodnice, 2 podélný řez dvěma lupeny, 3 detail hymenia, a výtrusy, b bazídie, c cystida, d sférocyta

Obr. 4. Morfologická stavba plodnic stopkovýtrosých hub

6 CHEMICKÉ SLOŽENÍ PLODNIC VYŠŠÍCH HUB

Chemické složení hub je značně variabilní. [4] Čerstvé houby obsahují až 95 % vody. Při usušení se většina vody odpaří a váha hub se sníží až 10krát. Usušené houby obsahují až 30 % bílkovin, což záleží na druhu a stáří dané houby. Nejvíce bílkovin je v mladých plodnicích. Stěny houbových buněk jsou zpravidla složeny z polysacharidů. [6] Zastoupení

polysacharidů v buněčné stěně je však taxonomicky významné; stěny oomycet obsahují komplex celulóza – glukan, u zygomycet chitozan – chitin, u chytridiomycet, askomycet a bazidiomycet chitin – glukan a u endomycet mannan – glukan nebo mannan – chitin. [4] Chitin je sice nestravitelný, ale zvyšuje pohyb střev, čímž podporuje lepší trávení. Obsah stravitelných bílkovin je v jednotlivých druzích hub rozdílný. Například u lišek dosahuje pouze 4 %, ale v některých druzích žampionů až 25 %. I když je v houbách mnohem méně stravitelných bílkovin než v maso a jiných živočišných produktech, kvalitativně jsou si ale rovnocenné. Pro správný vývoj, činnost a obnovu organismu potřebuje člověk některé aminokyseliny. Tzv. esenciální aminokyseliny si lidské tělo neumí vytvořit, a tak je dostává pouze z potravy. Je zajímavé, že některé houby, např. hříby a žampiony, obsahují více esenciálních aminokyselin než maso. V houbách jsou však i druhy aminokyselin, které lidské tělo nevyužívá. Předpokládá se, že některé z nich vyvolávají alergické reakce. [6] V houbách se nacházejí také lipidy, ale v zanedbatelném množství 0,5 – 3 % v sušině. O něco bohatěji jsou v sušině hub monosacharidy, 1 – 6 %. [4] Jedním z přítomných pouze v mladých plodnicích je trehalóza. Na štěpení tohoto cukru je potřebný enzym trehaláza, který se nachází ve střevech všech lidí. Některé osoby však trpí poruchou tvorby tohoto enzymu, tím se u nich vysvětluje neschopnost trávit houbové pokrmy. Houby obsahují také některé vitaminy, především provitamin A neboli karoten. Nejvíce je ho v lišce obecné (*Cantharellus cibarius*). Vitaminu B1 a B2 je zase nejvíce v hříbech. V menším množství jsou také zastoupeny vitaminy D, E, K, PP a C. Ve stopových množstvích jsou i v houbách zastoupeny minerální látky jako draslík, fosfor, vápník, železo, sodík, měď, mangan aj. Ani bez nich se lidské tělo nemůže obejít. V houbách je mnohem více minerálních látek než v zelených rostlinách. Množství záleží na místě růstu, složení půdy, věku a druhu houby. V 1 kg sušiny bedly vysoké (*Macrolepiota procera*) je až 180 mg mědi důležité při tvorbě červených krvinek. Obsahem železa vyniká hřib strakoš (*Suillus variegatus*), který obsahuje 1500 mg železa v 1 kg sušiny. Houby však vstřebávají ze svého okolí také nežádoucí prvky jako je olovo, rtuť, arzén, atd. Koncentrace může být v houbách i několikrát vyšší než je v okolní půdě. Zřejmě nejčennější složkou hub jsou aromatické látky. Na nich závisí vůně a chuť jednotlivých druhů hub. Svým dráždivým účinkem podporují tvorbu slin a žaludečních šťáv, čímž podporují trávení. [6]

7 TĚŽKÉ KOVY V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ

7.1 Olovo

Olovo (Pb) je jedním z typicky antropogenních prvků znečišťujících životní prostředí. Při celkové distribuci olova do prostředí zůstávají oblasti s nejvyššími koncentracemi právě v blízkosti průmyslových a městských aglomerací. Nejnižší hladiny koncentrací Pb v ovzduší byly nalezeny v Antarktidě. Dle nalezených koncentrací Pb v korálech, sedimentech, letokruzích stromů, analýzou muzeálních sbírek či ledových a sněhových vrstev došlo k desateronásobnému zvýšení jeho spadu od počátku minulého století. Průměrná střední hodnota ročního spadu v Severní Americe je $910 \text{ g Pb}\cdot\text{ha}^{-1}$, pro Evropu byl stanoven spad $400 \text{ g Pb}\cdot\text{ha}^{-1}$. [9]

Olovo je jedním ze snadno pronikajících, ale současně zhoubně působících toxických prvků. Způsobuje poškození krevtovorného systému, trávicího ústrojí, poruchy imunitních systémů a způsobuje neuropsychické problémy. Nejvíce jsou však postižovány děti předškolního věku, které si hrají v přízemní značně kontaminované vrstvě městských aglomerací. Je odhadnuto, že asi 1/3 lidské populace žijící ve městech je exponována kritickou či nadměrnou koncentrací Pb z ovzduší. [10]

Největším zdrojem Pb jsou bromidy alkylolova, které tvoří 60 % všech emisí. Pb se vyskytuje ve výfukových plynech automobilů jako oxid, avšak často přetrvává po interakci s prostředím jako síran či chlorid. [11]

Přirozeným způsobem se do atmosféry dostává Pb ve formě prachu, kouře lesních požárů a aerosolů mořské vody (např. ze Středozemního moře uniká $5 - 6 \text{ ng Pb}\cdot\text{m}^{-3}$). [12]

Průměrný obsah Pb v různých půdách celého světa je $29,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. [13] Jedním z hlavních zdrojů Pb v kontaminovaných půdách jsou imise hutí, zpracovávajících olověnou rudu. [14] Extrémně vysoké byly obsahy Pb v půdách kontaminovaných odpadem z kovohutí. Nalezené koncentrace dosahovaly až $9000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. [15] Důležitým zdrojem Pb je aplikace čistírenských kalů do půdy. [16]



Obr. 5. Ruda olova

Byla sledována kontaminace půd Pb v okolí dálnic. Nejvyšší koncentrace byly nalezeny do vzdálenosti 30 m od dálnice (v povrchové vrstvě půdy dosahovaly hodnot 350 mg.kg^{-1}), ve vzdálenosti 100 m a více obvykle již nebylo možno kontaminaci prokázat. [17]

Gravitační depozice, tj. depozice s deštěm, sněhem, kroupami, sedimentujícím prachem apod., je důležitým mechanismem pro obohacení ekosystému těžkými kovy včetně Pb. Olovo má vysokou afinitu ke tvorbě komplexů s nerozpustnými huminovými látkami, což vede k fixaci a imobilizaci tohoto prvku v humusových vrstvách půdy. Mobilizace či vyluhování půdním roztokem nebo kyselým deštěm se u tohoto prvku příliš neuplatní. [18]

7.2 Kadmium

Průměrné množství kadmia (Cd) v zemské kůře je odhadováno na $0,15 - 0,20 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$. Jeho rozložení je velmi nerovnoměrné a nejvíce ho obsahují zinkové rudy. Ve většině průmyslově vyspělých zemích patří k nejvýznamnějšímu použití kadmia pokovování jiných kovů. Zajímavou výjimkou je Švédsko a Japonsko, kde je takové použití zakázáno zákony na ochranu životního prostředí. Vrstva kadmia chrání kovy před korozemi alkaliemi a mořskou vodou. Druhé nejvýznamnější použití Cd je pro výrobu pigmentů, především na bázi sulfidu kadmia. Pigmenty mají výbornou tepelnou stabilitu

a míchají se do barev, emailů a taky do umělých hmot. V elektronice se Cd využívá k výrobě baterií, polovodičů a fotočlánků. [19]

Rozsah využití a spotřeba kadmia má rok od roku vzrůstající tendenci. Z důvodu toho a také faktu o jedovatosti i nepatrných množstvích Cd pro organismy, mnoho zemí stanovilo maximální povolená množství Cd v pitné vodě a ve vzduchu. Přítomnost malých množství Cd je v přírodě zcela přirozená. Kadmium nelze ze životního prostředí komplexně vyloučit, protože je vyluhováno z hornin, uvolňuje se při spalování fosilních paliv a z fosforečných hnojiv; to vše i za normálních podmínek. V současné době se sleduje obsah kadmia v životním prostředí zvířat i lidí stále pozorněji. [20]

Vzhledem ke svým chemickým vlastnostem Cd snadno reaguje s velkým počtem biologicky aktivních molekul, včetně proteinů, fosfolipidů, porfyrinů, purinů, nukleových kyselin a enzymů. Kadmium často nahrazuje v některých enzymech zinek. Tato změna může způsobit sníženou nebo zvýšenou aktivitu takového enzymu. Všechny tyto změny jsou příčinou nebezpečnosti kadmia pro živé organismy. [21]

Zvýšená koncentrace kadmia v prostředí vede k růstu jeho obsahu v rostlinách. Chronické otravy jsou známy pod onemocněním Itai-Itai. [22]

V půdě je Cd obsaženo v primárních minerálech, ve formě nerozpustných sraženin, hydratovaných oxidů manganu, železa a hliníku, ve vazbě na organickou hmotu, v koloidním systému a v nepatrné míře v půdním roztoku. [19] Pohyb Cd v půdě ovlivňuje více faktorů, a sice pH, koncentrace chloridových iontů, obsah jílových materiálů a kvalitu humusových látek. S rostoucí hodnotou pH klesá rozpustnost sloučenin Cd, při pH nad 7,5 přestává být Cd rozpustné. [23] V případě půdní organické hmoty se při interakci s kadmíem zohledňuje spíše její kvalita než celkové množství v půdě. Sorpce Cd huminovými kyselinami je ovlivněna výrazně jejich chemickou strukturou, hlavně počtem jejich karboxylových skupin. [24]

Vyšší přirozený obsah Cd mají pouze siřičkové rudy, obzvláště sfalerit a fosfacity. Ve srovnání s průměrným obsahem Cd v nekontaminovaných půdách může v některých lokalitách vzrůst obsah Cd až na stovky a někde i tisíce mg v 1 kg půdy. Takovéto silné znečištění půdy se zjistilo opakovaně v blízkém okolí hutí, kde se zpracovává zinková a olověná ruda, nebo poblíž dolů, kde se těží tyto kovy. Důležitou roli v intenzitě znečištění půdy z těchto zdrojů mají klimatické podmínky. Kromě již zmíněných zdrojů může být

půda znečištěna i Cd z čistírenských kalů, které se dnes ve velkém měřítku aplikují do půdy jako hnojiva pro zlepšení struktury půdy. V zemědělství v podmínkách ČR mohou být významným zdrojem Cd superfosfáty dovážené ze zahraničí. Některé obsahují 38 – 48 mg Cd.kg⁻¹ a jejich dlouhodobá aplikace způsobuje zvýšení koncentrace Cd v půdách i rostlinách. [20]

Kadmium se hromadí v půdě nejvíce ve vrstvě 0 – 5 cm a jeho koncentrace klesá s přibývajícím hloubkou. [25] V nekontaminovaném prostředí se Cd do půdy dostává zvětráváním hornin, ve kterých nepřesahuje jeho obsah 0,3 mg v 1 kg. Při zvětrávání přechází do roztoku, kde se vyskytuje jako kademnatý kationt. Zvýšením koncentrace Cd v půdním výluhu se zvýrazní inhibiční efekt na růst a aktivitu půdních mikroorganismů. [26]

Rostlina přijímá Cd převážně jako kademnatý kationt, a to buď z půdy, nebo z atmosféry. Převládá příjem z půdy při vysokém obsahu Cd v půdě a při kyselém pH. Pohyb Cd do nadzemních částí z kořenů je omezený. Je možné ho snížit fosforečnou výživou, kde se předpokládá interakce kadmia s fosforem a vápněním. [27]

Kadmium se ve větší míře ukládá v houbách, a to hlavně v kloboucích plodnic rodu žampion (*Agaricus*). U rostlin se Cd hromadí pravděpodobně v proteinové frakci. Základní příčinou toxicity Cd je pro rostliny narušení jejich enzymatické aktivity. Dochází přitom k potlačení syntézy antokyanu a chlorofylu. [28]

Průměrný obsah Cd v rostlinách je 0,03 – 0,5 mg.kg⁻¹ sušiny. Nejvíce se Cd hromadí v listové zelenině jako je salát, špenát a další. Naopak nejméně se Cd vyskytuje v jahodách a plodové zelenině. [21] Většina rostlin je vůči Cd odolná a nevádí jim v půdě ani koncentrace nad 50 mg.kg⁻¹. Existují však i citlivé rostliny a plodiny, jako jsou např. špenát, sója a tabák, které reagují negativně už na množství 4 – 13 mg.kg⁻¹ půdy. [29]

Symptomy toxicity Cd se projevují omezeným růstem rostlin, poškozením kořenů a červenohnědým zbarvením listů, které přechází následně v chlorózu. [30]

7.3 Rtuť

Rtuť (Hg) je jedním z cizorodých prvků, které mají již v nepatrném množství negativní vliv na rostliny, zvířata i člověka. Zdrojem Hg v životním prostředí mohou být čistírenské kaly, fungicidy, imise způsobené spalováním uhlí a odpady, které vznikají při získávání kovů z rud nebo při elektrochemických výrobcích. [31]



Obr. 6. Rtuť

Běžný obsah Hg v půdách je $0,01 - 0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$. [19] Vyskytuje se zde ve třech formách, a sice jako rtuťnatý kationt, elementární Hg a methylrtuť. [31] Rtuť se snadno váže na půdní organickou hmotu, a to hlavně na karboxylové skupiny humínových kyselin. [32] Humusové horizonty půd se vyznačují zvýšeným obsahem Hg než ostatní půdní horizonty a jen asi 15 % rtuti, která se váže na půdní organickou hmotu, může být vyplavena do půdního roztoku nebo do podzemních vod. [33] Půdní organická hmota je velmi důležitým činitelem, díky kterému klesá přístupnost Hg pro rostliny a tím její začlenění do potravních řetězců. [34] Mikrobiálními pochody může docházet k redukci rtuťnatých kationtů na elementární Hg, která je vysoce těkavá. Volatilizovanou Hg mohou adsorbovat nadzemní části rostlin a po jejich odumření se stává opět součástí půdního humusu. [31] U tzv. methylace rtuti mají hlavní roli také mikrobiální procesy. Methylaci podporuje přítomnost živin v půdě, a to zejména fosforu a draslíku. Methylrtuť je ze všech forem Hg nejvíce přijatelnou pro živé organismy. [33]

Rtuť je v půdách nejnáze přijímána rostlinami při pH půdy v oblasti 2,5 – 5,5. Přijatelnost nad tuto hodnotu klesá. [35] Snižování přístupnosti Hg pro rostliny se děje

udržováním neutrální až alkalické oblasti pH půdy pomocí vápnění a využitím vazeb Hg na organickou hmotu aplikací statkových hnojiv. [36]

Průměrný obsah Hg u rostlin je v rozmezí 0,005 – 0,2 mg.kg⁻¹ sušiny. [19] U rostlin, které jsou pěstovány na kontaminovaných půdách, se může obsah Hg podstatně zvyšovat. Pohyblivost Hg v rostlinách je nízká a většina přijaté Hg je v kořenech. [37] Rostliny, které mají vysokou schopnost kumulovat Hg, jsou především mechy [34] a vodní rostliny. [31] Z kulturních rostlin se jedná například o ječmen. [35] Toxicita Hg se projevuje jejím působením na permeabilitu buněčných membrán, reakcí se sulfhydrylovými skupinami bílkovin a v její schopnosti vázat se na ATP a ovlivňovat jeho aktivitu. Symptomy toxického působení Hg na rostliny se projevují omezením růstu kořenového systému a výskytem chloróz. Snižuje se obsah chlorofylu a dojde k poruchám v uspořádání membránových struktur buněk. [31]

7.4 Berylium

Berylium (Be) patří mezi nejnebezpečnější prvky vůbec kvůli své vysoké toxicitě. V okolí závodů vyrábějící Be, jeho slitiny nebo soli, a také v důsledku spalování uhlí (může obsahovat až 100 g Be v tuně uhlí) dochází v těchto oblastech ke znečišťování ovzduší tímto toxickým prvkem a k negativnímu působení na zdraví obyvatelstva. Kromě stále častější příležitosti k expozici člověka v souvislosti s růstem produkce a průmyslového využití Be hrozí zneužití jeho unikátních fyzikálních vlastností při konstrukci neutronové bomby.

Za největší emitanty Be jsou považována energetická zařízení, která spalují uhlí. Nejvíce Be se vyskytuje v málopopelnatém uhlí, kde se váže na uhelnou organickou hmotu. Obsah oxidu berylnatého zde kolísá v hodnotách od 182 – 3480 g.t⁻¹. Dalšími emitanty Be jsou jaderné elektrárny a metalurgické závody. [38]

Berylium má karcinogenní účinky, působící specificky na metabolismus DNA. Nejzávažnějším onemocněním u člověka je chronická berylióza. Onemocnění je velmi zákeřné, navíc se může projevit až za několik let. Postihuje hlavně plíce a s nimi spojenou dýchací soustavu. Prvními příznaky bývají katary horních cest dýchacích. Později dochází k cyanózám a ke ztrátě hmotnosti. V současné době je otrava Be vzácná a vyskytuje se v případech havárií výrobních a zkušebních zařízení. [39]

Přítomnost Be v půdách je nízká (méně než 10 mg.kg^{-1} zeminy). Tento prvek se hromadí v kyselých magmatických horninách. Průměrný obsah Be v půdě se pohybuje od $0,1 - 5 \text{ mg.kg}^{-1}$ zeminy. V přírodě se Be nejvíce vyskytuje v kyselých a neutrálních horninách. Vyšší obsahy Be se nacházejí ve slídách, montmorillonitových jílech, uhlí a v živcích. Berylium je obsaženo asi v 50 různých minerálech, z nichž ve 30 je jeho obsah vyšší než 1 %. Nejvíce Be obsahuje minerál beryl, a to 5 %.



Obr. 7. Ruda berylia

Organické látky se snadno váží s Be, a proto jsou jím obohaceny některé sloučeniny, které se kumulují v organických horizontech půd. Be dokáže zastoupit hliník a některé dvouvalentní kationty, což podmiňuje jeho silnou vazbu s montmorillonitovými částicemi. Nejnižší obsah Be byl zjištěn právě u rostlin rostoucích na půdách s vysokým podílem jílnatých částic. [40] Přestože je Be v půdě poměrně pevně sorbováno, a proto je jeho mobilita nízká, může také tvořit sírany a chloridy rozpustné vodou. Část Be je proto přístupná pro rostliny. [41]

Vyplavitelnost Be z hnědouhelných popelů je ze všech cizorodých prvků nejvyšší a Be se tak může stát ve znečištěných oblastech významným zdrojem kontaminace půd a podzemních vod. [42]

Pro rostliny je Be stopovým prvkem, který se v nich většinou vyskytuje v relativně malých koncentracích. V normálních podmínkách je to v rozsahu $0,001 - 0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ suché hmoty. I když v nepatrném množství podporuje Be růst rostlin, ve větších

koncentracích je vysoce toxické, neboť blokuje hlavně ty enzymy, jejichž aktivátorem je hořčík. [19]

Z rostlin mají schopnost koncentrovat vysoká množství Be např. brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*). Některé druhy vikvovitých rostlin kumulují zvýšené množství Be, a to převážně v kořenech. Toxické koncentrace Be ve vyzrálých listech jsou v rozmezí 10 – 50 mg.kg⁻¹ sušiny. Berylium brzdí příjem vápníku a hořčíku kořeny a také brzdí klíčení semen. [43] Narušuje příjem fosforu a poškozuje některé proteiny a enzymy. Symptomy toxicity Be u rostlin se projevují zakrslostí listů a malým, nedostatečně vyvinutým kořenovým systémem. [44]

7.5 Arsen

Arsen (As) je ve velkém množství obsažen v některých druzích uhlí, hlavně hnědého používaného pro energetické účely. V popelu se As nachází ve formě arsenitanů a arseničnanů železa, mědi a vápníku. Protože As byl vstřebáván a vázán v některých případech ještě za života rostlin, z nichž uhlí vzniklo, je jeho menší část vázána také v organických sloučeninách, které mohou být zdrojem plyných emisí. Jak vyplývá z fyzikálně chemické povahy podmínek spalování uhlí v kotlích tepelné elektrárny, je převážná část As v emisích vázána ve formě oxidu arsenitého adsorbovaného na povrchu nejjemnějších frakcí popílku. [45]

As je součástí přípravků ke konzervaci dřeva proti houbám. Menší množství se používá ve farmaceutickém průmyslu, sklářství, pro výrobu konzervačních prostředků na kůži, otrávených vnadidel, některých herbicidů a jedů proti kobyilkám. Arsenové preparáty jsou používány při výrobě pigmentů a výrobě bojových chemických látek. Elementární kovový As se používá při výrobě slitin. Do olova na výrobu broků se přidává pro zvýšení povrchového napětí slitiny k dosažení dokonalého kulového tvaru. Zvyšuje odolnost mědi ke korozi, zlepšuje její mechanické vlastnosti. Malé množství přidané do zlata výrazně zvyšuje jeho tvrdost a křehkost. Krystaly arsenidu galia se používají jako kvantové generátory světelného záření v laserech. [46]

Toxicky začíná As působit v dávkách 30 – 50 mg, nejmenší letální dávky jsou kolem 80 mg a smrtelné dávky se pohybují v rozmezí 200 – 300 mg u dospělého člověka. Prudká otrava probíhá v důsledku paralýzy kapilár. Dochází k rychlému bezvědomí

s obrnou oběhu i dýchání. Menší dávky As způsobují motorické obrny a ztrátu paměti. As může způsobovat rakovinu kůže a plic. As je v malém množství pravděpodobně nezbytný pro obratlovce, protože jeho nedostatek způsobuje reprodukční poruchy. Též jeho nedostatek u koz vede k jejich srdečním problémům. [47]

Průměrný obsah As v zemské kůře je $1,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ a v půdách se pohybuje od $2 - 20 \text{ mg.kg}^{-1}$ zeminy. V půdách v okolí zdrojů znečištění, zejména dolů a hutí, se mohou obsahy As pohybovat okolo 80 mg.kg^{-1} . [19] Ke kontaminaci půd dochází v největším množství v okolí 1 – 2 km od zdroje znečištění. Obsah As je nejvyšší ve svrchní vrstvě půdy 0 – 20 cm a směrem do hloubky klesá. Vysoké obsahy jsou v sedimentech, zvláště jílových. Nejvíce As mají horniny obsahující sulfidy a uhelnou příměs. Zdrojem zamoření zemědělských půd je především popílek a odsiřovací produkty z kotelen, které byly aplikovány do půdy, nebo se tam dostávají ve formě imisí. V suchém klimatu jsou sloučeniny As v půdě prakticky nepohyblivé. Pokud není As adsorbován půdními organismy, může docházet k jeho biologické metylaci. Metylovaný As se volatilizací uvolňuje do atmosféry. Detoxikace půd obsahujících As je možná síranem železnatým, vápencem a vysokými dávkami fosforu. [48]

Vyplavitelnost As z půd je velmi malá. Stejně tak malá je i jeho vyplavitelnost z hnědohelného popela, ve kterém je obsaženo značné množství As. Uvolňování As do půdního roztoku závisí nejenom na formě, ve které je v půdě přítomen, ale i na řadě půdních vlastností, jako jsou množství oxidů a hydroxidů hliníku, železa a manganu, dále potom na obsahu jílových částic a organické hmoty, hodnotě pH a pěstované plodině. Z celkového množství As v půdě je ho pouze asi 1 % přijaté rostlinami. Rozpustnost As je dána především nízkým pH půdy. As je v zemině nepohyblivější při hodnotách $\text{pH} = 2,5 - 4,5$. Při $\text{pH} = 6$ už dochází k silným vazbám na hydratované oxidy železa a půdní organickou hmotu. Zatímco arseničnany zanedbatelně ovlivňují výnos, arsenitany a monometylarseničná kyselina působí silně fytotoxicky. [49]

As je součástí mnoha rostlin a jeho obsah se v přirozených podmínkách pohybuje od $0,01 - 1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. Nejvyšší obsahy byly nalezeny u listové zeleniny nízké obsahy u ovoce. Toxicita se projevuje u rostlin rostoucích na haldách rudných dolů nebo při používání kontaminovaných vod k závlaze. První příznaky jsou vadnutí listů a jejich fialové zbarvení. Nejčastější příznaky toxicity jsou zpomalení růstu a snížení výnosu. [28] Toxicitu As lze zmírnit aplikací vápníku nebo fosforu. [50] As způsobuje také redukci

růstu kořenů; poškozuje jejich membrány. V důsledku toho se snižuje translokace As do nadzemních částí rostlin. Čím je tedy více As v kořenech, tím méně je ho potom obsaženo v nadzemních částech rostlin. Nejméně As bývá zpravidla obsaženo v plodech. [51]

Značné množství As se vyskytuje v obilninách a také v kapradinách. Také vyšší houby se vyznačují schopností poutat zvýšené množství As. Z nich jsou to zejména druhy rodu *Agaricus*. Na obsah As je citlivá vojtěška, stejně jako hlízkové bakterie rodu *Rhizobium*, které žijí v symbióze s jejími kořeny i s kořeny dalších bobovitých rostlin. [52]

7.6 Nikl

Nikl (Ni) je jedním z těžkých kovů, který má negativní vliv na zemědělské plodiny. Ni je v nepatrných množstvích nezbytným prvkem pro živé organismy, avšak ve vyšších koncentracích působí toxicky. Způsobuje poruchy ledvin, srdeční činnosti a centrálního nervového systému u člověka i zvířat. Může také způsobovat ekzémy, alergické záněty nebo dokonce rakovinu plic. Mezi nejdůležitější zdroje Ni patří hutnictví, jehož produkce ve světě je 12 000 tun Ni ročně, dále ropný průmysl a spalování fosilních paliv. Spálením jednoho kilogramu uhlí se uvolní 10 – 50 mg Ni. Nezbytnost Ni nebyla v lidském těle prokázána. Ve střední Evropě činí příjem Ni lidským organismem asi 0,3 – 0,5 mg denně. Převážná část tohoto prvku je přijímána ze vzduchu a jen zanedbatelné množství organismy přijímají potravou a vodou. [53]

Obsah Ni v zemské kůře činí kolem 45 mg.kg⁻¹. V ultrabazických horninách s vysokým obsahem olivínu v serpentitech může být i 8 000 mg.kg⁻¹. Průměrný obsah Ni v půdách činí 5 – 50 mg.kg⁻¹. [54] V zamořených půdách ve Skotsku, Švýcarsku, Řecku a Austrálii byl zjištěn obsah Ni až 5.000 mg.kg⁻¹. Kontaminace půdy Ni se projevuje do vzdálenosti 30 – 40 km od zdroje znečištění a je ovlivněna meteorologickými podmínkami. [55]

Ni je v půdě adsorbován jílovými minerály a oxidy železa, manganu a hliníku. Značná část Ni se v půdách nachází také v silikátové formě. V půdním roztoku je obsaženo v průměru 10 – 90 µg Ni na 1 litr, u půd kontaminovaných to potom může být až 3,5 mg.l⁻¹. Rozpustnost Ni, a tím i jeho přístupnost pro rostliny, závisí na hodnotách pH půdy. Při pH pod 5,5 vzrůstá rozpustnost a přijatelnost tohoto prvku. Rozpustnost Ni je také větší za přítomnosti redukčních podmínek v půdě. [56] Největší nebezpečí škodlivosti

tedy hrozí na půdách s nízkou hodnotou pH a s nízkým obsahem oxidů železa a manganu. Jako nejefektivnější ochrana proti fytotoxicitě se jeví vápnění půd na hodnotu $\text{pH} = 6,4 - 6,8$. [57]

V půdě se Ni vyskytuje převážně ve formě sulfidů a křemičitanů. Z minerálů jsou to nikelin, v němž bývá Ni v různém poměru zastoupen železem, dále pak chloranthit, millerit, síroarsenit, gersdorffit, síroantimonit, ullmanit, garnierit a jako křemičitan nikelnatohořečnatý. [58]



Obr. 8. Nikelin

Nejvíce je Ni pohyblivý ve vrchních vrstvách půdy a směrem do hloubky klesá jeho mobilita. [59] Zvýšený obsah Ni v půdě snižuje aktivitu půdních mikroorganismů. Ni inhibuje nitrifikaci a jeho zvyšující se koncentrace snižují potenciální respiraci mikroorganismů. [60]

Důkazy o jednoznačné nezbytnosti tohoto prvku pro rostliny chybí, avšak řada prací zdůrazňuje jeho pozitivní působení na růst rostlin. Obsah Ni se v rostlinách pohybuje v rozmezí $0,1 - 5 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. Fytotoxické koncentrace dosahují hodnot $10 - 100 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. Vysoký obsah Ni omezuje růst rostlin a potlačuje fotosyntézu a transpiraci. U bobovitých rostlin bylo zjištěno snížení intenzity fixace vzdušného dusíku. Příjem Ni kořeny a jeho transport do nadzemních částí je brzděn měďnatými a zinečnatými kationty. Toxicita Ni je vysvětlována poměrem niklu ku železu v rostlinách, která má větší význam než jeho absolutní koncentrace. [61] Z kulturních rostlin, které Ni akumulují, jsou především jahody a maliny. V rostlině se nejvíce Ni ukládá většinou v kořenech. Rajčata kumulují tento prvek nejvíce ve stoncích a nejméně v listech. Stejně tak špenát, zelí i fazole mají nejvyšší obsahy Ni ve stoncích. [62]

Při příjmu prvků rostlinami byl zjištěn antagonismus mezi Ni a manganem, Ni a železem a synergismus mezi Ni a fosforem a Ni a hořčíkem. [63]

V okolí dolů, ve kterých se těží Ni, stoupá u obilnin jeho obsah na 60 – 80 mg.kg⁻¹ v sušině. Jestliže nejsou rostliny před analýzou opláchnuty, obsah Ni činí až 250 mg.kg⁻¹ sušiny. Obsah 0,5 – 2 mg Ni.l⁻¹ v půdním roztoku může být pro některé druhy rostlin toxický. [19]

8 TĚŽKÉ KOVY V HOUBÁCH

Různé druhy hub mají různou schopnost koncentrovat v plodnicích těžké kovy; záleží na kumulační schopnosti daného druhu (vysoká je např. u muchomůrek, žampionů nebo hřibovitých hub) a koncentraci prvků v půdě – ve městech nebo u silnic, hlavě tedy u dálnic se nedoporučuje sbírat houby k jídlu, při opakovaném požívání se prvky v těle kumulují, což časem může vést až k otravě. [6]

Princip navázání cizorodého prvku do plodnic vyšších hub je následující: v první fázi se kov váže na vnější stěnu myceliového vlákna a v druhé fázi se dostává do nitra buňky. Nitrobuněčný příjem je proces energeticky náročný a spojený s vylučováním draslíku. Na jeden přijatý iont kadmia se vylučují dva ionty draslíku. Kovový iont je uvnitř buněk zabudován do molekuly bílkovin vázajících kovy na své sulfhydrylové skupiny (SH) – jedná se o tzv. metalothioneiny (či fytochelatiny). Metalothioneiny jsou nízkomolekulární proteiny a polypeptidy obsahující velké množství cysteinu se schopností vázat ionty těžkých kovů. Dělí se na živočišné, na polypeptidy podobné živočišným metalothioneinům (bývají nalezeny u hub, kvasinek a sinic) a na rostlinné metalothioneiny. Je prokázána odlišná stavba molekuly specifických bílkovin vázajících kovy v houbách ve srovnání s molekulou metalothioneinů syntetizovaných savci a doporučují se pro ně názvy cadystiny neboli gama-glutamyl peptidy (bílkoviny obsahující pouze kyselinu glutamovou, cystein a glycin). Je možné, že tyto bílkoviny jsou odpovědné za rozdíly v obsahu kovových iontů u různých druhů hub. [64]

Průnik Cd a Hg do vyšších hub probíhá nejvíce podhoubím, u Pb spíše povrchem plodnic. Značný výskyt těžkých kovů v houbách způsobil představu, že nálezů je možno využít k monitorování prostředí [65], ovšem skutečnost, že především u Hg a Cd je vysoký

koncentrační faktor (poměr mezi substrátem a plodnicí), toto využití k bioindikaci silně zpochybňuje. [66] Svědčí pro to i údaje, že především Hg se v houbách kumuluje cestou mycelia ze zdrojů v humusu, ovšem je značný rozdíl ve složení porostů. [67]. Dalším problémem je i odlišná kumulační schopnost některých čeledí – nejvyšší je u čirůvkovitých a žampionovitých. Důležitým faktorem je rozložení Hg a Cd v houbě, nejvíce je těchto prvků obsaženo ve výtrusorodých vrstvách, zbývající část v klobouku a nejméně ve třeni. [66] Saprofytické houby, které získávají organické látky z tlejících částí těl organismů či plodin, popř. jejich metabolitů za živa, mají vyšší kumulační schopnost než houby mykorrhizní, čerpající živiny z kořenů vyšších rostlin. [68]

Houby s $0,2 \text{ mg Hg.kg}^{-1}$ čerstvé hmoty jsou považovány za hygienicky vyhovující, při obsahu 1 mg Hg.kg^{-1} je možný příjem 300 g (1 porce) 1krát za týden a dávka 10 mg Hg.kg^{-1} čerstvé houby je toxická. Tepelnou úpravou se ztrácí až 70 % Hg, v sušených houbách se obsah Hg ani po víceletém skladování nemění. [66] Byly nalezeny obsahy Hg v následujících druzích hub v našich podmínkách; a sice u bedly vysoké (*Macrolepiota procera*) až $15,24 \text{ mg Hg.kg}^{-1}$ sušiny, u hříbu dubového (*Boletus aestivalis*) až $9,54 \text{ mg Hg.kg}^{-1}$, u bedly červenající (*Macrolepiota rhacodes*) až $8,02 \text{ mg Hg.kg}^{-1}$ sušiny. [67]



Obr. 9. Hřib dubový (*Boletus aestivalis*)

Vyšetřením 25 druhů hub byly zjištěny nadlimitní hodnoty pro Hg v 80 %, přičemž u hříbu hnědého (*Boletus badius*) se z octového nálevu zjistilo $2,9 \text{ mg Hg.kg}^{-1}$ sušiny. [69] Pěstovaný žampion (*Agaricus bisporus*) má mnohem nižší obsah Hg, než volně rostoucí druhy. [66] V pěti pěstírnách na území České republiky byly zjištěny obsahy Hg v rozmezí od 0,006 do max. $0,029 \text{ mg Hg.kg}^{-1}$ v čerstvé houbě. [70]

Nejvyšší výskyt Pb je prokázán u čirůvky fialové (*Lepista nuda*), špičky obecné (*Marasmius oreades*) a žampionů. Koncentrační faktor pro Pb je menší než 1, Pb je v plodnici rozložené docela rovnoměrně. [66] Vyhodnocením více než 300 vzorků bylo zjištěno překročení limitu pro Pb v 6,6 % (maximum u bedly červenající – *Macrolepiota rhacodes* – $37,4 \text{ mg Pb.kg}^{-1}$ sušiny, popř. u holubinky trávozelené – *Russula aeruginea* – $19,4 \text{ mg Pb.kg}^{-1}$ sušiny). [67] U žampionů z pěti pěstíren u nás byl nalezen obsah Pb v rozmezí $0,03 - 0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ čerstvé hmoty (limit je $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$). [70] V okolí do 1 km od rudných dolů Příbram byly zjištěny vysoké obsahy Pb u hříbu smrkového (*Boletus edulis*) až $175,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny, do 4 km od závodu v témže druhu do $14,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. [67]



Obr. 10. Bedla červenající (*Macrolepiota rhacodes*)

Kadmium je v houbách považováno za rizikový faktor z důvodu jeho nadlimitních obsahů ve většině vyšetřených hub. Hodnoty nad 10 mg Cd.kg^{-1} sušiny bývají nejčastěji u čeledí žampionovité a čirůvkovité, byly zjištěny hodnoty dokonce až $100 - 299 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$ sušiny. [66] Toxická kumulace Cd byla prokázána u následujících druhů: pečárka ovčí (*Agaricus arvensis*) $17,3 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$ sušiny, holubinka mandlová (*Russula vesca*)

12,4 mg Cd.kg⁻¹ sušiny [71], v našich podmínkách byly zjištěny maximální hodnoty Cd u hříbu žlutomasého (*Xerocomus chrysenthereon*) až 16,2 mg.kg⁻¹ sušiny, u žampionu polního (*Agaricus campestris*) až 37,02 mg Cd.kg⁻¹ sušiny. Nad normu 0,5 mg Cd.kg⁻¹ sušiny se dostalo 71,5 % vyšetřených hub [67], 88 % všech vyšetřených hub, např. u pečárky hajní (*Agaricus silvicola*) byl obsah Cd 10,25 mg.kg⁻¹ čerstvé hmoty. [69] U žampionů z pěti pěstíren u nás byly zjištěny hodnoty v rozmezí 0,02 – 0,04 mg Cd.kg⁻¹ čerstvé hmoty. [70]



Obr. 11. Žampion polní (*Agaricus campestris*)

ZÁVĚR

Vyšší houby jsou již od pradávna využívány jako potravina. U mnohých druhů basidiomycet se setkáváme také s jejich využíváním jako potravního doplňku, který má sloužit ke zvyšování odolnosti imunitního systému člověka. Byl prokázán pozitivní vliv některých látek obsažených v jedlých houbách na buněčnou aktivitu a sekundární produkci chemických sloučenin, které se mohou uplatňovat v imunitním systému člověka a jsou účinným podpurným prostředkem při léčbě řady onemocnění. S ohledem na využívání hub mnoho autorů upozorňuje nejen na tyto látky, ale i na nebezpečí související s konzumací hub. To spočívá v obsahu některých toxických sloučenin a v dnešní době je to také aktuální problematika těžkých kovů. Vyšší houby mají všeobecně vysokou schopnost těžké kovy kumulovat a stávat se tak jejich významným zdrojem v potravním řetězci.

Cílem mé bakalářské práce bylo popsat obecně houby, včetně jejich taxonomie, anatomie a chemického složení. Pozornost byla věnována především kumulaci těžkých kovů plodnicemi vyšších hub. Konkrétně jsem se zaměřil na tyto těžké kovy: olovo, kadmium, rtuť.

Překročení limitu obsahu olova v plodnicích vyšších hub, který je $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$, bylo prokázáno přibližně u 20 druhů z 300 testovaných vzorků. Nejvíce olova bylo zjištěno u bedly červenající (*Macrolepiota rhacodes*) až $37,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny, dále pak u holubinky trávozelené (*Russula aeruginea*) až $19,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. Jiní autoři uvádějí největší výskyt olova u čirůvky fialové (*Lepista nuda*), špičky obecné (*Marasmius oreades*) a žampionů. U testování obsahů těžkých kovů v houbách je mimo jiné ovlivňujícím faktorem oblast, ze které dané vzorky pocházely.

Limitní obsah kadmia je nejčastěji překročen u čeledi žampionovité a čirůvkovité. V našich podmínkách byly zjištěny maximální hodnoty kadmia u hříbu žlutomasého (*Xerocomus chrysenthereon*) až $16,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny, u žampionu polního (*Agaricus campestris*) až $37,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. Nad normu $0,5 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$ sušiny se dostalo 71,5 % vyšetřených hub.

Rtuť, která se tepelnou úpravou ztrácí z potravy až o 70 %, byla nalezena v našich podmínkách v těchto druzích hub: bedla vysoká (*Macrolepiota procera*) až $15,24 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny, hřib dubový (*Boletus aestivalis*) až $9,54 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny, bedla červenající (*Macrolepiota rhacodes*) až $8,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. V sušených houbách se obsah rtuti nemění.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BAIER, J.: Co nevíme o houbách. Artia / Granit: Praha, 1993, 63 s.
- [2] KEIZER, G.: Houby. Rebo Productions CZ, Praha, 2005, 288 s.
- [3] KLÁN, J.: Co víme o houbách. SPN: Praha, 1989, 310 s.
- [4] ROSYPAL, S. a kol.: Přehled biologie. SPN: Praha, 1987, 686 s.
- [5] KOTLABA, F.: Naše houby. Albatros: Praha, 2004, 335 s.
- [6] *Mykologie: teorie* [online]. [cit. 2000-01-01]. Dostupný z WWW:
< <http://mujweb.cz/www/houby/index.htm> >.
- [7] JELÍNEK, J. – ZICHÁČEK, V.: Biologie. Fin publishing: Olomouc, 1996, 415 s.
- [8] CAMPBELL, A. N. – REECE, J. B.: Biologie. Computer Press: Brno, 2006, 1332 s.
- [9] NRIAGU, J.O.: Global metal pollution. Poisoning the biosphere. *Environment*, 32, 1990, 7: 28 – 33.
- [10] NRIAGU, J.O.: A silent epidemic of environmental metal poisoning. *Environm.Pollut.*, 1988, 50:139 – 161.
- [11] NRIAGU, J.O.: The rise and fall of leaded gasoline. *Sci.total Environm.*, 1990, 92: 13 – 28.
- [12] BENCKO, V. – CIKRT, M. – LENER, I.: Kadmium. Olovo. Rtuť. Toxické kovy v pracovním a životním prostředí člověka. Avicenum, Praha, 1984, 200-241: 125 – 144.
- [13] URE, A. M. – BERROW, M. L.: Environmental chemistry. Vol. 2. The elemental constituents of soil. Royal Soc.Chem., London, 1982.
- [14] BENEŠ, S. – PABIÁNOVÁ, J.: Přirozené obsahy distribuce prvků v půdách. Monografie, VŠZ Praha, 1987: 123 – 149.
- [15] KOZÁK, J. – BILÍKOVÁ, H. – KRIŠTOUFKOVÁ, S. – JEHLIČKA, J.: Vazba těžkých kovů v půdě a možnost jejich akumulace v rostlinách. Konference ČSVTS „Hygiena pod a plnohospodářské produkce“, Žilina, 1987: 134 – 141.

- [16] GEBHARDT, H. –GRUN, R. – PUSH, F.: Zur Anreicherung von Schwermetallen in Boden und Klarschlammdungung. Zeitschrift der Pflanzen und Bodenkunde, 1988, 51: 307 – 310.
- [17] SUCHARDA, I. – BULÍŘ, P. – MIKOVCOVÁ, L. – ČERNÁ, H.: Znečištění půdy a rostlin v okolí dálnice Cd, Cu, Ni, Pb a Zn. VÚ okrasného zahradnictví. Prague, Research report, 1986.
- [18] ANGEHRN-BETTINAZZI, C. – THONI, L. – HERZ, J.: An attempt to valuate some factors affecting the heavy metal accumulation in a forest stand. Internatinal Journal of Environmental and Analytical Chemistry, 1989, 35: 69 – 79.
- [19] MARKERT, B.: Presence and significance of naturally occuring chemical elements of the periodic system in the plant organism and consequences for future investigations on inorganic environmental chemistry in ecosystems. Osnabruck, Kluwer Academic Publishers, 1992, 29 pp.
- [20] ROP, O.: Výskyt cizorodých prvků v půdách České republiky a možnosti jejich imobilizace. Farmář, 7 (6), 2001, s. 21 – 23.
- [21] CHRISTIANSEN, T. H.: Cadmium soil sorption at low concentrations. Kobenhavn, Technical University Press, 1989, 125 pp.
- [22] KABATA – PENDIAS, A. - PENDIAS, H.: Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton, CRC Press, 1984, 315 s.
- [23] HOLM, P. E. – ROOTZEN, H. – BORGGAARD, O. K. – MOBERG, J. P. – CHRISTENSEN, T. H.: Correlation of cadmium distribution coefficients to soil characteristics. Journal of Environmental Quality, 32 (1), 2003, pp. 138 – 145.
- [24] SINGH, A. K. – PANDEYA, S. B.: Modelling uptake of cadmium by plants in sludge – treated soils. Biosource Technology, 66 (1), 1998, pp. 51 – 58.
- [25] MULLIGAN, C. N. – YONG, R. N. – GIBBS, B. F.: Surfactant-enhanced remediation of contaminated soil: a review. Engineering Geology, 60 (1 - 4), 2001, pp. 371 – 380.
- [26] ALLOWAY, B. J. – JACKSON, A. P.: The behaviour of heavy – metals in sewage sludge – amended soils. Science of Total Environment, 100, 1991, pp. 151 – 176.

- [27] HE, Q. B. – SINGH, B. R.: Crop uptake of cadmium from phosphorus fertilizers – yield and cadmium content. *Water Air and Soil Pollution*, 74 (3 – 4), 1994, pp. 251 – 265.
- [28] RICHTER, R. – HLUŠEK, J.: *Výživa a hnojení rostlin*. Brno, MZLU, 1994, 177 s.
- [29] ROP, O. – KRAMÁŘOVÁ, D.: Kadmium a nikl v životním prostředí. *Zemědělec*, 15 (10), 2007, s. 39 – 40.
- [30] HLUŠEK, J.: *Základy výživy a hnojení zeleniny a ovocných kultur*. Praha, Ministerstvo zemědělství ČR, 1996, 47 s.
- [31] PATRA, M. – SHARMA, A.: Mercury toxicity in plants. *Botanical Review*, 66 (3), 2000, pp. 379 – 422.
- [32] WANG, D. Y. – QING, C. L. – GUO, T. Y. – GUO, Y. J.: Effect of humic acid on transport and transformation on mercury in soil-plant systems. *Water Air and Soil Pollution*, 95 (1 - 4), 1997, pp. 35 – 43.
- [33] MATILAINEN, T. – VERTA, M. – KORHONEN, H. - UUSI-RAUVA, A. – NIEMI, M.: Behaviour of mercury in soil profiles: Impact of increased precipitation, acidity, and fertilization on mercury methylation. *Water Air and Soil Pollution*, 125 (1 - 4), 2001, pp. 105 – 119.
- [34] BALÍK, J. – TLUSTOŠ, P. – SZÁKOVÁ, J. – BLAHNÍK, R.: The effect of sewage sludge application on the accumulation of mercury in plants. *Rostlinná výroba*, 44 (6), 1998, pp. 267 – 274.
- [35] LEE, S. Z. – CHANG, L. – CHEN, C. M. – TSAI, Y. I. – LIU, M. C.: Predicting soil-water partition coefficients for Hg from soil properties. *Water Sciences and Technology*, 43 (2), 2001, pp. 187 – 196.
- [36] ROP, O. – KUPEC, J.: The effect of increasing doses of mercury and soil pH on the content of mercury in potatoes. In: *Book of Abstracts – Mezinárodní vědecká konference „Výživa rostlin v trvale udržitelném zemědělství – 4. – 5. 6. 2003“* Brno, MZLU, 2003, pp. 283 – 285.
- [37] GOTHBERG, A. – GREGER, M. – HOLM, K. – BENGTSSON, B. E.: Influence of nutrient levels on uptake and effects of mercury, cadmium and lead in water spinach. *Journal of Environmental Quality*, 33 (4), 2004, pp. 1247 – 1255.

- [38] TAYLOR, T. P. – DING, M. – EHLER, D. S. – FOREMAN, T. M. – KASZUBA, J. P. – SAUER, N. N.: Beryllium in the environment: A review. *Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 38 (2), 2003, pp. 439 – 469.
- [39] ROP, O.: Beryllium v půdě a rostlinách, *Zemědělské aktuality*, 5, 2000b, s. 28 – 29.
- [40] ESKENAZY, G. M. – VALCEA, S. P.: Geochemistry of beryllium in the Mariza – east lignite deposit (Bulgaria). *International Journal of Coal Geology*, 55 (1), 2003, pp. 47 – 58.
- [41] NEAL, C.: Dissolved and acid available particulate beryllium in eastern UK surface waters. *Science of the Total Environment*, 314, 2003, pp. 185 – 208.
- [42] LEDVINA, R. – KOLÁŘ, L.: Beryllium in soils and plants in imission – loaded regions. *Rostlinná výroba*, 43 (8), 1997, pp. 353 – 356.
- [43] ROP, O.: Obsah cizorodých prvků v rostlinách velmi raných odrůd brambor. *Disertační práce*. Brno, MZLU, 1999, 77 s.
- [44] RICHTER, R. – HLUŠEK, J.: *Výživa a hnojení rostlin*. Brno, MZLU, 1994, 177 s.
- [45] ROP, O.: Arsen v půdě a rostlinách. *Zemědělské aktuality*, 6, 2000a, s. 27 – 28.
- [46] GREENWOOD, N. N. – EARNSHAW, A.: *Chemie prvků*. Praha, Informatorium, 1993, 793 s.
- [47] VAUGHAN, D. J.: Arsenic. *Elements*, 2 (2), 2006, pp. 71 – 75.
- [48] SADIQ, M.: Arsenic chemistry in soils: An overview of thermodynamic prediction and field observations. *Water Air and Soil Pollution*, 1993 (1 – 4), 1997, pp. 117 – 136.
- [49] JIANG, W. – ZHANG, S. Z. – SHAN, X. Q. – FENG, M. H. – ZHU, Y. G. – MCLAREN, R. G.: Adsorption of arsenate on soils. Part 2: Modeling the relationship between adsorption capacity and soil physiochemical properties using 16 Chinese soils. *Environmental Pollution*, 138 (2), 2005, pp. 285 – 289.
- [50] SMITH, E. – NAIDU, R. – ALSTON, A. M.: Chemistry of inorganic arsenic in soils: II. Effect of phosphorus, sodium, and calcium on arsenic sorption. *Journal of Environmental Quality*, 31 (2), 2002, pp. 557 – 563.

- [51] BARRACHINA, A. C. – CARBONELL, F. B. – BENEYTO, J. M.: Arsenic uptake, distribution, and accumulation in tomato plants – effect of arsenite on plant growth and yield. *Journal of Plant Nutrition*, 18 (6), 1995, pp. 1237 – 1250.
- [52] NEUMANN, H. - BODE-KIRCHHOFF, A. – MADEHEIM, A. – WETZEL, A.: Toxicity testing of heavy metals with the Rhizobium legume symbiosis: High sensitivity to cadmium and arsenic compounds. *Environmental Science and Pollution Research*, 5 (1), 1998, pp. 28 – 36.
- [53] ROP, O.: Výskyt cizorodých prvků v půdách České republiky a možnosti jejich imobilizace. *Farmář*, 7 (6), 2001, s. 21 – 23.
- [54] ROBINSON, B. H. – BROOKS, B. H. – KIRKMAN, J. H. – GREGG, P. E. H. – GREMIGNI, P.: Plant – available elements in soils and their influence on the vegetation over ultramafic („serpentine“) rocks in New Zealand. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 26 (4), 1996, pp. 457 – 468.
- [55] ROP, O.: Výskyt cizorodých prvků v bramborách. *Farmář*, 8 (5), 2002, s. 26 – 28.
- [56] USMAN, A. – KUZYAKOV, Y. – STAHR, K.: Effect of clay minerals on immobilization of heavy metals and microbial activity in a sewage sludge – contaminated soil. *Journal of Soils and Sediments*, 5 (4), 2005, pp. 245 – 252.
- [57] BRALLIER, S. – HARRISON, R. B. – HENRY, C. L. – DONGSEN, X.: Liming effects on availability of Cd, Cu, Ni and Zn in a soil amended with sewage sludge 16 years previously. *Water Air and Soil Pollution*, 86 (1 – 4), 1996, pp. 195 – 206.
- [58] ROST, R. – KOČAR, M.: Atlas nerostů. Praha, SPN, 1964, 295 s.
- [59] ASHWORTH, D. J. – ALLOWAY, B. J.: Soil mobility of sewage sludge – derived dissolved organic matter, copper, nickel and zinc. *Environmental Pollution*, 127 (1), 2004, pp. 137 – 144.
- [60] ŠIMON, T.: The effect of increasing rates of nickel and arsenic on the growth of radish and soil microflora. *Rostlinná výroba*, 45 (9), 1999, pp. 421 – 430.
- [61] TSADILAS, C. D. – MATSI, T. – BARBAYIANNIS, N. - DIMOYIANNIS, D.: Influence of sewage – sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy – metal fraction. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26 (15 – 16), 1995, pp. 2603 – 2619.

- [62] ALEGRIA, A. – BARBERA, R. – BOLUDA, R. – ERRECALDE, F. – FARRE, R. - LAGARDA, M. J.: Environmental cadmium, lead and nickel contamination – possible relationship between soil and vegetable content. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 339 (9), 1991, pp. 654 – 657.
- [63] SADIQ, M. – HUSSAIN, G.: Effect of chelate fertilizers on dry – matter and metallic composition of bean – plants in a pot experiment. *Journal of Plant Nutrition*, 17 (9), 1994, pp. 1477 – 1488.
- [64] CIBULKA, J.: Vesmír – přírodovědecký časopis, 1996/7[online].Dostupný z WWW: < <http://www.vesmir.cz/clanek/cizorode-prvky-v-houbach> >.
- [65] KOVÁCS, M. – PODANI, J.: Bioindication: A short review on the use of plants as indicators of heavy metals. *Acta Biol.Hung.*, 37, 1986, 1: 19 – 31.
- [66] SEEGER, R.: Toxische Schwermetalle in Pilzen. *Dtsch.Apoth.Z.*, 1982, 122: 1835 – 1844.
- [67] KALAČ, P. – WITTINGEROVÁ, M. – STAŠKOVÁ, I. – ŠIMÁK, M. – ET AL.: Obsah rtuti, olova a kadmia v houbách. *Českoslov.Hyg.*, 34, 1989, 10: 568 – 576.
- [68] KRÁL, R. – KRYZOVÁ, L. – LIŠKA, J.: Těžké kovy v životním prostředí. *Vesmír*, 63, 1984, 10: 296 – 298.
- [69] SOVA, Z. – CIBULKA, J. – MIHOLOVÁ, D. – MADER, P. – ET AL.: Výskyt některých rizikových prvků v houbách. *Sborník VŠZ Praha AF, řada A – C*, 1990, 52: 3 – 8.
- [70] NEVOLE, J.: ústní sdělení, 1990.
- [71] VETTER, J.: Mineral element content of edible and poisonous macrofungi. *Acta Alim.*, 19, 1990, 1: 27 – 40.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Kropidlovec černavý (*Rhizopus nigricans*)

Obr. 2. Muchomůrka zelená (*Amantia phalloides*)

Obr. 3. Morfologická charakteristika stopkovýtrusých hub

Obr. 4. Morfologická stavba plodnic stopkovýtrusých hub

Obr. 5. Ruda olova

Obr. 6. Rtuť

Obr. 7. Ruda berylia

Obr. 8. Nikelin

Obr. 9. Hřib dubový (*Boletus aestivalis*)

Obr. 10. Bedla červenající (*Macrolepiota rhacodes*)

Obr. 11. Žampion polní (*Agaricus campestris*)