

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta zemědělská a technologická

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

České Budějovice

2022

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta zemědělská a technologická

Autoreferát disertační práce

Doktorand:	Mgr. Jan Vondruška
Studijní program:	Chemie
Studijní obor:	Zemědělská chemie
Název práce:	Obsah rizikových prvků v plodnicích hub s léčivými účinky
Školitel:	doc. RNDr. Jan Šíma, Ph.D.

Obsah	
Abstrakt	1
Abstract	3
1. Úvod	5
2. Literární část	5
2.1 Výzkum složení hub	5
2.2 Analytické metody ve stopové prvkové analýze hub .	7
3. Cíle práce	7
4. Experimentální část	8
4.1 Vzorky a jejich odběr	8
4.2 Pracovní postup a stanovení prvků	9
5. Výsledky a diskuze	12
5.1 Studie 1	12
5.2 Studie 2	16
5.3 Studie 3	17
6. Závěr	19
7. Literatura	22
8. Publikační výstupy	24

Abstrakt

Disertační práce se zabývá obsahem vybraných rizikových a esenciálních prvků v plodnicích hub s léčivými účinky. Studovanými druhy hub byly boltcovitka ucho Jidášovo (*Auricularia auricular-judae*), hřib žlučník (*Tylopilus felleus*), hlíva ústříčná (*Pleurotus ostreatus*), penízovka sametonohá (*Flammulina velutipes*), václavka smrková (*Armillaria ostoyae*) a hnojník obecný (*Coprinus comatus*). Vzorky byly sbírány z lokalit nalézajících se v jižních Čechách. Hlíva ústříčná byla pěstována na komerčně dodávaném substrátu.

Jednotlivé prvky byly stanovovány atomovou absorpční spektrometrií v režimu plamenové nebo elektrotermické atomizace a pomocí plamenové fotometrie. Bylo zjištěno, že volně rostoucí boltcovitka ucho Jidášovo je bohatým zdrojem Ca a Mg (2200 a 2080 mg kg⁻¹ sušiny) a hřib žlučník silně akumuluje Rb, Cd, Cu, Zn, Se a Mg (biokoncentrační faktory: 65,7; 2,47; 2,32; 1,93; 1,67 a 1,27). Jako další volně rostoucí houba byla studována penízovka sametonohá, která ve svých plodnicích obsahovala značné množství Ca, Fe, Mg, Mn a Zn (375, 112, 1200, 26, 98 mg kg⁻¹ sušiny). Pro václavku smrkovou byly stanoveny vysoké obsahy následujících prvků (v mg kg⁻¹ sušiny): Ag (5,6), Ca (149), Cu (29), Fe (186), Mg (1100), Mn (30) a Zn (40). Posledním studovaným volně rostoucím druhem byl hnojník obecný, který ve svých plodnicích silně akumuloval Ag, Cd, Cu, Se a Rb (biokoncentrační faktory: 12; 2,5; 2,3; 1,8 a 1,1). Koncentrace rizikových prvků v těchto houbách byly převážně nízké, nelze tudíž předpokládat negativní vliv na lidský organismus v

případě jejich využití jako potravinových doplňků nebo při jejich konzumaci. Na druhou stranu mohou být využity jako alternativní zdroj esenciálních prvků (zejména Zn a Se). V případě hlívy ústříčné byly provedeny experimenty s obohacením růstového substrátu zinkem a selenem. U zinku byl nárůst koncentrace v plodnicích zcela minimální a lze tedy usuzovat, že míra obohacení růstového substrátu nemá významný vliv na výsledný obsah Zn. U selenu byla situace s obohacením růstového substrátu zcela odlišná. Už při přidávku 1 mg Se (ve formě Na_2SeO_3) do bloku růstového substrátu o hmotnosti zhruba 2 kg došlo k nárůstu obsahu Se v sušině plodnic na 3 až 6 mg kg^{-1} , což představuje více než o jeden řád vyšší obsah ve srovnání s blokem substrátu, který nebyl selenem obohacen. V případě přidávku 5 mg Se došlo k dalšímu výraznému nárůstu koncentrace tohoto prvku na 40 až 60 mg kg^{-1} sušiny.

Klíčová slova: rizikové a esenciální prvky, houby s léčivými účinky, atomová absorpční spektrometrie, obohacování růstového substrátu

Abstract

This dissertation thesis is focused on determination of detrimental and essential elements in fruiting bodies of selected medicinal mushrooms. *Auricularia auricula-judae*, *Tylopilus felleus*, *Pleurotus ostreatus*, *Flammulina velutipes*, *Armillaria ostoyae* and *Coprinus comatus* were studied. Individual samples were collected from selected sites in South Bohemia. *Pleurotus ostreatus* was cultivated on the block of the substrate.

Individual elements were determined using atomic absorption spectrometry with the flame or electrothermal atomization and flame photometry. Wild growing *Auricularia auricula-judae* was a good source of Ca and Mg (2200 and 2080 mg kg⁻¹ dry matter) and *Tylopilus felleus* strongly accumulated Rb, Cd, Cu, Zn, Se and Mg (bioconcentration factors: 65.7; 2.47; 2.32; 1.93; 1.67 and 1.27). Another studied wild growing mushroom species was *Flammulina velutipes*; it was characterized with significant contents of Ca, Fe, Mg, Mn and Zn (375, 112, 1200, 26 and 98 mg kg⁻¹ dry matter). For *Armillaria ostoyae*, high contents of the following elements were determined (mg kg⁻¹ dry matter): Ag (5.6), Ca (149), Cu (29), Fe (186), Mg (1100), Mn (30) and Zn (40). The last wild growing species studied was *Coprinus comatus*. It strongly accumulated Ag, Cd, Cu, Se and Rb (bioconcentration factors: 12; 2.5; 2.3; 1.8 and 1.1). The concentrations of detrimental elements were generally rather low indicating no considerably negative effect on human health in the case of studied species consumed as a delicacy or used as food supplements. On the other hand, the mushroom species can be used as

an alternative source of essential elements (especially Zn and Se). An experiment with enrichment of the cultivation substrate with zinc and selenium was performed in the case of *Pleurotus ostreatus*. The increase in the zinc content in fruiting bodies was low, thus it can be concluded that the level of enrichment indicates no considerable effect on the final content of zinc in fruiting bodies. The bioconcentration of selenium was totally different. The addition of 1 mg of Se (in the form of Na_2SeO_3) into the cultivation substrate (cca 2 kg) increased the content of Se in fruiting bodies to about 3 – 6 mg kg^{-1} dry matter. This content was one order higher compared to the Se content in fruiting bodies harvested from the substrate with no Se addition. In the case of the addition of 5 mg of Se, there was a further significant increase in the content of this element to about 40 – 60 mg kg^{-1} dry matter.

Key words: risk and essential elements, medicinal mushrooms, atomic absorption spectrometry, enrichment of the cultivation substrate

1. Úvod

V posledních desetiletích byly prováděny rozsáhlé studie týkající se stopových prvků v jedlých houbách. Výzkumy byly zaměřené zejména na vyhledávání druhů, které dokáží hromadit vysoké koncentrace rizikových prvků. Bylo zjištěno, že některé volně rostoucí druhy hub ve svých plodnicích kumulují vysoké koncentrace Cd, Hg, Pb a Cu, což může být problémem v oblasti potravinářství.

Údajů o obsahu zdravotně škodlivých stopových prvků v jedlých houbách je poměrně velké množství, ale informace pro druhy hub s léčivými účinky (tzv. medicínální druhy) jsou neúplné a často zcela chybí.

Předmětem této disertační práce bude zmapování obsahů vybraných prvků v plodnicích volně rostoucích nebo pěstovaných hub s léčivými účinky. Vybrány byly následující druhy hub: hříb žlučník (*Tylophilus felleus*), boltcovitka ucho Jidášovo (*Auricularia auricula-judae*), hlíva ústříčná (*Pleurotus ostreatus*), václavka smrková (*Armillaria ostoyae*), hnojník obecný (*Coprinus comatus*) a penízovka sametonohá (*Flammulina velutipes*).

2. Literární část

2.1 Výzkum složení hub

Obsahy prvků v plodnicích volně rostoucích a pěstovaných hub

Sbírání volně rostoucích hub má v centrální Evropě velkou tradici. Češi jsou dokonce vnímáni jako národ houbařů. Šišák (2007) ve své práci uvádí, že průměrná česká domácnost za rok zkonsumuje

více jak 5,6 kg čerstvých hub. Některá data však naznačují, že existují i osoby, které zkonsumují i více jak 10 kg hub za rok.

První práce, které se zabývaly biokonzentrací esenciálních a rizikových prvků v plodnicích hub, vznikaly v 70. letech 20. století (Kalač, 2010). Jako jednu z průkopnických prací lze považovat studii profesorky Ruth Seeger, která byla zaměřena na problematiku kadmia v plodnicích hub (Seeger, 1978). Rozvoj těchto studií souvisel s rozšířením atomové absorpční spektrometrie (AAS) a hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP – MS) (Kalač, 2016).

Souhrnnou publikaci o minerálním složení jedlých hub sestavil Kalač (2019). V této publikaci se pojednává o obvyklých obsazích prvků v plodnicích pěstovaných a volně rostoucích jedlých hub. Z publikace je patrné, že obsahy prvků v plodnicích pěstovaných hub jsou nižší v porovnání s obsahy prvků stanovených v plodnicích volně rostoucích hub.

Odlišná je však situace s obohacováním růstových substrátů. Mezi nejčastěji obohacované druhy patří hlíva ústříčná (*Pleurotus ostreatus*), která je velmi často obohacována o zinek a selen. Zde autoři uvádějí různé míry obohacení, a tudíž i různé obsahy v plodnicích tohoto druhu, které budou diskutovány ve výsledkové části této práce (Vieira a kol., 2013) a (Da Silva a kol., 2012).

V souvislosti s minerálním složením hub je vhodné rozdělit prvky na esenciální, neesenciální a na prvky s možnými negativními účinky na lidské zdraví. Z tohoto hlediska lze rozdělit i prvky studované v této práci. Z esenciálních prvků byly stanovovány Ca,

Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Se a Zn, z neesenciálních Al, Cs, Li, Rb a Sr a z rizikových Ag, As, Be, Cd, Pb a Tl.

2.2 Analytické metody ve stopové prvkové analýze

hub

V rámci této disertační práce bylo pro stanovení prvků využito atomové absorpční a emisní spektrometrie. V souvislosti se stanovovanými prvky byly využívány tyto metody:

- AAS s plamenovou atomizací (F – AAS),
- AAS s elektrotermickou atomizací (ETA – AAS)
- plamenová fotometrie (F – AES)

Tyto metody byly využívány v závislosti na mezích stanovitelnosti jednotlivých prvků. Z analýz je patrné, že při AAS s plamenovou atomizací je možné v porovnání s plamenovou fotometrií dosáhnout nižších hodnot mezí stanovitelnosti. Výjimkou však jsou snadno excitovatelné prvky, u kterých je tato metoda výhodnější. Co se týká elektrotermické atomizace, tak zde je mez stanovitelnosti ještě nižší, a je tedy často využívána pro stanovení rizikových a esenciálních prvků, které se ve vzorcích nacházejí v nižší koncentraci.

3. Cíle práce

Cíle této disertační práce korespondují se třemi prováděnými studii. První studie se zabývá esenciálními a rizikovými prvky v plodnicích hříbu žlučníku, boltcovitky ucha Jidášova a hlívy

ústřičné. Druhá studie se zabývá esenciálními a rizikovými prvky v plodnicích václavky smrkové, hnojníku obecného a penízovky sametonohé. Třetí studie se zabývá obohacováním plodnic hlívy ústřičné zinkem a selenem. V prvních dvou studiích bylo cílem stanovení vybraných prvků ve vzorcích hub, následné zhodnocení a porovnání obsahů toxických a esenciálních prvků v plodnicích studovaných druhů hub. Ve třetí studii bylo cílem stanovení selenu a zinku v obohacených a neobohacených plodnicích a zjištění míry akumulace zmíněných prvků.

4. Experimentální část

4.1 Vzorky a jejich odběr

Sběr plodnic

Odběry vzorků hub, půd a růstových substrátů započaly na podzim roku 2017 a skončily na sklonku roku 2021. Konkrétně byly vzorky získávány následovně.

Na podzim roku 2017 byl započat sběr volně rostoucího hříbu žlučníku (*Tylopilus felleus*) a ucha Jidášova (*Auricularia auricula-judae*). Současně s tímto sběrem probíhalo pěstování hlívy ústřičné (*Pleurotus ostreatus*) z růstového substrátu. Trojice těchto druhů bude diskutována ve výsledkové části jako studie 1. Veškerá měření v souvislosti s touto studií proběhla v roce 2018.

V březnu roku 2019 byl založen obohacovací experiment s růstovým substrátem, ze kterého vyrůstaly plodnice hlívy ústřičné (*Pleurotus ostreatus*). Tento experiment byl dokončen na přelomu roku 2019 a 2020. Druhé provedení obohacovacího experimentu bylo

založeno v červnu roku 2021 a dokončeno v první třetině roku 2022. Toto druhé provedení bylo výrazně rozšířeno jak do počtu růstových bloku, tak do konečného počtu vzorků hub a růstových substrátů. Tyto obohacovací experimenty budou ve výsledkové části uvedeny ve studii 3.

Období podzimu 2019 až zimy 2020 bylo věnováno sběru volně rostoucí václavky smrkové (*Armillaria ostoyae*), penízovky sametonohé (*Flammulina velutipes*) a hnojníku obecného (*Coprinus comatus*). Veškerá měření, která se týkala těchto druhů, byla provedena v roce 2020 a jsou ve výsledkové části uvedena jako studie 2.

4.2 Pracovní postup a stanovení prvků

Stanovení obsahů prvků bylo prováděno ve vzorcích hub, půd a růstových substrátů, které byly prostřednictvím mikrovlnného rozkladu převedeny do formy homogenního roztoku v kyselině dusičné.

Plodnice, které byly sbírané ve volné přírodě – boltcovitka ucho Jidášovo (*Auricularia auricula-judae*), hřib žlučník (*Tylopilus felleus*), penízovka sametonohá (*Flammulina velutipes*), václavka smrková (*Armillaria ostoyae*) a hnojník obecný (*Coprinus comatus*), byly vždy pečlivě očištěny a přepraveny do laboratoře. Zde byly plodnice nakrájeny na tenké plátky za pomoci keramického nože a následně byly rozloženy na filtrační papír a připraveny k sušení za laboratorní teploty.

Pěstované plodnice hlívy ústříčné (*Pleurotus ostreatus*) byly sklizeny tehdy, když byl okraj klobouku plodnice mírně sklenutý a

tmavě šedý. Plodnice vyrůstaly z předem připravených otvorů v růstovém bloku. Sklizeň probíhala vykroucením celého trsu z tohoto růstového bloku. Plodnice bylo možné sklídit celkem ve třech vlnách. Nakrájení a sušení plodnic probíhalo stejně jako u volně rostoucích plodnic.

Současně se vzorky plodnic byly také odebírány a následně zpracovávány vzorky půd a růstových substrátů. Vzorky půd byly odebírané pod plodnicemi hříbu žlučníku (*Tylophilus felleus*) a pod plodnicemi hnojníku obecného (*Coprinus comatus*) z hloubky 10 cm tak, aby bylo možné stanovit biokoncentrační faktory (BCF). Tyto faktory se vyjadřují jako poměr obsahu prvku v plodnici k jeho obsahu v půdě, kdy obsahy jsou vztaženy na sušinu (Kalač, 2016). Vzorky růstových substrátů byly odebírány z bloků, ze kterých rostla hlíva ústříčná (*Pleurotus ostreatus*), po jejich zhomogenizování. Vzorky půd a růstových substrátů byly sušeny za laboratorní teploty. Po usušení vzorků půd následovala homogenizace pomocí třecí misky s tloučkem a poté byly vzorky prosáté přes síto s velikostí ok 0,5 mm. Takto připravený vzorek půd byl přichystán k dalšímu zpracování.

Plodnice volně rostoucích a pěstovaných hub a růstové substráty byly po usušení rozdrceny za pomoci laboratorního mlýnu. Následně byly tyto vzorky uloženy do plastových prachovnic a připraveny k dalšímu zpracování.

Při dalším zpracování bylo přesně naváženo zhruba 0,5 g vzorku. K této navážce byla přidána koncentrovaná kyselina dusičná (10 ml) a směs byla podrobena mikrovlnnému rozkladu. Po rozkladu byly vzorky doplněny na objem 50 ml a následně uchovány v lednici.

Stanovení jednotlivých analytů bylo prováděno za pomoci atomového absorpčního spektrometru. V režimu plamenové AAS byly stanoveny následující prvky: Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Zn, v režimu emise Cs, Li, Rb a Sr. Plamen N_2O/C_2H_2 byl využit při stanovení Ca a Sr, pro stanovení ostatních prvků byl použit plamen vzduch/ C_2H_2 . Délka hořáku byla pro všechny zmíněné prvky 5 cm. Pro korekci nespecifické absorpce pozadí byla využita deuteriová výbojka.

V režimu elektrotermické atomizace byly stanoveny následující prvky: Ag, Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Se a Tl. Vyhodnocována byla vždy plocha píku daného signálu. Objem vzorku dávkovaného do kyvety byl 20 μL (s výjimkou stanovení Al, Cd, Cr a Ag – zde bylo dávkováno 10 μL). Při stanovení As a Se bylo do kyvety dávkováno také 10 μL modifikátoru matrice (roztok Pd, 1,0 g L^{-1}). V režimu elektrotermické atomizace byla nespecifická absorpce pozadí korigována pomocí Zeemanova jevu (štěpení spektrální linie v magnetickém poli).

Všechny analytické metody byly optimalizovány a validovány. Meze stanovitelnosti pro jednotlivé prvky byly následující: 0,02 (Ag), 0,17 (Al), 0,06 (As), 0,005 (Be), 4,44 (Ca), 0,02 (Cd), 0,02 (Co), 0,03 (Cr), 0,14 (Cs), 5,11 (Cu), 6,67 (Fe), 0,08 (Li), 7,36 (Mg), 3,21 (Mn), 0,11 (Ni), 0,05 (Pb), 0,16 (Rb), 0,12 (Se), 0,23 (Sr), 0,10 (Tl) a 1,21 (Zn) $mg \cdot kg^{-1}$ sušiny.

5. Výsledky a diskuze

5.1 Studie 1

První studie byla zaměřená na rizikové a esenciální prvky v plodnicích boltcovitky ucha Jidášova, hlívy ústříčné a hříbu žlučníku.

V rámci této studie bylo proměřeno celkem 50 vzorků hub a půd. Konkrétně bylo analyzováno 12 vzorků plodnic boltcovitky ucha Jidášova, 12 vzorků plodnic hlívy ústříčné, 13 vzorků plodnic hříbu žlučníku a 13 vzorků půd odebraných pod plodnicemi hříbu žlučníku.

Shrnutí

Obsahy prvků v plodnicích hub byly značně závislé na druhu studované houby. Ekologická strategie druhů hub (mykorhizní vs. parazitické) výrazně ovlivňuje akumulaci a obsah prvků v plodnicích.

V porovnání s oběma volně rostoucími druhy hub byly obsahy prvků v pěstované hlívě ústříčné (*Pleurotus ostreatus*) výrazně nižší.

Hřib žlučník (*Tylopilus felleus*) silně akumuloval Rb (BCF = 65,7), Cd (2,47), Cu (2,32), Zn (1,93), Se (1,67) a Mg (1,28). Tato skutečnost koresponduje s akumulací prvků v ostatních družích čeledi *Boletaceae*.

Boltcovitka ucho Jidášovo (*Auricularia auricula-judae*) může být podávána jako vhodný zdroj Ca a Mg. Obsahy Ca (2200 mg kg⁻¹ sušiny) a Mg (2080 mg kg⁻¹ sušiny) byly pro tento druh značně vysoké. Vzhledem k tomu, že ucho Jidášovo roste poměrně dlouhou

dobu na dřevě, nelze vyloučit nárůst obsahů prvků v důsledku atmosférických depozic. Nicméně obsahy rizikových prvků jako je As, Cd a Pb (0,21, 0,35 a 0,12 mg kg⁻¹ sušiny) byly nízké.

Průměrné obsahy prvků či biokoncentrační faktory (\bar{x}), směrodatné odchylky (s) a rozmezí ($x_{\min} - x_{\max}$) hodnot jsou shrnuty v tabulkách níže

Tabulka 1. Obsahy vybraných prvků (mg kg⁻¹ sušiny) v plodnicích hlívy ústříčné (*Pleurotus ostreatus*)

prvek	\bar{x}	s	$x_{\min} - x_{\max}$
As	0,12	0,06	0,05 – 0,22
Ca	46,1	26,5	4,50 – 79,0
Cd	0,70	0,17	0,36 – 0,94
Fe	43,9	10,4	24,3 – 64,7
Mg	766	138	567 – 953
Pb	<0,05	–	–
Zn	27,5	4,30	21,9 – 36,5

Tabulka 2. Biokoncentrační faktory vybraných prvků určené pro hřib žlučník (*Tylophilus felleus*)

prvek	\bar{x}	s
As	0,13	0,24
Cd	2,47	1,74
Cu	2,32	0,83
Mg	1,28	0,40
Pb	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Rb	65,7	23,5
Se	1,67	1,24
Zn	1,93	0,64

Tabulka 3. Obsahy vybraných prvků (mg kg⁻¹ sušiny) v plodnicích boltcovitky ucha Jidášova (*Auricularia auricula-judae*)

prvek	\bar{x}	s	$x_{\min} - x_{\max}$
As	0,21	0,32	0,06 – 1,15
Ca	$2,20 \cdot 10^3$	$1,44 \cdot 10^3$	$(0,53 - 4,98) \cdot 10^3$
Cd	0,35	0,14	0,12 – 0,64
Fe	63,1	54,6	21,3 – 221
Li	0,30	0,15	0,11 – 0,62
Mg	$2,08 \cdot 10^3$	$0,92 \cdot 10^3$	$(0,92 - 3,72) \cdot 10^3$
Pb	0,12	0,06	0,06 – 0,29
Zn	17,9	3,80	11,7 – 25,1

Porovnání s dříve publikovanými studii

Výsledky pro hlívu ústřičnou je možné porovnat s prací Rashid a kol. (2018), kde autoři uvádějí obsahy následujících prvků (vše v mg kg⁻¹ sušiny): Zn (50,2), As (0,45) a Cd (0,41). V případě hříbu žlučníku je patrná vysoká míra akumulace Rb, kterou zmiňují ve své práci Svoboda a Chrastný (2008). Výsledky pro boltcovitku ucho Jidášovo lze porovnat s prací Mleczek a kol. (2018), kde autoři uvádějí velmi podobné obsahy pro Fe (58 mg kg⁻¹ sušiny).

5.2 Studie 2

Druhá studie byla zaměřena na rizikové a esenciální prvky v plodnicích václavky smrkové, penízovky sametonohé a hnojníku obecného.

V rámci této studie bylo proměřeno celkem 58 vzorků hub a půd. Konkrétně bylo analyzováno 10 vzorků plodnic václavky smrkové, 11 vzorků plodnic penízovky sametonohé a 19 vzorků plodnic hnojníku obecného. Současně byly analyzovány vzorky půd odebraných pod posledně jmenovaným druhem.

Shrnutí

Plodnice penízovky sametonohé (*Flammulina velutipes*) a václavky smrkové (*Armillaria ostoyae*) vykazují nižší obsahy většiny stanovovaných prvků (s výjimkou Ag u václavky smrkové 5,62 mg kg⁻¹ sušiny) v porovnání s plodnicemi hnojníku obecného (*Coprinus comatus*). Tento fakt souvisí s tím, že penízovka sametonohá a václavka smrková jsou druhy hub rostoucí na dřevě. Hnojník obecný vykazoval vysokou míru akumulace Ag, Cd, Cu, Se a Rb s biokoncentračními faktory: 12; 2,5; 2,3; 1,8 a 1,1.

Obsahy rizikových prvků (Be, Cd, Pb a Tl) byly v plodnicích těchto druhů velmi nízké a nepředstavují negativní vliv na lidské zdraví. Naopak zmíněné druhy hub mohou být dobrými zdroji Mg a Zn pro lidský organismus. Rovněž se nabízí možnost jejich využití v alternativní medicíně ve formě kapslí či potravinových doplňků.

Průměrné biokoncentrační faktory (\bar{x}) a směrodatné odchylky (s) jsou shrnuty v tabulce 4.

Tabulka 4. Biokoncentrační faktory vybraných prvků určené pro hnojník obecný (*Coprinus comatus*)

prvek	\bar{x}	s
Ag	12,0	8,0
As	0,09	0,04
Cd	2,50	1,20
Cu	2,30	0,70
Pb	0,02	0,01
Rb	1,10	0,50
Se	1,80	1,00

Porovnání s dříve publikovanými studii

Značnou míru akumulace Ag a Cd v hnojníku obecném lze porovnat s prací Falandysz a kol. (1994), kde byl pro Ag stanoven obsah 0,89 mg kg⁻¹ sušiny a s prací Cocchi a kol. (2006), kde byl pro Cd stanoven obsah 1,5 mg kg⁻¹ sušiny. V naší práci byly pro Ag a Cd stanoveny obsahy 1,13 a 1,73 mg kg⁻¹ sušiny.

5.3 Studie 3

V této studii jsme se zaměřili na obohacování růstového substrátu, ze kterého poté rostly plodnice hlívy ústříčné. Růstový substrát byl obohacen o selen a zinek.

V průběhu studie bylo proměřeno celkem 647 vzorků hub a růstových substrátů. Obohacovací experiment byl proveden ve dvou opakováních. V prvním provedení experimentu bylo proměřeno 174 vzorků plodnic a 30 vzorků růstového substrátu. Ve druhém provedení experimentu bylo proměřeno 389 vzorků plodnic a 54 vzorků růstového substrátu.

Shrnutí

Na základě provedené studie lze konstatovat, že v případě obohacování růstového substrátu zinkem, je výsledný obohacovací efekt v plodnicích minimální. Na doplnění tohoto faktu jsou níže uvedené přepočty celkového zinku, který přešel do plodnic (k přídatku Zn je přičten obsah zinku v počátečním růstovém substrátu).

vzorek 1 – celkem k dispozici 12 mg → do plodnic přešlo 2,46 mg
vzorek 2 – celkem k dispozici 52 mg → do plodnic přešlo 3,40 mg
vzorek 3 – celkem k dispozici 102 mg → do plodnic přešlo 2,67 mg
vzorek 5 – celkem k dispozici 52 mg → do plodnic přešlo 3,83 mg
vzorek 6 – celkem k dispozici 52 mg → do plodnic přešlo 3,77 mg.

V případě selenu byla situace s obohacováním růstového substrátu zcela odlišná. Obohacovací efekt byl pro jednotlivé vzorky výrazný.

vzorek 1 – celkem k dispozici 1 mg → do plodnic přešlo 0,21 mg
vzorek 2 – celkem k dispozici 5 mg → do plodnic přešlo 2,54 mg
vzorek 3 – celkem k dispozici 10 mg → do plodnic přešlo 1,99 mg
vzorek 4 – celkem k dispozici 5 mg → do plodnic přešlo 2,14 mg.

Porovnání s dříve publikovanými studii

Výsledný minimální efekt obohacení zinkem lze porovnat s prací Vieira a kol. (2013), kde autoři konstatují, že obohacení nemá vliv na výsledný obsah zinku v plodnicích. V případě selenu je možné se odkázat na práci Da Silva a kol. (2012), kde autoři dospěli k závěru, že nejnižší míra obohacení ($3,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Se}$, srovnatelné s naším vzorkem 1) vedla k tomu, že takto obohacené plodnice poskytují dostatečné množství selenu k zajištění denního příjmu selenu pro dospělou osobu.

6. Závěr

Závěrem lze konstatovat, že obsahy prvků v plodnicích hub jsou značně závislé na druhu sledované houby a dále pak na ekologické strategii studovaných druhů (mykorhizní vs. parazitické), která výrazně ovlivňuje akumulaci a obsah prvků v jednotlivých plodnicích.

V rámci první studie této disertační práce bylo zjištěno, že obsahy jednotlivých prvků v plodnicích pěstované hlívy ústříčné (*Pleurotus ostreatus*) byly výrazně nižší ve srovnání s volně rostoucími druhy.

Hřib žlučník (*Tylopilus felleus*) silně akumuloval Rb (65,7), Cd (2,47), Cu (2,32), Zn (1,93), Se (1,67) a Mg (1,28) (v závorkách jsou uvedeny příslušné biokoncentrační faktory).

Boltcovitka ucho Jidášovo (*Auricularia auricula-judae*) může být podávána jako vhodný zdroj Ca a Mg. Obsahy těchto prvků v plodnicích byly 2200 a 2080 mg kg^{-1} sušiny. Vzhledem k tomu, že

ucho Jidášovo roste poměrně dlouhou dobu na dřevě, nelze vyloučit nárůst obsahů prvků v důsledku atmosférických depozic. Oproti tomu obsahy rizikových prvků jako je As, Cd a Pb (0,21, 0,35 a 0,12 mg kg⁻¹ sušiny) byly nízké.

Plodnice penízovky sametonohé (*Flammulina velutipes*) a václavky smrkové (*Armillaria ostoyae*) vykazovaly nižší obsahy většiny stanovených prvků (s výjimkou Ag u václavky smrkové - 5,62 mg kg⁻¹ sušiny) ve srovnání s plodnicemi hnojníku obecného (*Coprinus comatus*). Tento fakt souvisí se skutečností, že penízovka sametonohá a václavka smrková jsou druhy hub rostoucí na dřevě. Hnojník obecný vykazoval vysokou míru akumulace Ag, Cd, Cu, Se a Rb s biokoncentračními faktory: 12; 2,5; 2,3; 1,8 a 1,1. Obsahy rizikových prvků (Be, Cd, Pb a Tl) byly v plodnicích těchto druhů nízké a nepředstavují negativní vliv na lidský organismus. Zmíněné druhy mohou být naopak dobrými zdroji Mg a Zn. Rovněž mohou být využity v alternativní medicíně ve formě kapslí či jiných potravinových doplňků.

V rámci obohacování růstového substrátu hlívy ústříčné (*Pleurotus ostreatus*) bylo zjištěno, že v případě přidavku zinku je výsledný efekt obohacení plodnic tímto prvkem minimální. V případě selenu však byla situace s obohacováním růstového substrátu zcela odlišná. Obohacovací efekt byl pro jednotlivé vzorky jednoznačně patrný.

Z výsledků získaných pro selen je dále patrné, že už při přidavku 1 mg Se (ve formě Na₂SeO₃) do bloku růstového substrátu o hmotnosti zhruba 2 kg došlo k nárůstu obsahu Se v sušině plodnic na

3 až 6 mg kg⁻¹, což představuje více než o jeden řád vyšší obsah ve srovnání s blokem substrátu, který nebyl selenem obohacen. V případě přidavku 5 mg Se došlo k dalšímu výraznému nárůstu koncentrace tohoto prvku na 40 až 60 mg kg⁻¹ sušiny.

7. Literatura

Cocchi L., Vescovi L., Petrini L. E., Petrini O. Heavy metals in edible mushrooms in Italy. *Food Chem.* 2006; 98: 277 – 284.

Da Silva M. C. S., Naozuka J., Da Luz J. M. R., De Assunção L. S., Oliveira P. V., Vanetti M. C. D., Bazzolli D. M. S., Kasuya M. C. M. Enrichment of *Pleurotus ostreatus* mushrooms with selenium in coffee husks. *Food Chem.* 2012; 131: 558 – 563.

Falandysz J., Bona H., Danisiewicz D. Silver content of wild grown mushrooms from Northern Poland. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 1994; 199: 222 – 224.

Kalač P. *Edible Mushrooms. Chemical Composition and Nutritional Value.* Oxford: Elsevier/Academic Press, 2016.

Kalač P. *Mineral composition and radioactivity of edible mushrooms.* London, UK: Elsevier/Academic Press, 2019.

Kalač P. Trace element contents in European species of wild growing edible mushrooms: A review for the period 2000–2009. *Food Chem.* 2010; 122: 2 – 15.

Mleczek M, Rzymiski P, Budka A, Siwulski M, Jasińska A, Kalač P, Poniedziałek B, Gąsecka M, Niedzielski P. Elemental characteristics of mushroom species cultivated in China and Poland. *J. Food Compos. Anal.* 2018; 66: 168 – 178.

Rashid M. H., Rahman M. M., Correll R., Naidu R. Arsenic and other elemental concentrations in mushrooms from Bangladesh: Health risks. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2018; 15: 1 – 18.

Seeger R. Cadmium in mushrooms. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 1978 166, 23 – 24.

Svoboda L., Chrástný V. Levels of eight trace elements in edible mushrooms from a rural area. *Food Addit. Contam.* 2008; 25: 51 – 58.

Šišák L. The importance of mushroom picking as compared to forest berries in the Czech Republic. *Mykologický Sborník.* 2007; 84: 78 – 83.

Vieira P. A. F., Gontijo D. C., Vieira B. C., Fontes E. A. F., de Assunção L. S., Leite J. P. V., Oliveira M. G. A., Kasuya M. C. M. Antioxidant activities, total phenolic and metal contents in *Pleurotus ostreatus* mushrooms enriched with iron, zinc or lithium. *LWT – Food Sci. Technol.* 2013; 54: 421 – 425.

8. Publikační výstupy

Publikace v časopisech s impaktním faktorem přímo související s disertační prací

Vondruška J., Šíma J., Kobera M., Šeda M., Svoboda L. Determination of Detrimental and Essential Elements in Medicinal Mushrooms *Tylophilus felleus*, *Auricularia auricula-judae*, and *Pleurotus ostreatus* (Agaricomycetes). Int. J. Med. Mushrooms. 2022; 24: 85 – 95.

Vondruška J., Šíma J., Kobera M., Rokos L., Šeda M., Svoboda L. Detrimental and essential elements in fruiting bodies of wild-growing fungi *Coprinus comatus*, *Flammulina velutipes*, and *Armillaria ostoyae*. J. Environ. Sci. Health Part B. 2022; 57: 243 – 251.

Publikace v časopisech s impaktním faktorem nepřímo související s disertační prací

Šíma, J., Vondruška, J., Svoboda, L., Šeda, M., Rokos, L. The accumulation of risk and essential elements in edible mushrooms *Chlorophyllum rhacodes*, *Suillus grevillei*, *Imleria badia*, and *Xerocomellus chrysenteron* growing in the Czech Republic. Chem. Biodiversity. 2019; 16: 1 – 11.

Šíma, J., Kobera, M., Šeda, M., Rokos, L., Vondruška, J., Krejsa, J., Svoboda, L., The three-year monitoring of 18 elements in five edible mushroom species collected from an old orchard. J. Environ. Sci. Health Part B. 2020; 55: 319 – 328.

Publikace nesouvisející s disertační prací v databázi Scopus

Šeda, M., Šíma, J., Volavka, T., Vondruška, J. Contamination of soils with Cu, Na and Hg due to the highway and railway transport. Eurasian J. Soil Sci. 2017; 6: 59 – 64.

Přednáška na konferenci

Vondruška J. Těžké kovy v jedlých houbách. 2019. Společenství praxe – platforma pro rozvoj klíčových kompetencí Eduforum, reg. č. CZ.02.3.68/0.0/0.0/16_011/0000659, 2017 – 2019, OP VVV EU, MŠMT.