

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta zemědělská a technologická
Katedra aplikované chemie

Autoreferát disertační práce

České Budějovice
2024

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta zemědělská a technologická
Katedra aplikované chemie

Autoreferát disertační práce

Vypracoval: Mgr. Jiří Krejsa
Studijní program: Chemie
Studijní obor: Zemědělská chemie
Název práce: Vybrané rizikové a esenciální
prvky v plodnicích hub rostoucích
v NP a CHKO Šumava
Vedoucí práce: doc. RNDr. Jan Šíma, Ph.D.

Abstrakt

V této práci bylo stanovováno 19 rizikových a esenciálních prvků (Ag, Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Se, Tl, Zn) v plodnicích devíti druhů volně rostoucích hub. Studovanými houbami byly hřib smrkový (*Boletus edulis*), muchomůrka růžovka (*Amanita rubescens*), bedla vysoká (*Macrolepiota procera*), liška obecná (*Cantharellus cibarius*), hřib kovář (*Sutorius luridiformis*), pýchavka obecná (*Lycoperdon perlatum*), holubinka nazelenalá (*Russula virescens*), penízovka sametonohá (*Flammulina velutipes*) a muchomůrka červená (*Amanita muscaria*). Vzorčky byly odebírány na pěti vybraných lokalitách, které se nachází v Národním parku a Chráněné krajinné oblasti Šumava. Přímo pod plodnicemi byly odebírány vzorky půd a následně byly stanoveny biokoncentrační faktory (BCF, poměr obsahu prvku v plodnici ku obsahu v půdě). Obsahy prvků v plodnicích hub a biokoncentrační faktory byly značně druhově závislé. V plodnicích hub byla obecně pozorována nejvýraznější akumulace Cd, Rb, Ag, Cu, Se a Zn. V případě hříbu smrkového byly

akumulovány prvky: Ag (BCF = 31), Se (25), Cd (18), Rb (13), Cu (3,9) a Zn (2,6). Plodnice muchomůrky růžovky akumulovaly Cd (41), Rb (27), Ag (4,8), Cu (3,3), Zn (2,1) a As (1,4). Obsahy rizikových prvků v plodnicích jedlých hub by neměly představovat riziko pro lidské zdraví, pokud jsou volně rostoucí houby konzumovány příležitostně.

Klíčová slova

Atomová absorpční spektrometrie, houby s léčivými účinky, mikrovlnný rozklad, volně rostoucí jedlé houby.

Abstract

The contents of 19 risk and essential elements (Ag, Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Se, Tl, Zn) were determined in fruiting bodies of nine wild-growing macrofungi species. *Boletus edulis*, *Amanita rubescens*, *Macrolepiota procera*, *Cantharellus cibarius*, *Sutorius luridiformis*, *Lycoperdon perlatum*, *Russula virescens*, *Flammulina velutipes* and *Amanita muscaria* were studied in this thesis. Samples were taken from five selected sites located in the Bohemian Forest National Park and Landscape Protected Area. Samples of soils were taken right under the fruiting bodies and bioconcentration factors (BCF, ratios of the element content in dry matter of the mushroom to the content in the soil) were determined afterwards. The contents of the elements as well as bioconcentration factors were significantly species dependent. In general, the analysis revealed the most intensive accumulation of Cd, Rb, Ag, Cu, Se, and Zn in the studied mushrooms. Following elements were accumulated in fruiting bodies of *Boletus edulis*: Ag (BCF = 31), Se (25), Cd (18), Rb (13), Cu (3.9),

and Zn (2.6). *Amanita rubescens* accumulated Cd (41), Rb (27), Ag (4.8), Cu (3.3), Zn (2.1), and As (1.4). The contents of detrimental elements in sporocarps of edible mushrooms should cause no harm to human health if the fungi are consumed occasionally.

Keywords

Atomic absorption spectrometry, medicinal mushrooms, microwave digestion, wild growing edible mushrooms.

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Literární rešerše.....	12
3 Metodika.....	14
3.1 Odběr a úprava vzorků	14
3.2 Vlastní měření	16
4 Výsledky a diskuse.....	18
4.1 Hřib smrkový.....	18
4.2 Muchomůrka růžovka	20
4.3 Bedla vysoká	22
4.4 Liška obecná.....	24
5 Závěr.....	26
6 Seznam použité literatury.....	28
7 Publikační výstupy	32

1 Úvod

Tato práce se zabývá stanovením obsahu vybraných prvků (Ag, Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Se, Tl, Zn) v plodnicích volně rostoucích hub. Studovanými druhy jsou hřib smrkový (*Boletus edulis*), muchomůrka růžovka (*Amanita rubescens*), bedla vysoká (*Macrolepiota procera*), liška obecná (*Cantharellus cibarius*), hřib kovář (*Sutorius luridiformis*), pýchavka obecná (*Lycoperdon perlatum*), holubinka nazelenalá (*Russula virescens*), penízovka sametonohá (*Flammulina velutipes*) a muchomůrka červená (*Amanita muscaria*). Současně s houbami byly odebírány vzorky půd kvůli následnému určení biokoncentračních faktorů (BCF). Biokoncentrační faktor je vyjádřen jako poměr obsahu prvku v plodnici houby ku obsahu v půdě.

Odběr vzorků probíhal od září 2020 do října 2022. Vzorky hub a půd byly odebírány ve smíšených lesích na pěti vybraných lokalitách na Šumavě. Lokality Březová Lada a Stožec se nacházejí na území Národního parku

Šumava, zatímco Vimperk, Volary a Olšina spadají do Chráněné krajinné oblasti.

Cílem této disertační práce je stanovení vybraných devatenácti rizikových a esenciálních prvků v plodnicích studovaných hub a ve vzorcích půd, které byly odebírány přímo pod plodnicemi. Dalším cílem je určení biokoncentračních faktorů a vyhodnocení schopnosti daných druhů hub akumulovat chemické prvky. Předpokladem je, že obsahy prvků v plodnicích hub budou značně druhově a prvkově závislé. Některé druhy hub mohou přednostně akumulovat prvky s pozitivními účinky na lidský organismus (např. Se, Zn) a jiné naopak rizikové či toxické prvky (např. Cd, Pb, As).

2 Literární rešerše

První údaje o chemickém složení hub jsou více než století staré (Zellner, 1907). V souvislosti s rozvojem analytických metod (AAS, ICP-OES, ICP-MS) se však většina studií začala objevovat zejména po roce 1970 (Kalač, 2016). Na akumulaci prvků v plodnicích hub má vliv řada faktorů. Mezi hlavní faktory se řadí: složení substrátu, kontaminace prostředí a strategie života houby (saprotrofie, ektomykorhiza). Bioakumulace je zároveň vysoce druhově a prvkově specifická (Falandysz a Borovička, 2013). Zhang et al. (2010) uvádí, že rozdílné povětrnostní podmínky během let a biologické vlivy spojené s myceliem mohou v plodnicích volně rostoucích hub vést ke kolísání obsahů některých prvků.

Řada prvků není v různých částech plodnic hub zastoupena rovnoměrně. Nejvyšší obsahy jsou často pozorovány v hymenoforu, dále pak ve hmotě klobouku a nejnižší ve třeni. U některých prvků jsou naopak obsahy vyšší ve třeni než v klobouku (Kalač, 2019).

Pomocí biokoncentračního faktoru (BCF) lze vyjádřit schopnost houby akumulovat určitý prvek. BCF

se vypočítá jako poměr obsahu prvku v sušině plodnice a obsahu v sušině substrátu (Kalač, 2008). V houbách mohou BCF některých prvků dosahovat relativně vysokých hodnot. Mleczek et al. (2013) stanovili vysoké BCF pro Cd, Cu, Hg, Sr a Zn v plodnicích hříbu smrkového (*Boletus edulis*), hříbu hnědého (*Xerocomus badius*), křemenáče osikového (*Leccinum aurantiacum*), klouzku obecného (*Suillus luteus*), lišky obecné (*Cantharellus cibarius*) a ryzce pravého (*Lactarius deliciosus*). Například v plodnicích křemenáče osikového určili průměrnou hodnotu BCF pro Cd 9,8 (nejvýše až 19,7) a pro Hg 150,4 (nejvýše až 224,7).

3 Metodika

3.1 Odběr a úprava vzorků

Odběr vzorků probíhal od září 2020 do října 2022 z pěti lokalit na Šumavě. Lokality Březová Lada a Stožec se nacházejí na území Národního parku Šumava, zatímco Vimperk, Volary a Olšina spadají do Chráněné krajinné oblasti. Celkem bylo získáno 206 plodnic studovaných druhů hub, z toho bylo 28 vzorků hříbu smrkového, 13 hříbu kováře, 43 lišky obecné, 20 bedly vysoké, 52 muchomůrky růžovky, 5 holubinky nazelenalé, 12 pýchavky obecné, 11 penízovky sametonohé a 22 muchomůrky červené.

Plodnice hub byly důkladně očištěny, nakrájeny na tenké plátky keramickým nožem a poté sušeny při laboratorní teplotě po dobu jednoho týdne. Usušené plodnice (klobouk i třeň dohromady) byly následně rozemlety pomocí laboratorního mlýnu VIPO. Rozemleté vzorky hub byly pak převedeny do roztoku pomocí mikrovlnného rozkladu. Do teflonových nádobek bylo naváženo na analytických vahách přesně kolem 0,5 g

vzorku a přidáno 10 ml koncentrované HNO_3 . K mikrovlnnému rozkladu byl použit mikrovlnný mineralizátor Mars 5. Rozložené vzorky hub pak byly kvantitativně převedeny do odměrných baněk o objemu 50 ml a demineralizovanou vodou doplněny po rysku. Takto připravené roztoky byly následně uchovávány v plastových nádobkách v lednici.

Přímo pod plodnicemi hub byla odebírána vrchní vrstva půdy do hloubky 10 cm. Vzorky půd byly taktéž sušeny při laboratorní teplotě. Následně byly v porcelánové třecí misce homogenizovány a prosívány přes laboratorní síto s velikostí ok 0,5 mm. Proseté vzorky půd byly poté převedeny do roztoku totožným způsobem jako vzorky hub. Rozložené vzorky půd byly kvantitativně převedeny do odměrných baněk o objemu 50 ml, demineralizovanou vodou doplněny po rysku a za sníženého tlaku filtrovány pomocí aparatury Millipore S. A. K filtraci byly použity membránové filtry ze skleněných vláken s velikostí pórů 1,2 μm . Takto upravené vzorky půd byly uchovávány v lednici v plastových nádobkách.

3.2 Vlastní měření

K měření byl použit atomový absorpční spektrometr Thermo Scientific iCE 3500. Stanovení Ca, Cu, Fe, Mg, Mn a Zn probíhalo pomocí atomové absorpční spektrometrie s plamenovou atomizací, při určení obsahů Li a Rb spektrometr pracoval v režimu emise (plamenové fotometrie). V případě Ca byla pro realizaci plamene použita směs oxid dusný a acetylen (N_2O/C_2H_2), ve všech ostatních případech byl oxidantem vzduch. Hořák měl délku 5 cm a pro měření v plamenu (F-AAS) byla využita deuteriová korekce nespecifické absorpce pozadí.

Pro stanovení obsahů Ag, Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Pb, Ni, Se a Tl spektrometr pracoval v režimu atomové absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací. K vyhodnocení signálu byly využívány plochy píků. Do atomizátoru byl dávkován objem vzorku 20 μ l, v případě Ag, Al, Cd a Cr bylo dávkováno 10 μ l vzorku. Při stanovení obsahů As a Se bylo současně se vzorkem aplikováno 10 μ l modifikátoru matrice, kterým byl roztok Pd o koncentraci 1 g/l. Analýza v režimu elektrotermické atomizace probíhala za použití Zeemanovy korekce

nespecifické absorpce pozadí. Měření všech vzorků bylo realizováno ve třech opakováních.

Všechny použité metody byly validovány a optimalizovány. Meze stanovitelnosti jednotlivých prvků byly následovné: 0,01 (Ag), 0,22 (Al), 0,05 (As), 0,005 (Be), 3,00 (Ca), 0,04 (Cd), 0,02 (Co), 0,01 (Cr), 5,10 (Cu), 6,67 (Fe), 0,08 (Li), 7,26 (Mg), 3,20 (Mn), 0,06 (Ni), 0,01 (Pb), 0,16 (Rb), 0,10 (Se), 0,10 (Tl) a 2,00 (Zn) mg/kg sušiny.

4 Výsledky a diskuse

4.1 Hřib smrkový

V tab. 1 jsou shrnuty průměrné výsledky stanovení prvků ve vzorcích hříbu smrkového (*Boletus edulis*). Pro každý prvek je uveden průměrný obsah (c), jeho směrodatná odchylka (SD), rozsah naměřených obsahů (minimální – maximální), biokoncentrační faktor (BCF) a jeho směrodatná odchylka. Obsahy prvků v tab. 1 jsou vyjádřeny v mg/kg sušiny.

V plodnicích hříbu smrkového byla pozorována akumulace následujících prvků: Ag (BCF = 31), Se (25), Cd (18), Rb (13), Cu (3,9) a Zn (2,6). Ve vzorcích této houby byly stanoveny vysoké obsahy Fe, Zn, Rb, Ca, Mg, Cu, Ag a Cd. Oproti tomu byly určeny nízké obsahy Be a Pb, obsah Tl se pohyboval pod mezí stanovitelnosti (< 0,10 mg/kg). Mleczek et al. (2015) uvádí, že v plodnicích hříbu smrkového sbíraných na jihovýchodě Polska byly akumulovány (BCF > 1) následující prvky: Ag, Cd, Co, Cu, Hg, Ni a Zn.

Tab. 1: Průměrné obsahy prvků a biokoncentrační faktory ve vzorcích hříbu smrkového.

	$c \pm SD$ (mg/kg)	Rozsah (mg/kg)	BCF $\pm SD$
Ag	$8,0 \pm 5,0$	0,84 – 17	31 ± 21
As	$6,7 \pm 3,7$	0,27 – 15,7	$0,98 \pm 0,82$
Ca	130 ± 50	60 – 260	$0,51 \pm 0,34$
Cd	$2,1 \pm 1,3$	0,7 – 5,7	18 ± 10
Fe	83 ± 53	31 – 220	$0,006 \pm 0,007$
Mg	900 ± 80	700 – 1000	$0,41 \pm 0,12$
Pb	-	< 0,01 – 0,41	-
Rb	370 ± 160	140 – 850	13 ± 8
Se	$8,4 \pm 6,6$	0,31 – 23	25 ± 20
Zn	160 ± 60	70 – 300	$2,6 \pm 1,9$

4.2 Muchomůrka růžovka

V tab. 2 jsou shrnuty průměrné výsledky stanovení prvků ve vzorcích muchomůrky růžovky (*Amanita rubescens*). Pro každý prvek je uveden průměrný obsah (c), jeho směrodatná odchylka (SD), rozsah naměřených obsahů (minimální – maximální), biokoncentrační faktor (BCF) a jeho směrodatná odchylka. Obsahy prvků v tab. 2 jsou vyjádřeny v mg/kg sušiny.

V plodnicích muchomůrky růžovky byly akumulovány následující prvky: Cd (BCF = 41), Rb (27), Ag (4,8), Cu (3,3), Zn (2,1) a As (1,4). Nejnižší průměrné BCF byly zjištěny v případě Al, Fe, Cr, Pb a Li. Ve vzorcích této houby byly pozorovány vysoké obsahy Mg, Rb, Zn, Al, Fe, Cu, As a Cd. Oproti tomu nízké obsahy byly stanoveny pro Be, Se a Tl. Obsahy většiny prvků se příliš nelišily od výsledků, které byly zjištěny během tříletého monitorování prvkového zastoupení v plodnicích muchomůrky růžovky sbíraných v ovocném sadu poblíž Soběslavi (Šíma et al., 2020). Ve zmíněné studii byla pozorována akumulace následujících prvků: Rb (48,5), Cd (16,2), Cu (7,8), Zn (6,5) a Mg (1,68).

Tab. 2: Průměrné obsahy prvků a biokoncentrační faktory ve vzorcích muchomůrky růžovky.

	c ± SD (mg/kg)	Rozsah (mg/kg)	BCF ± SD
Ag	0,73 ± 0,51	0,15 – 2,2	4,8 ± 5,7
As	13 ± 7	4 – 30	1,4 ± 1,1
Ca	200 ± 70	70 – 430	0,77 ± 0,58
Cd	3,5 ± 3,4	0,6 – 16	41 ± 56
Fe	95 ± 43	46 – 320	0,006 ± 0,003
Mg	1400 ± 200	1000 – 1900	0,62 ± 0,28
Pb	0,59 ± 0,69	0,03 – 2,8	0,02 ± 0,02
Rb	860 ± 560	270 – 3200	27 ± 19
Se	-	< 0,10 – 0,81	-
Zn	140 ± 40	70 – 310	2,1 ± 0,9

4.3 Bedla vysoká

V tab. 3 jsou shrnuty průměrné výsledky stanovení prvků ve vzorcích bedly vysoké (*Macrolepiota procera*). Pro každý prvek je uveden průměrný obsah (c), jeho směrodatná odchylka (SD), rozsah naměřených obsahů (minimální – maximální), biokoncentrační faktor (BCF) a jeho směrodatná odchylka. Obsahy prvků v tab. 3 jsou vyjádřeny v mg/kg sušiny.

V plodnicích bedly vysoké byly akumulovány následující prvky: Cu (BCF = 7,9), Cd (3,7), Se (3,2), Ag (2,2), Rb (1,4) a As (1,1). Ve vzorcích tohoto druhu byly stanoveny vysoké obsahy Mg, Cu, Fe, Zn, Rb, As, Cd a Se. Oproti tomu byly pozorovány nízké obsahy Be, Tl a Co. Obsahy Mg, Cu a Zn korespondují s údaji, které uvádí Brzezicha-Cirocka et al. (2016), naměřili však vyšší obsahy Al, Ca, Fe a Mn. Porovnatelné obsahy Cd uvádí Jančo et al. (2021) v plodnicích sbíraných z osmi lokalit na Slovensku. Gucia et al. (2012) uvádí, že v plodnicích bedly vysoké sbíraných z různých lokalit na severu Polska byly akumulovány následující prvky: Ag, Cu, Rb, Cd, Zn a Mg.

Tab. 3: Průměrné obsahy prvků a biokoncentrační faktory ve vzorcích bedly vysoké.

	$c \pm SD$ (mg/kg)	Rozsah (mg/kg)	BCF $\pm SD$
Ag	$0,78 \pm 0,36$	0,31 – 1,4	$2,2 \pm 1,0$
As	$10 \pm 3,9$	5,2 – 22	$1,1 \pm 0,8$
Ca	160 ± 90	70 – 410	$0,18 \pm 0,14$
Cd	$1,04 \pm 0,77$	0,25 – 2,9	$3,7 \pm 1,6$
Fe	100 ± 30	50 – 160	$0,005 \pm 0,002$
Mg	1400 ± 200	900 – 2200	$0,41 \pm 0,13$
Pb	$0,51 \pm 0,55$	0,03 – 2,3	$0,02 \pm 0,03$
Rb	70 ± 43	20 – 160	$1,4 \pm 1,1$
Se	$1,03 \pm 0,74$	0,13 – 2,6	$3,2 \pm 2,8$
Zn	98 ± 18	66 – 130	$0,97 \pm 0,38$

4.4 Liška obecná

V tab. 4 jsou shrnuty průměrné výsledky stanovení prvků ve vzorcích lišky obecné (*Cantharellus cibarius*). Pro každý prvek je uveden průměrný obsah (c), jeho směrodatná odchylka (SD), rozsah naměřených obsahů (minimální – maximální), biokoncentrační faktor (BCF) a jeho směrodatná odchylka. Obsahy prvků v tab. 4 jsou vyjádřeny v mg/kg sušiny.

V plodnicích lišky obecné byly akumulovány následující prvky: Rb (BCF = 30), Cd (4,6), Cu (2,9), Ag (2,6), Zn (1,5) a Ca (1,3). V plodnicích této houby byly stanoveny vysoké průměrné obsahy Mg, Rb, Ca, Al, Zn, Fe, Cu a As. Oproti tomu nízké obsahy byly pozorovány v případě Be, Se a Tl. Obsahy Cu, Zn a Cd odpovídají výsledkům, které určili Brzezicha-Cirocka et al. (2019). Průměrné obsahy Mg, Cu, Mn a Cd korespondují s výsledky, které jsou uvedeny pro plodnice lišky obecné sbírané z regionu Morag v Polsku (Brzezicha-Cirocka et al., 2016). Árvay et al. (2019) stanovili v plodnicích z lokality Bobrov na Slovensku vyšší obsahy Pb ($0,66 \pm 0,36$) a Se ($1,35 \pm 0,34$ mg/kg).

Tab. 4: Průměrné obsahy prvků a biokoncentrační faktory ve vzorcích lišky obecné.

	$c \pm SD$ (mg/kg)	Rozsah (mg/kg)	BCF $\pm SD$
Ag	$1,2 \pm 0,7$	0,4 – 3,4	$2,6 \pm 1,2$
As	10 ± 6	2,5 – 24	$0,95 \pm 0,61$
Ca	400 ± 140	210 – 890	$1,3 \pm 0,9$
Cd	$0,54 \pm 0,33$	0,08 – 1,8	$4,6 \pm 3,7$
Fe	89 ± 28	41 – 160	$0,005 \pm 0,002$
Mg	1400 ± 200	900 – 1700	$0,48 \pm 0,21$
Pb	$0,26 \pm 0,14$	0,05 – 0,83	$0,01 \pm 0,01$
Rb	1100 ± 400	400 – 2500	30 ± 15
Se	-	< 0,10 – 0,52	-
Zn	100 ± 20	60 – 140	$1,5 \pm 0,5$

5 Závěr

V této disertační práci bylo stanovováno 19 rizikových a esenciálních prvků v plodnicích volně rostoucích hub sbíraných na pěti lokalitách v Národním parku a Chráněné krajinné oblasti Šumava. Studovanými druhy byly hřib smrkový (*Boletus edulis*), muchomůrka růžovka (*Amanita rubescens*), bedla vysoká (*Macrolepiota procera*), liška obecná (*Cantharellus cibarius*), hřib kovář (*Sutorius luridiformis*), pýchavka obecná (*Lycoperdon perlatum*), holubinka nazelenalá (*Russula virescens*), penízovka sametonohá (*Flammulina velutipes*) a muchomůrka červená (*Amanita muscaria*). Přimo pod plodnicemi hub, byly odebírány vzorky půd a následně byly vyhodnoceny biokoncentrační faktory (BCF).

Obsahy prvků v plodnicích hub a biokoncentrační faktory byly výrazně druhově závislé. Biokoncentrační faktory byly také značně prvkově specifické. Obecně byla v plodnicích studovaných hub pozorována akumulace Cd, Rb, Ag, Cu, Se a Zn. Jako pozitivní se z výživového hlediska jeví akumulace Se v hříbových houbách, pro

hřib smrkový byl určen biokoncentrační faktor 25 ± 20 a pro hřib kovář $7,4 \pm 3,9$. Nejnižší biokoncentrační faktory byly pozorovány v případě Al, Be, Cr, Fe a Pb. V plodnicích studovaných hub byly stanoveny vysoké obsahy esenciálních prvků (Ca, Cu, Mg a Zn). V plodnicích hub byly určeny velmi nízké obsahy rizikových prvků jako jsou Be, Pb a Tl, přičemž stanovení Tl bylo limitováno nízkou citlivostí. Oproti tomu byly pozorovány mírně vyšší obsahy některých toxických prvků (Ag, As a Cd). Zvýšený obsah Ag a Cd by však neměl představovat riziko pro lidské zdraví, pokud jsou tyto houby konzumovány příležitostně, nebo jako zpestření stravy. Zvýšený obsah rizikových prvků v plodnicích muchomůrky červené by rovněž neměl být nebezpečný, jelikož je tato houba v alternativní medicíně určena k vnějšímu užití (zejména ve formě tinktur či mastí). Obsahy prvků v plodnicích penízovky sametonohé, která jako jediná ze studovaných druhů roste na dřevě, byly v porovnání s ostatními druhy celkově nižší.

6 Seznam použité literatury

ÁRVAY, J., HAUPTVOGL, M., ŠNIRC, M., GAŽOVÁ, M., DEMKOVÁ, L., BABUŠKÁ, L., HRSTKOVÁ, M., BAJČAN, D., HARANGOZO, I., BILČÍKOVÁ, J., MIŠKEJE, M., ŠTEFÁNIKOVÁ, J., KUNCA, V., 2019. Determination of elements in wild edible mushrooms: levels and risk assessment. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*. 8(4): 999-1004.

BRZEZICHA-CIROCKA, J., GREMBECKA, M., GROCHOWSKA, I., FALANDYSZ, J., SZEFER, P., 2019. Elemental composition of selected species of mushrooms based on a chemometric evaluation. *Ecotoxicology and environmental safety*. 173: 353-365.

BRZEZICHA-CIROCKA, J., MĘDYK, M., FALANDYSZ, J., SZEFER, P., 2016. Bio- and toxic elements in edible wild mushrooms from two regions of potentially different environmental conditions in eastern Poland. *Environmental science and pollution research*. 23(21): 21517-21522.

FALANDYSZ, J., BOROVIČKA, J., 2013. Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms: health benefits and risks. *Applied microbiology and biotechnology*. 97(2): 477-501.

GUCIA, M., JARZYŃSKA, G., RAFAL, E., ROSZAK, M., KOJTA, A. K., OSIEJ, I., FALANDYSZ, J., 2012. Multivariate analysis of mineral constituents of edible Parasol Mushroom (*Macrolepiota procera*) and soils beneath fruiting bodies collected from Northern Poland. *Environmental science and pollution research*. 19(2): 416-431.

JANČO, I., ŠNIRC, M., HAUPTVOGL, M., FRANKOVÁ, H., ČERYOVÁ, N., ŠTEFÁNIKOVÁ, J., ÁRVAY, J., 2021. Arsenic, cadmium and mercury in the *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer fruiting bodies. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*. 11(2): e4764.

KALAIČ, P., 2008. *Houby – víme co jíme?* České Budějovice, Nakladatelství DONA s. r. o., s. 76.

KALAČ, P., 2016. *Edible mushrooms. Chemical composition and nutritional value*. Elsevier, Academic Press, London.

KALAČ, P., 2019. *Mineral composition and radioactivity of edible mushrooms*. Elsevier, Academic Press, London.

MLECZEK, M., SIWULSKI, M., MIKOŁAJCZAK, P., GOLIŃSKI, P., GAŚECKA, M., SOBIERALSKI, K., DAWIDOWITZ, L., SZYMAŃCZYK, M., 2015. Bioaccumulation of elements in three selected mushroom species from southwest Poland. *Journal of environmental science and health, part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*. 50(3): 207-216.

MLECZEK, M., SIWULSKI, M., STUPERSZABLEWSKA, K., RISSMANN, I., SOBIERALSKI, K., GOLIŃSKI, P., 2013. Accumulation of elements by edible mushroom species: Part I. Problem of trace element toxicity in mushrooms. *Journal of environmental science and health, part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*. 48(1): 69-81.

ŠÍMA, J., KOBERA, M., ŠEDA, M., ROKOS, L.,
VONDRUŠKA, J., KREJSA, J., SVOBODA, L., 2020.
The three-year monitoring of 18 elements in five edible
mushrooms species collected from an old orchard. *Journal
of environmental science and health, part B: Pesticides,
food contaminants, and agricultural wastes*. 55(4): 319-
328.

ZELLNER, J., 1907. *Chemistry of macrofungi*.
Lipsko, Verlag von Wilhelm Engelmann.

ZHANG, D., FRANKOWSKA, A.,
JARZYNSKA, G., KOJTA, A. K., DREWNOWSKA, M.,
WYDMANSKA, D., BIELAWSKI, L., WANG, J. P.,
FALANDYSZ, J., 2010. Metals of King Bolete (*Boletus
edulis*) Bull.: Fr. collected at the same site over two years.
African journal of agricultural research. 5(22): 3050-
3055.

7 Publikační výstupy

Publikace v časopisech s impaktním faktorem přímo související s disertační prací

KREJSA, J., ŠÍMA, J., KŘÍŽEK, M., ŠEDA, M., SVOBODA, L., 2024. Selected detrimental and essential elements in fruiting bodies of culinary and toxic medicinal macroscopic fungi growing in the Bohemian Forest, the Czech Republic. *Journal of environmental science and health, part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*. 59(8): 483-496.

Publikace v časopisech s impaktním faktorem nepřímou související s disertační prací

KREJSA, J., ŠÍMA, J., KOBERA, M., ŠEDA, M., SVOBODA, L., 2021. Detrimental and essential elements in fruiting bodies of mushrooms with ecological relationship to birch (*Betula* sp.) collected in the Bohemian Forest, the Czech Republic. *Environmental science and pollution research*. 28(47): 67852-67862.

ŠÍMA, J., KOBERA, M., ŠEDA, M., ROKOS, L., VONDRUŠKA, J., KREJSA, J., SVOBODA, L., 2020.

The three-year monitoring of 18 elements in five edible mushroom species collected from an old orchard. *Journal of environmental science and health, part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*. 55(4): 319-328.

Publikace v časopisech s impaktním faktorem nesouvisející s disertační prací

ŠÍMA J., SVOBODA L., ŠEDA M., KREJSA J., JAHODOVÁ J., 2019. The fate of selected heavy metals and arsenic in a constructed wetland. *Journal of environmental science and health, part A: Toxic/hazardous substances and environmental engineering*. 54(1): 56-64.

ŠÍMA J., SVOBODA L., ŠEDA M., KREJSA J., JAHODOVÁ J., 2017. Removal of selected risk elements from wastewater in a horizontal subsurface flow constructed wetland. *Water and environment journal*. 31(4): 486-491.

ŠÍMA J., KREJSA J., SVOBODA L., 2015.
Removal of mercury from wastewater using a constructed
wetland. *Croatica chemica acta*. 88(2): 165-169.