

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Změny ve kvalitě zelenin pěstovaných na půdě se
zvýšeným obsahem rizikových prvků**

Diplomová práce

Lucie Suchomelová

Výživa a potraviny N-NUTRIM

prof. Ing. Daniela Pavlíková, CSc.

© 2021/2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Změny ve kvalitě zelenin pěstovaných na půdě se zvýšeným obsahem rizikových prvků“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 13.dubna 2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala prof. Ing. Daniele Pavlíkové, CSc. za nabídku zajímavého tématu a následné odborné vedení mé diplomové práce a Ing. Veronice Zemanové, Ph.D. za vstřícnou a trpělivou spolupráci, kdykoli bylo třeba řešit jakékoli nejasnosti, a za poskytnutí mnoha cenných rad. Oběma výše jmenovaným děkuji i za pomoc se získáním důležitých zdrojů literatury. Dále bych zde chtěla poděkovat i mým blízkým za jejich podporu a neuvěřitelné porozumění a ochotu, zvláště v době dokončování této práce.

Změny ve kvalitě zelenin pěstovaných na půdě se zvýšeným obsahem rizikových prvků

Souhrn

Diplomová práce je zaměřena na porovnání kvality vybraných druhů zeleniny pěstovaných ve dvou variantách půdy lišících se obsahem rizikových prvků. Cílem práce bylo zhodnotit změny kvality zeleniny pěstované na kontaminované půdě.

Pro experiment byly vybrány tři druhy zeleniny – ředkvička setá (*Raphanus sativus* L. odrůda VIOLA), salát setý (*Lactuca sativa* L. odrůda ADINAL) a petržel naťová (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nyman ex A. W. Hill). Zelenina byla pěstována v nádobovém pokusu ve dvou variantách – kontrolní a kontaminované. Pro kontrolní variantu byla použita půda z lokality Praha – Suchdol, jejíž obsah rizikových prvků splňoval legislativní limity pseudo-totálního obsahu v běžných půdách s účelem zemědělského využití. Půda kontaminované varianty pochází z antropogenně znečištěné lokality Příbram – Podlesí, která byla silně kontaminována rizikovými prvky – kadmium (Cd; 3,7 mg/kg), olovo (Pb; 1 155,2 mg/kg) a zinek (Zn; 202,1 mg/kg) z předešlého provozu Kovohutí Příbram.

Zelenina byla sklizena v konzumní zralosti a poté byl vyhodnocen výnos všech jejích částí. V čerstvé biomase konzumních částí zeleniny byl stanoven obsah kyseliny askorbové a nitrátového N. V suché biomase byl stanoven obsah sledovaných rizikových prvků (Cd, Pb a Zn) a vybraných makro a mikroprvků (Ca, K, Mg a Fe).

U všech rostlin se potvrdila akumulace všech rizikových prvků (Cd, Pb a Zn). Petržel akumulovala přibližně dvojnásobek hodnot obsahu rizikových prvků oproti ředkvičce a salátu. Nejvyšší negativní vliv měla akumulace Pb ve všech třech druzích zeleniny, kde se naměřené hodnoty pohybovaly v tisícinásobcích kontrolní varianty. Pokus dále prokázal zvýšení Ca a Mg a naopak snížení K a Fe v kontaminovaných variantách oproti kontrole, a to zejména u petržele a ředkvičky. Projevem negativního vlivu akumulace rizikových prvků byl i pokles kyseliny askorbové, a naopak nárůst hodnot nitrátů. Obsah kyseliny askorbové v petrželi poklesl 1,4krát více než v případě ředkvičky a salátu. Naopak zaznamenaná změna obsahu nitrátů u petržele byla 5,7 – 7krát nižší v porovnání s naměřenými hodnotami nárůstu u ředkvičky a salátu.

Nejcitlivěji na vysoký podíl rizikových prvků v půdě reagovala petržel. U převážné většiny měřených parametrů byla u petržele zjištěna nejvyšší změna oproti kontrole, vyjma obsahu K a nitrátů. U obsahu K a nitrátů nejcitlivěji reagoval salát. U salátu se kontaminace rizikovými prvky projevila nejvýrazněji i na vizuální stránce rostliny. Vliv kontaminace na něm byl jednoznačně viditelný už v době růstu. Díky výrazným vizuálním změnám už v časně vegetační fázi vývoje lze salát označit za vhodný bioindikátor změn v prostředí.

Klíčová slova: kontaminace půd; nitráty; rizikové prvky; vitamín C; zelenina

The changes in quality of vegetables cultivated on soil with increased contents of risk elements

Summary

The diploma thesis is focused on comparing the quality of selected vegetable grown in two soil variants differing in the content of risk elements. The goal of the thesis was to evaluate changes in the quality of vegetable grown on contaminated soil.

Three species of vegetable were selected for the experiment – radish (*Raphanus sativus* L. variety VIOLA), lettuce (*Lactuca sativa* L. variety ADINAL) and parsley (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nyman ex A. W. Hill). Vegetable was grown in pot experiment, in two variants – control and contaminated soil. For the control variant was used soil from the Prague – Suchbátka, the content of risk elements of soil met the legislative limits of pseudo-total content in common soils with the purpose of agricultural use. The soil of the contaminated variant comes from the anthropogenically polluted locality Příbram – Podlesí, which was heavily contaminated with risk elements – cadmium (Cd; 3.7 mg/kg), lead (Pb; 1 155.2 mg/kg) and zinc (Zn; 202.1 mg/kg) from the previous industrial factory Kovohutě Příbram.

The vegetable was harvested in consumer ripeness, and then the yield of all its parts was evaluated. In the fresh biomass of the consumer parts of vegetable, the content of ascorbic acid and nitrate N was determined. In dry biomass, the content of the monitored risk elements (Cd, Pb and Zn) and selected macro and microelements (Ca, K, Mg and Fe) was determined.

In all plants, the accumulation of all risk elements (Cd, Pb and Zn) was confirmed. Parsley accumulated approximately twice the risk element content in contrast to radish and lettuce. The Pb accumulation in all three vegetable species had the highest negative effect, where the measured values were in thousands of times the control variant. The experiment also showed increases in Ca and Mg contents and decreases in K and Fe contents in contaminated variant in contrast to control variant, especially in parsley and radish. The negative effect of the accumulation of risk elements was also a decrease in ascorbic acid and in an increase in nitrate values. The content of ascorbic acid in parsley decreased 1.4 times more than in the case of radish and lettuce. On the other hand, the recorded change in nitrate content in parsley was 5.7 to 7 times lower compared to the measured values of the increase in radish and lettuce.

Parsley reacted most sensitively to the high proportion of risk elements in the soil. For most measured parameters, parsley was found to have the highest change from control group, except for the content of K and nitrates. For the content of K and nitrates, the lettuce reacted most sensitively. In lettuce, contamination by risk elements was most visible on the visual aspect of the plant. The effect of lettuce contamination was clearly visible already in the early period of growth. The significant visual changes in the early growing period were observed, therefore lettuce can be suitable as bioindicator of changes in the environment.

Keywords: soil contamination; nitrates; risk elements; vitamin C; vegetable

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	2
3 Literární rešerše	3
3.1 Zelenina	3
3.1.1 Charakteristika	3
3.1.2 Produkce a spotřeba v ČR.....	4
3.1.3 Složení.....	5
3.1.3.1 Vitamíny	6
3.1.3.2 Antioxidační látky	7
3.1.3.3 Glukosinoláty.....	7
3.1.3.4 Minerální látky	7
3.1.4 Účinky konkrétních druhů zeleniny na lidský organismus	8
3.1.4.1 Ředkvička setá	8
3.1.4.2 Salát setý.....	9
3.1.4.3 Petržel naťová	10
3.1.5 Faktory ovlivňující kvalitu zeleniny	11
3.1.5.1 Světlo	12
3.1.5.2 Teplota	12
3.1.5.3 Voda.....	12
3.1.5.4 Vzduch.....	13
3.2 Půda	14
3.2.1 pH.....	14
3.2.2 Složení.....	14
3.2.3 Struktura a úrodnost	16
3.2.4 Hnojení půdy.....	16
3.3 Rizikové prvky	17
3.3.1 Kadmium.....	17
3.3.2 Olovo.....	19
3.3.3 Zinek	21
4 Metodika	23
4.1 Nádobový pokus	23
4.1.1 Ředkvička setá	23
4.1.2 Salát setý	24
4.1.3 Petržel naťová	25

4.2	Analýza rostlinné biomasy	25
4.2.1	Stanovení obsahu prvků.....	25
4.2.2	Stanovení obsahu kyseliny askorbové	25
4.2.3	Stanovení obsahu nitrátů.....	26
4.3	Statistická analýza.....	26
5	Výsledky.....	27
5.1	Výnos biomasy	27
5.1.1	Ředkvička setá	27
5.1.2	Salát setý.....	28
5.1.3	Petržel nařová	29
5.2	Obsah prvků	30
5.2.1	Rizikové prvky.....	30
5.2.2	Makro a mikroprvky	31
5.3	Kyselina askorbová	32
5.4	Nitráty	32
6	Diskuze.....	34
6.1	Vliv rizikových prvků na rostliny a výnos	34
6.1.1	Vizuální změny na rostlinách	34
6.1.2	Výnos biomasy	34
6.2	Obsah rizikových prvků	35
6.3	Obsah makro a mikroprvků	36
6.4	Obsah kyseliny askorbové	37
6.5	Obsah nitrátů.....	38
7	Závěr	39
8	Literatura.....	40

1 Úvod

Hydrosféra, atmosféra a biosféra planety je tvořena 92 chemickými prvky. Na počátku bylo vše v rovnováze. Postupem času se však do biosféry začaly uvolňovat i prvky, které se zde dříve vyskytovaly jen v zanedbatelném množství a rovnováha tak začala být silně narušována. Dělo se tak působením přírodních vlivů, jako je orogeneze, sopečná činnost, zvětrávání hornin, vznik ropy a uhlí, lesní požáry a různé biochemické děje. Dále působily různé živelné katastrofy nebo klimatické změny. S příchodem civilizace začaly rovnováhu narušovat i antropogenní vlivy – těžba a úprava nerostných surovin, metalurgie, chemický průmysl a další průmyslová odvětví, energetika, doprava, zemědělství a nesprávné řešení likvidace odpadů (Trebichavský et al. 2005).

V dnešní době je známo celkem 22 kovových a metaloidních prvků. Všechny mohou mít toxické, karcinogenní, teratogenní, nebo mutagenní vlastnosti a lze je tak souhrnně označovat jako toxické nebo rizikové prvky. Jedná se například o Cd, Pb a Zn (Trebichavský et al. 2005).

Vzhledem k tomu, že půda je považovaná za hlavní jímku kovů (Trebichavský et al. 2005) a řešená problematika spočívá v hodnocení obsahu rizikových prvků a nutričních parametrů v zelenině pěstované v kontaminované půdě, budeme se výše uvedenými rizikovými prvky zabývat v této diplomové práci. Bude nás zajímat, nakolik se obsah rizikových prvků v půdě může akumulovat do samotné rostliny a jak může ovlivnit její růst a kvalitu. Změříme se také na změny v obsahu makro a mikroprvků, obsahu kyseliny askorbové a nitrátů, způsobené vlivem kontaminace již zmíněnými rizikovými prvky.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem práce je hodnocení změn kvality zelenin pěstovaných na půdě kontaminované rizikovými prvky (Cd, Zn, Pb) antropogenní činností.

Hypotéza:

- 1) Kontaminace půdy rizikovými prvky ovlivní výnos zelenin, obsah vybraných makro a mikroprvků, povede ke zvýšení obsahu nitrátů a snížení vitamínu C v konzumní části zelenin.
- 2) Vlivem kontaminace dojde k nárůstu obsahu rizikových prvků v pěstovaných zeleninách.

3 Literární rešerše

3.1 Zelenina

3.1.1 Charakteristika

Už od starověku byla zelenina konzumována jako primární zdroj obživy. Je považována za kvalitní zdroj živin, vitamínů, sekundárních metabolitů a dalších tělu prospěšných sloučenin, čímž výrazně obohacuje a zkvalitňuje lidský jídelníček. Zelenina je konzumována pro svůj vysoký obsah škrobu, celulózy a široké spektrum vitamínů a minerálních látek (Agregán et al. 2016).

Pod zeleninou si představujeme dužnaté nebo listnaté části pěstovaných rostlin, které jsou určeny ke konzumaci a jen zřídka kdy rostou planě. Jedná se o kořeny, cibule, hlízy, bulvy, plody, semena, řapíky nebo zdužnatělá květenství. Jedná se převážně o rostliny jednoleté nebo dvouleté a na světě se vyskytuje až 1 200 těchto rostlinných druhů (Hanka 2014).

Zelenina společně s ovocem zahrnuje rozmanitou škálu rostlinných potravin, které se různí svou energetickou hodnotou, živinami a obsahem bioaktivních látek. Tato skupina potravin obsahuje látky s potencionálně prospěšnými účinky na lidské zdraví (Wallace et al. 2020). Její zvýšená konzumace snižuje riziko některých onemocnění, například rakoviny, demence, osteoporózy nebo diabetu, a přispívá i k jejich prevenci. Díky obsahu všech potřebných živin a vlákniny by zelenina měla zaujímat významnou roli lidské výživy (Boeing et al. 2012; Soto et al. 2021).

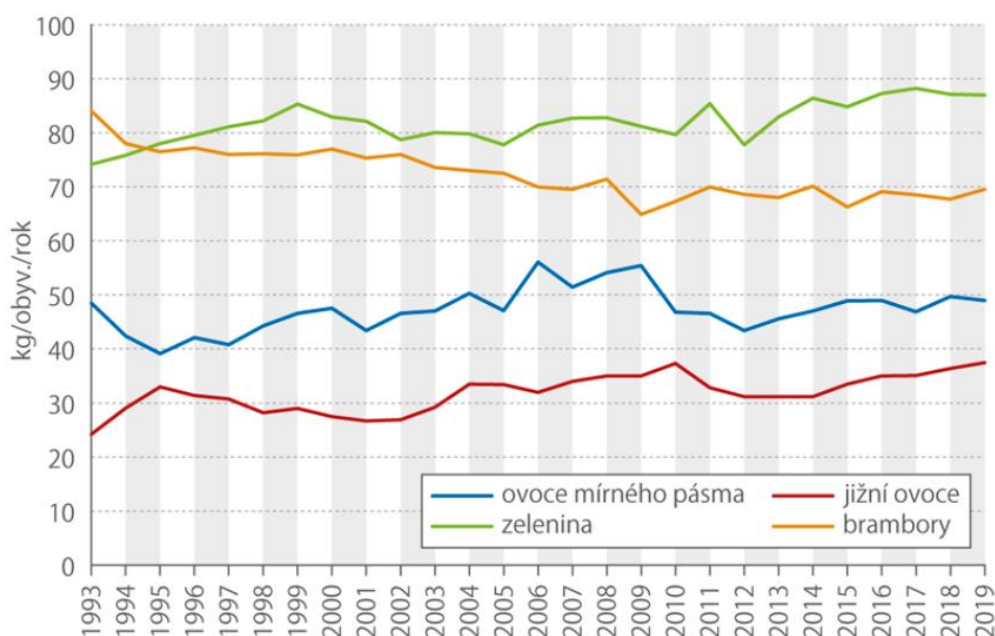
Protože velký podíl zeleniny tvoří voda, má zelenina příznivý vliv na hydrataci organismu a napomáhá regulaci jeho metabolismu. Navíc je velmi výživnou potravinou, která organismus nezatěžuje zbytečnými kaloriemi. Obsahuje sice poměrně nízké množství bílkovin (0,5 – 1,5 %), ale na druhé straně je dobrým zdrojem aminokyselin, ať už esenciálních nebo i neproteinových, díky nimž získává i své příchutě (Agregán et al. 2016).

Zelenina je nejdůležitější součástí našeho jídelníčku. Tvoří základ potravinové pyramidy a měla by tvořit minimálně třetinu denního příjmu lidské potravy. Denní příjem zeleniny, včetně ovoce, by se dle Organizace pro výživu a zemědělství Spojených národů měl pohybovat zhruba kolem 400 g ve čtyřech až pěti porcích, nejlépe ke každému jídlu (Soto et al. 2021). Různé dietní směrnice doporučují, aby zelenina společně s ovocem tvořila až polovinu talíře každého denního jídla. Současný příjem zeleniny je však přes všechna dietologická doporučení celosvětově stále velmi nízký (Buturi et al. 2021).

Zeleninu je možno konzumovat přímo – v syrovém stavu, nebo po tepelném (vaření, dušení, pečení) či průmyslovém (sušení, mražení, konzervování) zpracování. Zelenina v syrovém stavu má zpravidla větší obsah všech potřebných živin než zelenina tepelně upravená a také si zachovává své antioxidanty a různé enzymy. Speciální úpravou zeleniny, v podstatě kompromisem mezi zeleninou syrovou a zeleninou tepelně upravenou klasickým způsobem, je probiotické kvašení. To může naopak obsah enzymů a vitamínů v zelenině i znásobit (Krebesová 2010).

3.1.2 Produkce a spotřeba v ČR

Zelenina se v České republice pěstuje celkem na cca 15 100 ha půdy, které ročně přinesou až 310 000 t zeleniny. Plocha půdy pro pěstování se v posledních letech stále rozrůstá (Ministerstvo zemědělství 2021). Mezi největší zelinářské oblasti České republiky se podle Hanky (2014) řadí Lysá n. Labem, Semice, Olomouc, Prostějov, Přerov nebo Uherské Hradiště. Z celkového počtu zeleniny pěstované v České republice je nejvíce zastoupena zelenina z čeledí miříkovité, bobovité, brukvovité, tykvovité, hvězdicovité a merlíkovité (Hanka 2014). Konkrétně se Česká republika zabývá pěstováním především hlávkového zelí, cibule, mrkve, květáku, kapusty, rajčat, zeleného hrášku, celeru, petržele, kedlubny, špenátu, ředkviček nebo různých druhů salátu (Ministerstvo zemědělství 2021). V České republice se pro trh pěstuje přibližně 30 druhů, dalších 20 druhů zeleniny je pěstováno pro vlastní potřebu. Agrární komora České republiky uvádí, že spotřeba zeleniny se v roce 2020 značně zvýšila. Oproti roku 2019 vzrostla spotřeba čerstvé zeleniny o 6,2 kg (+ 7,1 %) na obyvatele na rok. Nárůst spotřeby se týká veškeré zeleniny vyjma česneku, hlávkového salátu, rajčat a brambor (Doležal 2021). Obrázek 1 uvádí data Českého statistického úřadu (2021) o nárůstu a celkovém vývoji spotřeby zeleniny v letech 1993 až 2019.



Obrázek 1: Vývoj spotřeby zeleniny v kg/obyvatel/rok (zelená) v ČR v letech 1993 až 2019 (Český statistický úřad 2021).

Podrobnější vzrůstající trend spotřeby zeleniny v letech 2011 až 2020 u konkrétních druhů zeleniny si lze prohlédnout na obrázku 2, který udává konkrétní hodnotu spotřebovaného druhu zeleniny v kilogramech na obyvatele ČR na rok. Modře označený je zde salát, petržel a ředkev, která je zařazena do skupiny „ostatní zelenina“ (Doležal 2021).

01	POTRAVINY A NEALKOHOLICKÉ NÁPOJE	Měsíční jednotka Unit	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Index 2020/2019
01.1.7	ZELENINA, LUŠTĚNINY, BRAMBORY												
	Zelenina v hodnotě čerstvé	kg	85,4	77,8	82,9	86,4	84,8	87,3	88,2	87,1	87,0	93,2	107,1
	okurky salátové	kg	7,6	6,7	5,9	6,4	6,5	6,4	6,4	6,0	6,3	6,5	103,2
	rajčata	kg	12,1	10,7	11,4	11,3	11,2	11,8	11,2	11,8	12,0	12,0	99,8
	paprika	kg	5,5	5,2	5,0	5,4	5,6	5,8	5,6	5,7	5,1	5,5	107,2
	okurky nakládačky	kg	2,3	2,0	2,0	2,8	2,5	3,0	3,3	2,5	2,6	2,7	105,5
	zelí	kg	8,9	8,1	8,0	8,4	7,4	7,9	8,0	6,8	6,9	7,5	109,3
	kapusta	kg	0,5	0,3	0,2	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	113,9
	květák	kg	3,0	2,6	2,6	2,7	2,6	2,3	2,6	2,8	2,3	2,3	100,0
	kedlubny	kg	2,2	2,4	2,4	2,2	2,2	2,1	2,3	2,1	2,1	2,5	119,1
	cibule	kg	11,2	9,3	11,0	10,9	10,1	10,3	10,2	11,0	11,1	11,9	106,7
	česnek	kg	0,8	0,9	0,9	0,7	0,6	0,6	0,8	0,9	0,8	0,8	95,0
	hlávkový salát	kg	1,7	1,4	1,6	1,8	2,3	2,0	2,4	2,5	2,4	2,4	98,8
	špenát	kg	0,9	1,0	1,0	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,2	113,7
	mrkev	kg	6,7	6,1	7,0	6,9	6,7	6,9	7,1	7,1	7,0	8,0	113,5
	petržel	kg	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	1,0	0,9	1,0	1,1	1,2	114,3
	celer	kg	1,5	1,3	2,0	2,1	2,0	2,1	2,2	2,1	2,5	2,8	115,0
	melouny	kg	7,2	7,1	7,6	7,2	8,0	8,2	8,2	8,1	8,0	8,3	103,4
	zelený hrášek	kg	0,6	0,5	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8	0,6	0,6	0,8	130,5
	zelená fazole	kg	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	117,4
	ostatní zelenina	kg	8,9	8,8	10,4	11,7	11,1	11,2	11,3	11,3	11,7	12,9	110,6

Obrázek 2: Vzrůstající trend spotřeby zeleniny v kg/obyvatel ČR/rok od roku 2011 do roku 2020 (Doležal 2021).

3.1.3 Složení

Zelenina je tvořena z největší části vodou, a to i více než z 90 %. Voda je z pohledu výživy velmi hodnotná, a to díky vysoké přístupnosti organismu, nebo obsahu rozpustných živin. Zelenina má pro lidský organismus sice nízký přínos energetické hodnoty, o to více ho ale obohacuje o látky ovlivňující zdraví a fyzickou či psychickou aktivitu. Mezi tyto látky se řadí vitamíny, antioxidační látky, vláknina, antikarcinogeny, látky minerální a v některých případech i glukosinoláty (Vaněk et al. 2012). Dalšími složkami zeleniny jsou dle Hanky (2014) biologicky aktivní látky, barviva (chlorofyl, karotenoidy, anthokyaniny), různé minerální nebo aromatické látky, silice a samozřejmě tři základní makroživiny – bílkoviny (1 – 1,5 %), sacharidy (5 – 9 %) a tuky (0,1 – 0,4 %). Skupina antikarcinogenních látek v podstatě sdružuje dohromady antioxidanty, vitamíny, glukosinoláty a vlákninu. Jedná se o látky omezující rakovinné bujení. Při dlouhodobém působení zajišťují omezení až eliminaci poškozených buněk, a tak působí pozitivním až léčebným efektem pro lidský organismus (Hanka 2014).

Zelenina společně s ovocem zastává funkci nejvýznamnějšího zdroje velmi důležité složky potravy – vlákniny. Pro lidské tělo je vláknina velmi prospěšná až nezbytná. Pojmeme vláknina jsou míněny všechny polysacharidy, které nejsou využity v trávicím traktu. Je považována za potravinovou složku omezující jakékoli zhoubné bujení. Vláknina v trávicím traktu prakticky obaluje živiny a zpomaluje jejich vstřebávání, čímž způsobí rovnoměrné trávení trávající delší časový úsek. Dále zpomaluje celkové vyprazdňování obsahu žaludku a tím oddaluje pocit hladu. Zároveň však urychluje střevní peristaltiku, působí laxativně, a tím tak přispívá k prevenci proti rakovině tlustého střeva (Vaněk et al. 2012; Hanka 2014).

Obsah vlákniny se průměrně pohybuje kolem 2 g na 100 g zeleniny, procentuálně od 0,5 do 2 %. Její obsah závisí na zralosti – čím je zelenina zralejší, tím je obsah vlákniny v ní vyšší (Hanka 2014).

3.1.3.1 Vitamíny

Zelenina, především ta zelená, je nejdůležitějším zdrojem vitamínů. Nejvíce vitamínů si uchovává čerstvě konzumovaná, jakkoli nezpracovaná a neskladovaná. Mezi nejvýznamnější vitamíny obsažené v zelenině a snad nejvýznamnější antioxidanty (ovlivnění oxidačně-redukčního poměru) patří kyselina L-askorbová, neboli vitamín C. Nejvyšší podíl ve vodě rozpustném vitamínu C můžeme nalézt například v paprice, křenu, petrželové nati nebo hlávkovém zelí (Vaněk et al. 2012; Hanka 2014). Kyselina askorbová se pyšní svými antiskorbutickými účinky, přispívá ke snadnějšímu hojení ran a zlomenin, k odbourávání cholesterolu z krve nebo k syntéze imunoglobulinů. Dále bylo zjištěno, že zabraňuje možnému poškození tkání, propuknutí různých nemocí, nebo dokonce zlepšuje mužskou plodnost (Mani et al. 2012; Hanka 2014). Bohužel velmi snadno oxiduje, a to zvláště při přístupu tepla, světla nebo při zpracování krájením (Vaněk et al. 2012; Hanka 2014).

V zelenině jsou dále nejpočetněji zastoupeny vitamíny řady A, B, C, E a K (fylochinon). Vitamín A, či spíše jeho provitamín betakaroten, je obsažen především v mrkvi, červené paprice, nebo listech špenátu, kopru, petržele, celeru, kde funguje jako ochrana proti karcinogenezi. V základní formě provitamínu ve spojení s dalšími karotenoidy zdárně působí jako antioxidant (Vaněk et al. 2012).

Vitamíny skupiny B se v rámci zeleniny vyskytují především ve špenátu, zelí, rajčatech nebo mrkvi. Z osmičlenné skupiny vitamínů B se dá za nejvýznamnější považovat kyselina listová, vitamín B9, která se společně s vitamínem B12 podílí na krvetvorbě v kostní dřeni a zároveň je nezbytná pro tvorbu a dělení nových buněk, z čehož logicky vyplývá, že na její vyšší příjem by neměly zapomínat těhotné a kojící ženy (Vaněk et al. 2012).

Ve špenátu, jablkách, rajčatech a mrkvi lze nalézt i vitamín E. Vitamín E, přesněji tokoferol, příznivě působí na omezení výskytu srdečních chorob, je silně antioxidační a v pozdějším věku zpomaluje proces poklesu imunity. Vitamín K (především K1, který se vyskytuje v brokolici nebo špenátu) je obsažen zejména v zelených listech a přispívá k udržení správné střevní mikroflóry (Vaněk et al. 2012; Hanka 2014).

Přehled obsahu vitamínů podle Veitha (1998) v druzích zeleniny, kterými se tato práce zabývá, uvádí tabulka 1.

Tabulka 1: Přehled obsahu některých vitamínů ve zkoumaných druzích zeleniny – hodnoty odpovídají 100 g zeleniny (Veith 1998).

Vitamín	ředkvička setá	salát setý	petržel naťová
Vitamín A (μg)	2,40	99	1560
Vitamín B1 (mg)	0,01	0,05	0,08
Vitamín B2 (mg)	0,05	0,03	0,11
Vitamín B3 (mg)	0,30	0,20	0,70
Vitamín B5 (mg)	0,09	0,05	0,30
Vitamín B6 (mg)	0,07	0,04	0,16

Vitamín	ředkvička setá	salát setý	petržel nat'ová
Kyselina listová (μg)	27	56	183
Vitamín C (mg)	23	4	90
Vitamín E (mg)	0	0,04	1,74

3.1.3.2 Antioxidační látky

Velkou skupinou rostlinných sekundárních metabolitů jsou antioxidační látky – látky s potencionálními léčebnými účinky. Antioxidační látky snižují možnost vzniku kardiovaskulárních a rakovinových onemocnění (Vaněk et al. 2012; Tang et al. 2017; Soto et al. 2021). Kardiovaskulárnímu onemocnění antioxidanty zamezí tím, že zabrání usazování lipidů s LDL cholesterolem na stěnách cév, a tak nedojde k jejich pozdějším neprůchodnostem. Antioxidační látky mají především schopnost vychytávat volné radikály, které se v organismu tvoří při jakémkoli diskomfortu, nebo schopnost vázat rizikové prvky do komplexů a následně působit jako ochrana před oxidačním stresem, nedochází tak tolik k poškození buněk. Do antioxidačních látek se řadí především tři skupiny látek: polyfenoly, karotenoidy a tokoferoly. Lze k nim zařadit ale i některé enzymy a koenzymy, tripeptid glutathion se Zn, Cu a Mn, jež jsou součástí enzymů superoxiddismutázy a na organismus působí detoxikačně. V zelenině se antioxidační látky v nejvyšším množství vyskytují v červené řepě, zelí, cibuli a v růžičkové nebo hlávkové kapustě, a to v souvislosti s resveratrolem, který je spojován s příznivými účinky červeného vína (Vaněk et al. 2012; Soto et al. 2021).

3.1.3.3 Glukosinoláty

Dalšími významnými látkami obsaženými v zelenině jsou glukosinoláty. Nejvýznamnějšími z glukosinolátů jsou izotiokyanáty, vyznačují se svým protirakovinným účinkem (Vaněk et al. 2012; Li & Zhu 2018), především zamezují vzniku a šíření rakoviny tlustého střeva a konečníku. Indoly zase urychlují proces odbourávání estrogenů, čímž předchází vzniku rakoviny prsu nebo dělohy. Nejznámější z nich je allylizotiokyanát, ten eliminuje rakovinnou buňku tlustého střeva každou zvlášť a zamezí tak dalšímu růstu. Do stejné skupiny izotiokyanátů patří například i sulforafan. Sulforafan aktivuje enzymy obranných mechanismů, které následně rozkládají prokarcinogeny. Na glukosinoláty je bohaté čínské zelí, brokolice nebo ředkvička (Vaněk et al. 2012), především její klíčící rostliny (Li & Zhu 2018).

3.1.3.4 Minerální látky

Zelenina, mimo to, že obsahuje řadu zmíněných prospěšných látek, je přirozeným zdrojem pro tělo potřebných a prospěšných látek minerálních. Mezi prvky, které zelenina může nejčastěji poskytnout, patří hořčík (Mg), vápník (Ca), draslík (K), sodík (Na) a chlór (Cl). V případě konzumace pestré stravy s dostatečným přísunem čerstvé zeleniny je potřeba těchto prvků většinou pokryta. Většina prvků je tělem i snadno využitelná. Výjimkou jsou Mg a Ca, jejichž využitelnost je značně snížena přítomností fytinu. Tento problém však lze vyřešit zpracováním potravin, při kterém se fyтин postupně rozloží. Ze všech prvků by se nemělo zapomínat především na Ca, železo (Fe), jód (I) anebo selen (Se). Vápník je důležitý pro tvorbu

kostí a zubů, kde se také nejvíce hromadí. Jeho potřeba je zvýšená přibližně do 25 let, v těhotenství a u kojících žen. Denní potřeba Ca se průměrně pohybuje kolem 1000 mg na osobu. Pro krevní oběh je pro lidský organismus důležitý dostatečný příjem Fe v souvislosti s tvorbou hemoglobinu. Jeho využitelnost ze zeleniny, jakožto celkově z rostlinných produktů, je ale velmi nízká. Proto je anémie (chudokrevnost) velmi častá diagnóza u vegetariánů a veganů (Vaněk et al. 2012).

Minerální látky jsou v zelenině zastoupené ze tří skupin: makrobiogenní, oligobiogenní a mikrobiogenní. Obsahově se pohybují od 0,2 do 4 % podílu zeleniny. Z makrobiogenních minerálních látek se zde vyskytují K, Ca, Na, Mg, fosfor (P), Cl a síra (S), z nichž nejpodstatnější zastoupení má Ca. Ze skupiny oligobiogenních látek můžeme jmenovat Fe, měď (Cu), Zn, mangan (Mn), křemík (Si) a lithium (Li). Molybden (Mo), I, fluor (F), Se, nikl (Ni), chrom (Cr), vanad (V) a další zastupují v zelenině mikrobiogenní látky. Z nich lze vyzdvihnout zvláště Se díky jeho schopnosti aktivovat enzymy odstraňující hydroxylové radikály a díky ochrannému vlivu proti vzniku chemicky navozených mutací (Hanka 2014). Obsah vybraných prvků dle Veitha (1998) v zájmové zelenině je uveden v tabulce 2.

Tabulka 2: Přehled obsahu některých minerálních prvků ve zkoumaných druzích zeleniny, vztaženo na 100 g zeleniny (Veith 1998).

Druh zeleniny	Minerální prvky (mg)					
	Ca	P	Fe	K	Mg	Zn
ředkvička setá	21	18	0,3	232	9	0
salát setý	19	20	0,5	158	9	0,2
petržel naťová	130	41	6,2	536	44	0,1

3.1.4 Účinky konkrétních druhů zeleniny na lidský organismus

Pro detailnější výčet příznivých účinků na lidský organismus a obsahu zastoupených minerálních látek a vitamínů v zelenině je nutné se zaměřit na některé konkrétní druhy zeleniny zvlášť. Jelikož se v diplomové práci zabýváme ředkvičkou setou, salátem setým a petrželí naťovou, zaměříme se přímo na ně.

3.1.4.1 Ředkvička setá

Ředkvička setá (*Raphanus sativus L.*), čeledi brukvovitých (*Brassicaceae*) a rodu ředkev (*Raphanus*), která je zobrazena na obrázku 3, je kořenová zelenina pěstovaná a konzumovaná po celém světě, někde běžně, někde méně. Její slupka nabývá různých barev od v České republice pro většinu lidí typické červené přes fialovou, černou, růžovou, žlutou až bílou. Dužina ředkvičky je vždy bílá. Kromě barvy bulvy se může lišit i její tvar, chuť nebo velikost (Banihani 2017; Gamba et al. 2021). Pro konzumaci je vhodná nejen bulva, ale jedlé jsou i listy nebo klíčící rostliny ředkvičky. Bulvy se využívají do čerstvých salátů nebo se konzumují například jako nakládaná zelenina. Mladé listy se pak dají použít také jako součást salátů, starší se hodí pro přípravu špenátu (Manivannan et al. 2019).



Obrázek 3: Ředkvička setá (Internet 1).

Bulva ředkvičky je bohatá na skupinu vitamínu B, zejména B6, a vitamín C. Celkově je ředkvička také zdrojem folátu a četných minerálů, jako Ca, Fe, Zn, Mn, Cu, K, P nebo Mg. Mimo sacharidů a bílkovin obsahuje i některé tuky, což u jiných druhů zeleniny není běžné (Banihani 2017; Gamba et al. 2021). Bylo zjištěno, že ředkvička obsahuje také určité bioaktivní sloučeniny, které mají pozitivní přínos pro lidské zdraví – glukosinoláty (Jungová 2010; Banihani 2017). Obsah glukosinolátů je příčinou charakteristické štiplavé chuti ředkviček. Glukosinoláty se enzymaticky rozkládají za vzniku celé řady biologicky aktivních látek (isothiokyanáty). Jsou rozkládány pomocí enzymu myrosináza, který je také v ředkvičce obsažen. Stejná aktivita tohoto enzymu probíhá i v bakteriální mikroflóře tlustého střeva (Banihani 2017; Manivannan et al. 2019). Glukosinolát glukorafanin, prekurzor sulforafanu, je v posledních deseti letech studován v souvislosti s prevencí rakoviny, nebo léčby autismu (Hanka 2014).

Ředkvička je díky svým léčivým hodnotám známa v lidovém léčitelství už od starověku, nyní je pro své nutriční a fytochemické složení využívána stále častěji. Svými sekundárními metabolity (glukosinoláty, polyfenoly a isothiokyanáty) slouží například při léčbě onemocnění žlučníku, žaludku nebo průdušek. Její éterické oleje podporují tvorbu žluči a zrychlují zažívání (Banihani 2017; Minivannan et al. 2019; Gamba et al. 2021).

Kromě již zmíněných účinků bylo také ověřeno, že konzumace ředkviček může mít kladný vliv na léčbu diabetu. Výsledkem Banihani (2017) bylo, že kořen ředkvičky má antidiabetické účinky a je velmi prospěšný u diabetických pacientů. Pozitivní vliv by měl být zajištěn zvyšováním antioxidačního obranného mechanismu a zároveň snižováním oxidačního stresu a peroxidace lipidů, zlepšením hormonálně indukované homeostázy glukózy, podporou příjmu glukózy a podporou energetického metabolismu a v neposlední řadě snižováním absorpce glukózy ve střevě (Banihani 2017).

3.1.4.2 Salát setý

Salát setý (obrázek 4), botanickým názvem locika setá (*Lactuca sativa* L.), z čeledi hvězdicovité (*Asteraceae*) a rodu locika (*Lactuca*), patří k listovým zeleninám s velmi nízkou energetickou hodnotou a vysokým poměrem vlákniny. Je jedním z nejčastěji konzumovaných druhů zeleniny. Se svým cca 95% obsahem vody není považován za nutriční potravinu (Kim et al. 2016).



Obrázek 4: Salát setý (Internet 2).

Vzhledem k tomu, že salát lze pěstovat na polích, ve sklenicích nebo pod umělým osvětlením v uzavřené hale, je zajištěn jeho celoroční přísun na trh. Jeho morfologické vlastnosti jsou široce rozmanité. Celkem lze salát klasifikovat do šesti hlavních typů. Pěstuje se salát křupavý, máslový, římský, volně listový/řezaný, stonkový/naťový a latinský (Kim et al. 2016; Yang et al. 2021). Jednotlivé typy salátu se neliší pouze vzhledem, či chutí. Nachází se mezi nimi i značné rozdíly týkající se složení živin a bioaktivních sloučenin (Jungová 2010; Kim et al. 2016).

Salát, stejně jako ostatní listové zeleniny, je bohatý na obsah kyseliny listové. V neposlední řadě obsahuje značné množství vitamínu C, vitamínů skupiny B, karotenoidů a tokoferolů. Naopak obsah Na je velmi nízký (Baslam et al. 2013; Kim et al. 2016). Mezi zdraví prospěšné fytochemikálie se řadí i kyselina hydroxyskořicová, flavonoidy nebo sekviterpenové laktony (Baslam et al. 2013; Yang et al. 2021). Mimo ně je salát užitečným zdrojem některých minerálů, jako jsou Ca, Fe nebo K (Baslam et al. 2013). Všechny tyto zdraví prospěšné látky se podílejí na správné činnosti mozku, pomáhají udržet koncentraci a kvalitní spánek. Vyšší obsah vlákniny povzbudivě působí na trávení i činnost jater. Emoliencium obsažené v listech salátu dokonce zvláčňuje kůži a působí též jako antitusikum, diuretikum nebo depurans (Jungová 2010; Hanka 2014). Díky sekundárním metabolitům působí salát na lidský organismus protizánětlivě, antidiabeticky, antikarcinogenně a antikardiovaskulárně (Yang et al. 2021).

Denní doporučená dávka se pohybuje kolem 150 g salátových listů. Na rozdíl od ostatní zeleniny (rajče, brambora, mrkev,...), která se více konzumuje tepelně upravená, je u salátu výhodou jeho převážně čerstvá a syrová konzumace. Díky čerstvé konzumaci pak nedochází ke zbytečné ztrátě cenných látek, jako je především kyselina listová nebo vitamín C (Kim et al. 2016).

3.1.4.3 Petržel naťová

Petržel (*Petroselinum*, obrázek 5), z čeledi miříkovité (*Apiaceae*), je v České republice pěstovaná převážně ve dvou kulturních odrůdách – petržel obecná kořenová a petržel obecná naťová. Její název pochází z řeckého slova „petros“, v překladu „kámen“, což odkazuje na kamenité prostředí, ve kterém se rostlině daří (Papuc et al. 2016).



Obrázek 5: Petržel nat'ová (Internet 3).

Jedná se o listovou aromatickou zeleninu využívanou především v potravinářství jako koření pro zlepšení sensorických vlastností připravených pokrmů, jako pokrm samotný, ale i ve farmakologii a zdravotnictví využívanou jakožto léčivou bylinu a nutraceutickou zeleninu (Dobričević et al. 2019; Arsenov et al. 2021). Pro své aromatické vlastnosti je petržel využívána i v oborech jako jsou parfémová nebo kosmetická výroba k výrobě parfémů, mýdel či různých mastí a krémů (Mahmood et al. 2014).

Petržel je všeobecně pěstována a využívána jak pro své kořeny, tak i listy. Ostatní zeleninu převyšuje svým vysokým obsahem vitamínu C, patří k jednomu z nejbohatších přírodních zdrojů kyseliny askorbové (Dobričević et al. 2019). Pouhých 100 g petržele obsahuje 170 mg vitamínu C (Jungová 2010). Mimo vitamínu C obsahuje také karotenoidy, apiol, terpenové sloučeniny, fenypropanoidy nebo tokoferol (Mahmood et al. 2014; Papuc et al. 2016). Dále je petržel bohatá na minerály (K, P, Mg, Ca, Si a Fe), silice, těkavé oleje, polyfenoly a další bioaktivní látky s vysokou antioxidační aktivitou, zejména dusitanu a flavonoid apigenin (Jungová 2010; Papuc et al. 2016; Dobričević et al. 2019).

Jako ostatní aromatické byliny je petržel zdrojem mnoha fytochemikálií se značným protizánětlivým, antimikrobiálním a antikarcinogenním účinkem. Pro lidské zdraví je přínosná svými biologickými účinky fenolických sloučenin. Ty mají na svědomí inhibici volných radikálů a buněčné proliferace (Dobričević et al. 2019). Petržel se mimo zmíněné vlastnosti vyznačuje také mnoha dalšími kladnými zdravotními účinky. Díky svým složkám je označována za antimikrobiální, antianemickou, antikoagulační, antihyperlipidemickou, hypourikemickou, diuretickou a další (Mahmood et al. 2019).

3.1.5 Faktory ovlivňující kvalitu zeleniny

Na kvalitu a konečný výnos zeleniny má vliv hned několik důležitých faktorů. Souhrnně se jedná o vegetační podmínky, které lze obecně rozdělit do dvou skupin, na faktory vnitřní a faktory vnější. Tyto dvě skupiny se vzájemně ovlivňují a ve výsledku výrazně působí na konečný rostlinný produkt (Koudela 2010; Vaněk et al. 2012).

Vnitřní faktory jsou určeny genetikou jednotlivých pěstovaných druhů a odrůd rostlin a v podstatě je nelze později ovlivnit. Faktory vnější jsou dány podmínkami prostředí, ve kterém se rostliny pěstují. Jedná se o působení světla, teploty a časových, prostorových a hmotných činitelů. O všechny ostatní vnější faktory, hlavně o atmosférické podmínky, chemické složení půdy i přístupnost živin, se starají činitele hmotné (Vaněk et al. 2012).

3.1.5.1 Světlo

Světlo je základem pro tvorbu biomasy rostlin. Bez přísunu sluneční energie by v rostlinách nedocházelo k tvorbě chlorofylu a neprobíhala by fotosyntéza, která zajišťuje redukci oxidu uhličitého (CO_2) a umožňuje transformovat sluneční energii do sacharidů (Vaněk et al. 2012). Důležitá je intenzita světla, jeho spektrální složení a délka periody. Podmínky pro dostatečnou intenzitu světla v našich zeměpisných oblastech přirozeně splňují jarní a letní měsíce od března do října. Pro pěstování zeleniny v podzimních, popř. zimních měsících, a pro její urychlení v tomto období, je potřeba světelné podmínky uměle upravovat. Optimální míra ozáření se pohybuje od 140 do 400 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ (Koudela 2010).

Délka denního ozáření vytváří v rostlinách metabolickou, růstovou nebo vývojovou odezvu, tzv. fotoperiodismus. Rostliny tak dokáží rozlišovat, kdy je den a kdy noc, tedy kdy se jim dostává záření. Fotoperioda – záření působící ve 24 hodinovém cyklu – ovlivňuje trvání vegetativní fáze vývoje, růstové i vývojové procesy a řídí přechod do reproduktivní fáze (Koudela 2010).

Důležité je také složení spektra světla působící na rostliny. Zelenina pěstovaná ve sklenicích či fóliovnících má logicky jiné světelné podmínky než zelenina pěstovaná volně na záhonech. Sklo totiž téměř eliminuje ultrafialové záření spektra a propouští vlnové délky až od 350 nm. Zelenina díky tomu kvete později a nedochází k vyšší tvorbě látek dusíkaté povahy (Koudela 2010).

3.1.5.2 Teplota

Teplota má vliv na rychlost fotosyntézy a na dýchání rostlin. Teplota se značně liší v závislosti na hloubce půdy. V povrchových vrstvách je značně nestabilní, kolísá vlivem změn teploty vzduchu, ozáření nebo přenosu tepla sáláním. V hlubších vrstvách půdy je pak teplota daleko stabilnější (Marschner 2012).

Celkově se druhy zeleniny podle požadavků na teplotu dělí na mrazuvzdorné, chladuvzdorné a teplomilné. Pro mrazuvzdorné druhy je optimální teplota kolem 23 °C, růst vykazují ještě v rozmezí 5 až 10 °C a dokáží snést teploty i pod bodem mrazu a na druhé straně stupnice teploměru přežijí i až 35 °C. Mezi mrazuvzdorné druhy zeleniny se řadí petržel, ta snese teplotu až do -7 °C. Chladuvzdorné druhy zeleniny, jako jsou ředkvička a salát, mají optimální teploty pro růst obdobné jako rostliny mrazuvzdorné. Teploty pod bodem mrazu však snášejí jen krátkodobě. Zelenina z teplomilné skupiny pro svůj růst potřebuje optimálně teploty v rozmezí 25 – 30 °C, maximálně však 35 °C a minimální teploty se liší od druhu, průměrně se však minimum pohybuje kolem 12 °C (Koudela 2010).

3.1.5.3 Voda

Jelikož je zelenina tvořena průměrně z 90 % svého obsahu vodou, je pro její optimální růst a vývoj voda velmi důležitá. Voda má přímý vliv na růst kořenů. Slouží jako medium pro transport veškerých živin z půdy i jejího povrchu, ovlivňuje fotosyntézu a tím i přísun sacharidů kořenům. Ve vlhkých půdách na ní závisí přísun atmosférického kyslíku (O_2) – vodní difúze (Marschner 2012).

O optimálním množství vody vypovídá vláhvový poměr. Jeho výkyvy negativně působí na rostliny a mohou vést k trvalému poškození, až k úhynu rostlin. Na vláhvové výkyvy jsou náchylnější rostliny se slabým kořenovým systémem, z předpěstované sadby rostlin, nebo rostliny, které měly při počáteční fázi růstu vyšší příjem vlhkosti. Vodní režim rostlin (to, jak rostlina přijímá, vede a vylučuje vodu) je závislý na obsahu vody v půdě, teplotě, relativní vzdušné vlhkosti, obsahu CO_2 v oblasti kořenů a na aktivním povrchu kořenů a jejich sací schopnosti. Zelenina sama o sobě má nevhodný vodní provoz, důkazem je vysoký transpirační koeficient (tj. kolik gramů vody musí rostlina vypařit, aby vytvořila 1 gram sušiny) pohybující se v rozmezí 300 – 800 (Koudela 2010). Ten může snížit dostatečný přísun K, který podpoří vstřebávání vody a omezí zároveň její výpar. Vysokou potřebu K vyžadují zvláště košťáloviny, které pod jeho vlivem vytváří pevné a bohaté hlávky. Je potřeba ale dát pozor na jeho přebytek. Nadměrný přísun K způsobuje omezení příjmu vitamínu C, Mg a Ca, což na rostliny logicky působí nepříznivě. Proto je třeba dodávat pouze takové množství K, aby byl zajištěn průběh fotosyntézy, ale nedocházelo k jeho hromadění v rostlinném pletivu (Vaněk et al. 2012).

Při zjišťování nároků rostliny na množství vody je nutno zohlednit poměr plochy listů a kořenového systému. Rostliny s velkou listovou plochou mají vyšší spotřebu vody než ty s malými listy. Rostliny s hlubokým kořenovým systémem pak daleko lépe shromažďují vodu pro případný nedostatek než ty se slaběji vyvinutými kořínky. Tento poměr je důležité zohlednit a vzít na vědomí především u zeleniny ze sadby, kdy má rostlina často redukováný kořenový systém (Koudela 2010).

3.1.5.4 Vzduch

Složení vzduchu ovlivňuje celou řadu pochodů, jako je fotosyntéza, dýchání nebo transpirace. Důležitý je především obsah CO_2 ve vzduchu a relativní vzdušná vlhkost. Optimální hodnoty relativní vzdušné vlhkosti se opět liší v závislosti na druhu zeleniny, průměrně se však pohybují od 60 do 90 % (Koudela 2010).

Přirozený obsah CO_2 ve vzduchu je okolo 0,03 %, pro zeleninu je však optimální koncentrace i několiknásobně vyšší. Běžně se optimální hladina CO_2 ve vzduchu pro zeleninu pohybuje kolem 0,15 – 0,2 % (Koudela 2010). Koncentrace CO_2 se zvyšuje úměrně s hloubkou půdy a vyšší je také přes léto, kdy kořeny ještě zrychlují svou rychlost dýchání a spotřebovávají tak O_2 ve větší míře (Marschner 2012).

Kořeny rostlin mají pro svou vysokou rychlost dýchání vysokou spotřebu O_2 , dalším faktorem pro jejich bezproblémový růst je provzdušňování půdy. Přenos vzdušného O_2 a ostatních plynů z největší části probíhá prostřednictvím pórů v půdě naplněných vzduchem. Dalšími cestami pro O_2 je vnitřní difúze (od listů ke kořenům) nebo vodní difúze. Kritická minimální koncentrace O_2 se liší v závislosti na druhu rostlin, některé rostliny snesou koncentraci O_2 i pod 15 – 10 %, u jiných snížení koncentrace už na 21 % naruší prodlužování kořenů. Snížený obsah O_2 v půdě úzce souvisí s nadbytkem CO_2 a se zvýšenou koncentrací ethylenu (Marschner 2012).

3.2 Půda

3.2.1 pH

Pro správný a zdravý vývoj a růst rostlin jsou zapotřebí vhodné půdní podmínky. Kořeny rostlin jsou mimo jiné ovlivněny i okolním pH půdy, to by se mělo pohybovat mezi 5 až 7,5, což je zajištěno vysokým podílem organických látek. Mohou tedy nastat dvě situace – stres při nízkém pH (< 5,0) a inhibice růstu kořenů při vysokém pH (> 7,5). Vhodné pH se liší i v závislosti na druhu (zrnatosti) půdy. Jeho hodnota se mění v případě, že je půda písčitá, hlinitopísčitá, písčitohlinitá, hlinitá nebo až jílovitá (Marschner 2012; Vaněk et al. 2012). Vhodné rozsahy hodnot pH jsou osově znázorněny na obrázku 6. Snadno tak lze vyčíst, že pro salát jsou vhodné pH podmínky od 5,5 – 7, pro ředkvičku 6 – 7,5 a u petržele je nejlepší prostředí s pH mezi 6 – 7.



Obrázek 6: Rozsah vhodného pH pro běžné zeleniny (Vaněk et al. 2012).

3.2.2 Složení

Půdní organická hmota je výsledkem rozpadu a syntézy rostlinných zbytků, určuje kvalitu půdy – její úrodnost (Gu et al. 2019). Půdní organická hmota, jako neživá složka organického kontinua, se skládá z rostlinných zbytků, pevných částic organického materiálu v různých fázích rozkladu (rostlinné, živočišné a mikrobiální zbytky, včetně semen, pylu, spor, houbových hyf a fytolitů), zcela rozpuštěných látek, humusu, uhlí a karbonizovaného materiálu. Rozkládající se látky tvoří substrát jako energetickou výživu pro půdní organismy (Semenov et al. 2019).

Z celkového obsahu živin, které se nacházejí v půdě, mohou rostliny přijímat a následně využívat jen určitou jejich část. Tento proces ovlivňuje řada půdních, environmentálních a rostlinných faktorů. Jedním z nejdůležitějších faktorů je pohyb vody, jehož prostřednictvím se v půdě pohybují i živiny. Přesouvají se z půdy na povrch kořenů rostlin hromadným tokem vody a difúzí. To, v jakém poměru tyto dva toky probíhají, opět závisí na obsahu vyskytujících se živin (Marschner 2012).

Pro odhad konkrétního podílu obsahu živin v půdě se provádějí chemické analýzy. Už v 19. století Justus von Liebig (1803–1873) pouhým pozorováním a spekulacemi objevil, že pro výživu rostlin jsou nezbytné i minerální látky obsažené v půdě. Dle Liebiga se jednalo o prvky

N, S, P, K, Ca, Mg, Si, Na a Fe. Díky jeho předpokladu se s minerálními prvky začalo experimentovat a bylo vybráno 14 prvků, které jsou považovány za nezbytné pro růst rostlin. Tyto prvky by měly splňovat tři kritéria: musejí se podílet na metabolismu rostliny, jejich funkce nesmí být nahraditelná jiným prvkem a rostlina bez nich není schopná prodělat celý svůj vývoj (Marschner 2012).

Všechny rostlinné živiny obsažené v půdě lze podle Mengela a Kirkbyho rozřadit do čtyř skupin v závislosti na jejich fyziologické funkci a biochemickém chování. Všechny čtyři skupiny, včetně stručné klasifikace jsou zobrazeny v tabulce 3 (Marschner 2012).

Tabulka 3: Klasifikace rostlinných živin dle Mengela a Kirkbyho (Marschner 2012).

Číslo skupiny	Živina	Popis skupiny živin
1	C, H, O, N, S	Hlavní složky organického rostlinného materiálu, složky aminokyselin, bílkovin, enzymů a nukleových kyselin
2	P, B, Si	Přijímány z půdního roztoku jako anorganické anionty/kyseliny (stejně přítomny i v rostlinách)
3	K, Na, Ca, Mg, Mn, Cl	Přijímány z půdního roztoku ve formě svých iontů (stejně přítomny i v rostlinách) s nespecifickými funkcemi – elektropotencionály
4	Fe, Cu, Zn, Mo	V rostlinách přítomny převážně v chelátové formě, usnadňují transport elektronů změnou valence

Živiny se v půdě a rostlinách vyskytují v různých množstvích, dle toho se dělí na mikroživiny a makroživiny. Mikroživiny jsou součástí molekul enzymů, jsou tedy nezbytné pouze v malých až stopových množstvích ve srovnání s celou rostlinou. Naopak makroživiny jsou složkami celých organických sloučenin. Tvoří proteiny, nukleové kyseliny nebo působí jako osmotika. Průměrné koncentrace minerálních prvků potřebných pro adekvátní růst rostlin jsou uvedené v tabulce 4. Je nutno dodat, že hodnoty živin se v průběhu vývoje a růstu rostliny mění a jejich množství se odráží i na koncentraci dalších minerálních látek (Marschner 2012).

Tabulka 4: Průměrné koncentrace minerálních prvků v sušině rostlinných výhonků dostačující pro adekvátní růst rostlin (Marschner 2012).

Prvek	Průměrná min. koncentrace (mg/kg)
Mo	0,1
Ni	0,1
Cu	6
Zn	20
Mn	50
Fe	100
Bór (B)	20
Cl	100
S	1 000

Prvek	Průměrná min. koncentrace (mg/kg)
P	2 000
Mg	2 000
Ca	5 000
K	10 000
N	15 000

Živiny získávané z půdy (nedostatek/nadbytek) mohou značně ovlivnit růst a vývoj kořenů rostlin. Největší vliv na správný vývoj kořenů má poskytnuté množství N. Zvýšený přísun N uvádí do pohybu růst kořenů, zejména kořenového vlášení, kořeny se tak stávají rozvětvenější a spíše jemnější. Zároveň se však zvětšuje jejich plocha, a tak podíl příjmu živin u kořene s nadměrným přísunem N může zůstat i v takovém případě velmi podobný jako u kořene se správným přísunem N. Zvýšený příjem N tedy vede ke snížení poměru kořen/nadzemní biomasa. Nedostatečný obsah N v půdě má opačný účinek – poměr kořen/nadzemní biomasa se zvyšuje. Rostlina na nízké množství N tedy reaguje zvětšením své kořenové plochy, což jí umožní lepší příjem živin z půdy. Podobným způsobem kořeny rostlin reagují i v případě P, a to ještě výrazněji (Marschner 2012).

3.2.3 Struktura a úrodnost

Při pěstování zeleniny je v souvislosti s půdou důležitá vhodná výška humusového půdního horizontu (od 40 do 60 cm), hloubka hladiny spodní vody, půdní úrodnost a její výživa a hnojení. Půdní struktura ovlivňuje pohyb vzduchu i vody v půdě, průběh klíčení semen, prorůstání kořenů, zpřístupnění živin nebo erozi půdy. Je tedy velmi důležitým předpokladem pro co nejvyšší úrodnost. Hladina spodní vody by se měla pro většinu druhů zeleniny nacházet v hloubce 60 – 120 cm, tak se docílí optimální závlahy kořenů (Koudela 2010).

Mělké horizonty jsou vhodné pro rostliny mělčeji kořenící, jako je salát a ředkvička. Optimální struktura půdy by měla být drobtovitá (mírně propustná a hlinitá). Příliš jílovitá půda zadržuje živiny a brání tak potřebnému provzdušnění. Naopak nadměrně písčité půdy zase propouští vodu příliš rychle, kořeny pak vysychají (Koudela 2010).

Půdní úrodnost je ovlivněna biologickou aktivitou půdy, s tou souvisejí organismy, které jsou její součástí – bakterie, houby a aktinomycety. Nejpočetnější skupinou fytohmoty jsou právě bakterie, které se starají o rozklad organické hmoty a zajišťují přístupnost živin pěstovaným rostlinám a udržování optimální půdní struktury. Podobnou úlohu plní v suchých a kyslejších půdách houby. Některé druhy zeleniny podporují symbiózu s mykorrhizními houbami. Tento vztah jim zajišťuje určitou ochranu proti chorobám a škůdcům. Poslední podstatnou skupinou organismů nacházejících se v půdě jsou aktinomycety. Aktinomycety se vyskytují spíše v sušších, alkalických půdách s pH nad 5 a jejich význam je podobný jako význam bakterií a hub (Koudela 2010).

3.2.4 Hnojení půdy

Pro maximální kvalitu produkce zeleniny je zapotřebí půdní hnojení. Bez něj by nebyly znovuobnoveny půdní živiny, které byly předchozí sklizní zeleniny odčerpány a nové sazenice by tak trpěly vysokým nedostatkem. Nové produkty zeleniny by poté měly nejen nižší nutriční

hodnotu, ale také významně nižší obsah pro lidské tělo podstatných minerálních látek. Produkty z nehojených stanovišť se také většinou vyznačují vyšším podílem rizikových prvků, než produkty ze stanovišť hnojených (Vaněk et al. 2012).

Co se týče výživy a hnojení, je zelenina ve srovnání s jinými polními plodinami velmi náročnou rostlinou. Každý druh a odrůda vyžaduje odlišné podmínky dodání živin, které závisí i na kvalitě a bohatosti půdy. Hnojení lze rozdělit do tří typů, a to na vápnění, na hnojení statkovými hnojivy a hnojení minerálními hnojivy (Vaněk et al. 2012).

Jestli a v jaké míře ornou půdu vápnit rozhoduje její zrnitost a pH. Vápnění funguje také asanačně a jako prevence proti výskytu některých mykóz (Koudela 2010; Vaněk et al. 2012).

Jako minerální hnojení orných půd se využívají fosforečná, draselná a hořčíková hnojiva – často kombinovaně. V souvislosti s mikrobiální aktivitou dochází v půdě k uvolňování živin potřebných pro dobrý vývoj rostlin – především N (Koudela 2010). Z toho důvodu je hnojení N nejčastěji prováděné hnojení vůbec. Přístup rostlin k N výrazně ovlivňuje mnoho faktorů; závisí na něm tvorba biomasy, celkový růst rostlin, velikost plodů i květů, barva, vzhled, zdravotní stav rostlin, jejich odolnost vůči mrazu a závisí na něm i tvorba dusíkatých látek (Vaněk et al. 2012).

Posledním typem je statkové hnojení. Pro udržení a zvýšení půdní úrodnosti prostřednictvím organického hnojení lze využít chlévský hnůj, kompost nebo zelené hnojení. (Koudela 2010). Pro hnojení zeleniny se nejvíce využívají právě organická statková hnojiva – všechna klasická stájová a statková hnojiva, jako je hnůj nebo močůvka, nebo komposty (Vaněk et al. 2012).

3.3 Rizikové prvky

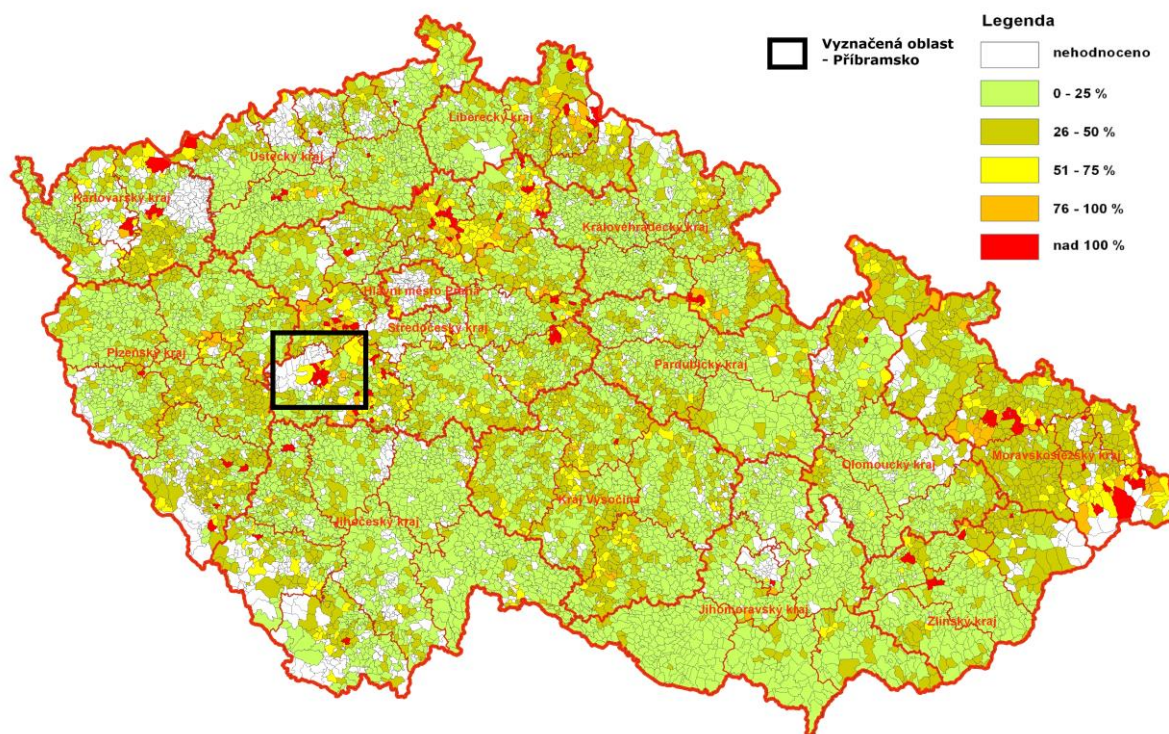
3.3.1 Kadmiium

V přírodě se Cd nachází jako přirozeně se vyskytující prvek, jeví se jako hromadící se jed a výskyt ve vyšší míře je v přírodě velmi závažný. Uváděná koncentrace Cd v zemské kůře se pohybuje kolem 0,15 – 0,20 mg/kg (Adriano 2001). Dle Krauskopfa (1979) je Cd 64. nejvyskytovanější prvek zemské kůry. Nejčastěji se vyskytuje v rudách ve spojení se Zn. V přírodních půdách je koncentrace Cd značně ovlivňována množstvím prvku v matečné hornině. V zeminách je přirozená hodnota Cd 0,4 mg/kg, v zemědělských půdách se pak pohybuje kolem 1 mg/kg, nebo méně. V hlavní Zn rudě, sfaleritu, se obsah Cd pohybuje od 0,1 až k 5 % obsahu (Adriano 2001; Trebichavský et al. 2005).

V půdním profilu je Cd obecně značně málo mobilní (při aplikaci např. čistírenského kalu Cd zůstane přítomno pouze v hloubce, do které se kal dostal). Do přírody se dostává jak jejími vlastními zdroji (zvětrávání matečných hornin, sopečné výbuchy, prach, podzemní vody apod.), tak antropogenně. Nejčteněji spalováním fosilních paliv a odpadů nebo průmyslovou výrobou zabývající se kovy (Adriano 2001; Trebichavský et al. 2005).

Po provedeném měření bylo v příbramském sfaleritu nalezeno 0,4 % Cd. Nejvíce Cd bylo zjištěno v okolí Bohutína, kde se jeho množství pohybuje až kolem 1,4 % (Trebichavský et al. 2005). Maximálně přípustná hodnota Cd v zemědělské půdě pro Českou republiku se dle vyhlášky č. 153/2016 Sb. udává 0,4 – 1 mg/kg suchého vzorku (podle typu struktury půdy). Na

obrázku 7 je znázorněna mapa ČR, na které jsou zaneseny průměrné obsahy Cd podle katastrálního území jako limitní procentuální hodnoty.



Obrázek 7: Obsah Cd v mg/kg v zemědělských půdách České republiky pro 2020 (Ministerstvo zemědělství 2021).

Z měření, které probíhalo v letech 1998 až 2013, prováděného Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (ÚKZÚZ) lze vyčíst další oblasti ČR, ve kterých je Cd přítomno v nadlimitním množství. Mimo okolí Příbrami jsou dalšími postiženými oblastmi s vyšším obsahem Cd Moravskoslezský, Ústecký a Karlovarský kraj (Ministerstvo zemědělství 2021).

Dostupnost Cd pro živé organismy záleží na mnoha faktorech, jako jsou například změna pH půdy nebo desorpce a adsorpce půdních složek. Změna pH půdy má vliv na sorpci Cd. S rostoucím pH u strukturních půdních složek klesá schopnost sorpce Cd. Při pH 5 půdní složky absorbují až 90 % Cd, při zvýšeném pH 9 už jen 5 %. Zároveň s rostoucím pH silně klesá rozpustnost Cd, při pH 7 je zcela nerozpustné. Nejméně mobilní je Cd v zásaditém prostředí (Eisler 2007).

K rostlinám se Cd může dostat hned několika cestami. Přímou z již kontaminované půdy, prostřednictvím hnojení, závlahy (dešťová, podzemní, užitková, pitná voda) nebo kontaminací kalů z čističek odpadních vod. Kadmium se k rostlinám může dostat i přímo z ovzduší. Nejvyšší koncentrace je přítomna ve velkých městech, díky vysoké frekvenci automobilové dopravy a jejích výfukových plynů (Adriano 2001; Trebichavský et al. 2005).

Celkové množství absorpce Cd rostlinami je ovlivňováno a zmírňováno půdními faktory, kterými jsou pH, redoxní potenciál, obsah ostatních kovů v půdě, nebo hnojení. Na příjem Cd má vliv i rostlinný druh a genotyp. Průměrný obsah Cd v rostlinách se pohybuje

kolem 0,08 mg/kg, u rostlin pěstovaných na nekontaminované půdě je to obecně pod 1 mg/kg. Nejkoncentrovanější je Cd v kořenech, kterými je z velké míry přijímáno – čím vyšší rostlina a delší listy, tím je v nich obsah Cd nižší – nízká mobilita + větší rostlinná hmota (Adriano 2001; Trebichavský et al. 2005).

I přes vysokou biologickou dostupnost Cd pro rostliny je pouze jeho malá část z půdy rostlinami přijímána. olovoum je do určité úrovně fyto toxické, což je jednou z příčin, která může snížit výnos rostlin (Adriano 2001). Existuje pozitivní korelace mezi absorpcí Cd zeleninou a obsahem minerálních živin. Tato korelace je nejspíš zapříčiněna fyziologickými změnami v rostlinách, které způsobují zvýšený příjem živin nebo jejich translokaci – mechanismus kompenzace narušeného metabolismu rostlin (Yang et al. 2016).

Pro zeleninu je Cd nejen biologicky dostupné, ale i toxické v daleko nižších koncentracích než ostatní rizikové prvky, např. Zn, Pb, Cu. Obsah Cd u zeleniny by neměl překročit 0,03 mg/kg suché biomasy. V praxi bývá obsah Cd v zelenině často vyšší. Hodnota je však vztahována na všechny části zeleniny, i na ty, které se běžně nekonzumují (Adriano 2001; Trebichavský et al. 2005).

3.3.2 Olovo

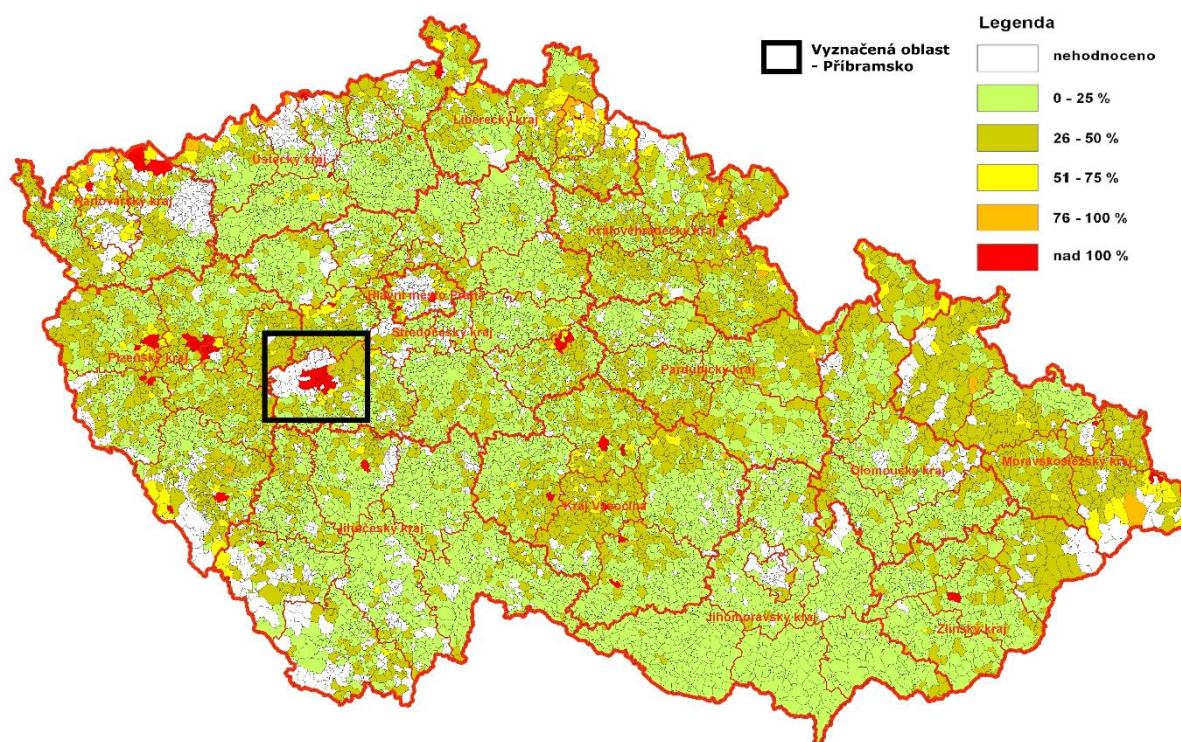
Olovo se řadí k těžkým kovům s atomovým číslem převyšujícím 60 a zastává z nich nejčetnější podíl v rámci obsahu v zemské kůře. Je součástí až 200 minerálů, nejběžněji se však vyskytuje jako galenit, cerusit nebo anglesit (Adriano 2001). Migraci Pb ve všech sférách z 95 % ovlivňují antropogenní zdroje (výfukové plyny automobilů, spalování fosilních paliv, strojírenský průmysl). Roční globální emise jsou celosvětově odhadovány na cca 500 tis. tun Pb, z toho 28 tis. náleží České republice. Olovo je dodnes téměř nejvíce využívaný průmyslový kov (Trebichavský et al. 2005).

V půdách se Pb vyskytuje v mnoha sloučeninách, obecně více v uhlí a v organických břidlicích než v jiných typech hornin. Z hlediska struktury a druhu půd nejvíce Pb obsahují půdy jílovité a až v poslední řadě půdy písčité. Jeho rozpustnost v půdě s pH 5 – 9 je asi 100x nižší než rozpustnost Cd. V porovnání s ním je ale Pb asi 20x méně toxické. Průměrný obsah Pb v půdě se pohybuje mezi 13 až 16 mg/kg (Adriano 2001).

V České republice se obsah Pb v půdách pohybuje mezi 23 – 93 mg/kg, v ornici je to až o 10 mg/kg více (Trebichavský et al. 2005). Nejvyšší hodnoty se nacházejí v půdách blízkých lidskému osídlení – antropogenní zdroje (Adriano 2001; Trebichavský et al. 2005). V minulosti v České republice probíhala těžba mnoha olovnatých rud. V dnešní době je však těžba úplně zastavena a vlastní výroba, jako i ta v Kovohutích Příbram, se specializuje na zpracování olověných odpadů a výrobu sekundárního kovu (Trebichavský et al. 2005).

Při měření obsahu Pb v roce 1992 bylo nejvíce nadlimitních hodnot naměřeno na Příbramsku, bylo zde objeveno celkem 78 nadlimitních lokalit. Vyšší obsahy Pb se vyskytují také v půdách Prahy a obecně kolem dálnic (Trebichavský et al. 2005). Vyhláška č. 153/2016 Sb. udává maximální přípustnou hodnotu Pb v zemědělské půdě pro Českou republiku 100 – 140 mg/kg suchého vzorku. Mapa ČR na obrázku 8 znázorňuje naměřené průměrné obsahy Pb podle katastrálního území jako maximálně přípustné procentuální hodnoty. Opět zde lze odečíst vysoké hodnoty v okolí Příbramska. Vysoké koncentrace Pb jsou také v kraji Karlovarském

nebo Plzeňském. Dalšími rizikovými oblastmi jsou dle dat nashromážděných během let 1998 – 2013 kraj Karlovarský, Ústecký, a Liberecký (Ministerstvo zemědělství 2021).



Obrázek 8: Obsah Pb v mg/kg v zemědělských půdách České republiky pro rok 2020 (Ministerstvo zemědělství 2021).

K uvolnění Pb z usazenin dojde v případě náhlého poklesu pH nebo přeměny iontů. Část Pb iontů se při uvolňování může přeměnit na tetraalkylové sloučeniny Pb (pouze 10 %). Olovo se řadí k nejméně mobilním prvkům, a to díky nízké rozpustnosti Pb solí, ve kterých se často vyskytuje, a vysoké vazebnosti Pb na jiné materiály (jíl). S rostoucím pH rozpustnost Pb klesá. Nejvyšší rozpustnosti (10 g/l) dosahuje při pH 5 (Eisler 2007).

Rostliny mohou akumulovat Pb prostřednictvím kořenů z půdy nebo listů z ovzduší a závlahy. Zelenina absorbuje Pb i prostřednictvím povrchu plodů (Trebichavský et al. 2005).

Množství Pb ulpěného na povrchu plodů a listů závisí na několika faktorech – na velikosti a chemickém složení částic aerosolu, na drsnosti, stáří, vlhkosti a lepivosti listů a na meteorologických vlastnostech, jako jsou relativní vlhkost, hustota oblačnosti nebo rychlost větru. Atmosférické Pb je zcela nerozpustné, a tak se nepředpokládá, že by výrazně pronikalo do povrchu listů nebo plodů, a až 80 % lze smýt vodou. Usazené olovnaté částice na listech však mohou blokovat jejich průduchy a tím narušovat normální výměnu plynů mezi listem a okolním vzduchem. Neexistuje ale žádná studie, která by potvrdila, že olovnaté částice nějakým způsobem omezují proces fotosyntézy. Komplexně usazené Pb má pak tendenci během rychlé fáze růstu rostliny ubývat, což je odůvodněné zředěním díky nárůstu biomasy (Adriano 2001). Převážně se Pb hromadí v kořenech rostlin a může v rostlinách měnit několik fyziologických a biochemických procesů, včetně mitochondriálního dýchání nebo

fotosyntetického transportu elektronů v izolovaných chloroplastech (Adriano 2001; Trebichavský et al. 2005).

Průměrný obsah Pb v zelenině se pohybuje kolem 1,75 mg/kg v sušině. Zvláště vysoký podíl Pb má špenát, mrkev nebo zelí. U těchto druhů zeleniny se obsah Pb může pohybovat až kolem 12 mg/kg (Trebichavský et al. 2005).

Snížený výskyt půdních bakterií a členovců značí, že je Pb v kontaminované půdě pravděpodobně více toxické pro přítomné mikroorganismy než pro rostliny samotné. Dle Adriana (2001) určité mikroorganismy v půdách a jezerních sedimentech dokáží biotransformovat anorganické Pb na organické. Organické sloučeniny jsou organismy obecně lépe vstřebatelné, a tak se organické Pb stává potenciálně toxičtějším.

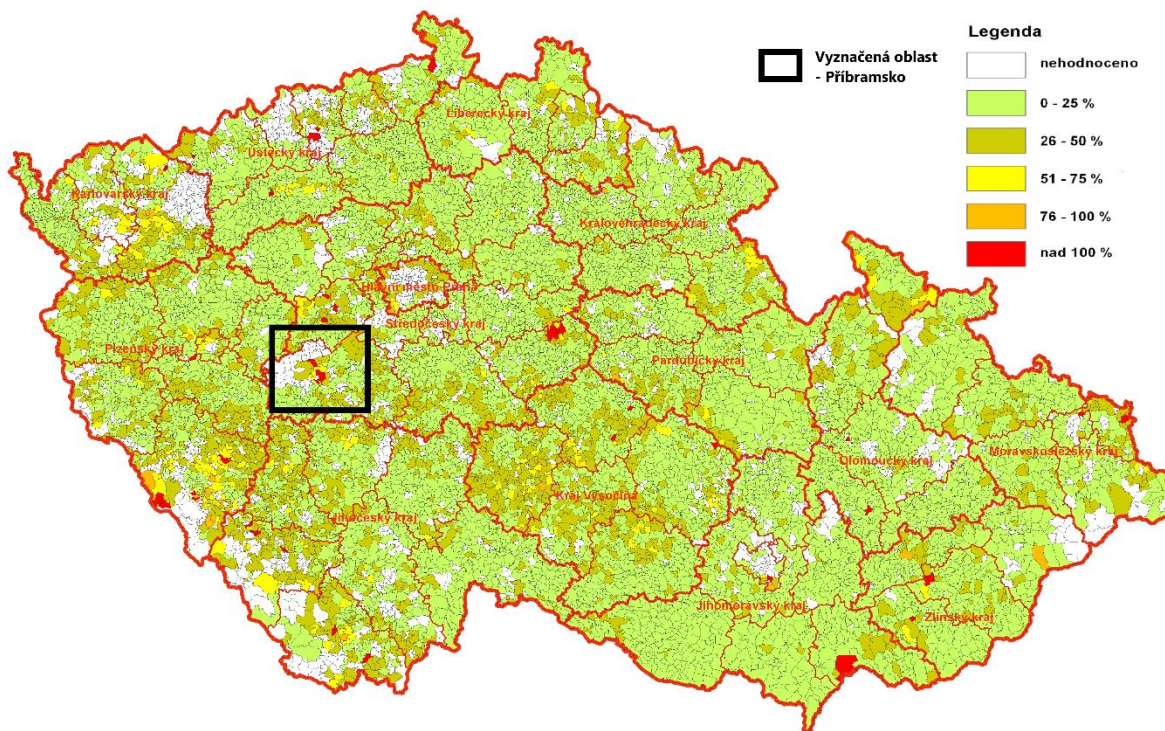
3.3.3 Zinek

V půdě se Zn stejně jako Cd a Pb vyskytuje v několika formách – vodorozpustný (pouze 1 % z celkového množství), výměnný, vázaný a reziduální. Reziduální, nerozpustný, je součástí minerálů. Vázaný se váže v komplexech a k organické hmotě a výměnná forma Zn se vyskytuje v organických a minerálních koloidech a v půdním roztoku (Adriano 2001; Trebichavský et al. 2005). Obsah Zn v půdě je závislý na povaze matečné horniny, organické hmotě, struktuře a pH půdy (Adriano 2001). Nejvyskytovanějšími a pro průmyslovou výrobu používanými zinkovými rudami jsou sulfidy sfalerit a wurtzit a jejich produkty zvětrávání, smithsonit a hemimorfit. Zinek se používá například jako ochranný povlak pro železo a ocel pro zabránění koroze. Je součástí mnoha předmětů v domácnosti (nádobí, kosmetika, nátěrové barvy). Zinek se zpracovává i při výrobě automobilových pneumatik, lepidel nebo zemědělských insekticidů (Adriano 2001; Trebichavský et al. 2005).

Vysoký výskyt tohoto prvku může mimo průmyslové oblasti nastat i při používání průmyslových kompostů, nebo v případě zasolených půd (Adriano 2001; Trebichavský et al. 2005). Globální emise Zn, stejně jako Pb, jsou způsobeny z většiny antropogenními zdroji. Do životního prostředí se dostává prostřednictvím spalování uhlí a odpadů a průmyslovými emisemi z úpravy a výroby různých kovů a jiných materiálů (Trebichavský et al. 2005).

V zemědělských půdách České republiky se obsah Zn v průměru pohybuje kolem 82 mg/kg, což je cca o 12 mg/kg více, než je celosvětový průměr. Mezi evidovanými ložisky Zn v ČR se vyskytuje také Příbram. V blízkosti úpravny rudy zde byla zjištěna kontaminace 910 mg/kg Zn. Těžba zinkových rud na počátku devadesátých let dvacátého století výrazně klesla a roku 1993 byla úplně zastavena (Trebichavský et al. 2005). Maximálně přípustná hodnota Zn v zemědělské půdě byla pro ČR stanovena vyhláškou č. 153/2016 Sb. na 130 – 200 mg/kg suchého vzorku, rozmezí udáváno opět v závislosti na druhu půdy.

Na obrázku 9 lze vidět, že jednou z kontaminovaných oblastí ČR je i pro poslední roky opět okolí Příbramska. Mezi další se řadí kontaminované ložisko ve Středočeském kraji, nebo v kraji Jihomoravském či Plzeňském. Dle nasbíraných dat ÚKZÚZ v letech 1998 až 2013 byly dalšími kontaminací Zn postiženými kraji kraj Karlovarský, Ústecký a Plzeňský (Ministerstvo zemědělství 2021).



Obrázek 9: Obsah Zn v mg/kg v zemědělských půdách České republiky pro rok 2020 (Ministerstvo zemědělství 2021).

Vzhledem k biogeochemické podobnosti Zn a Cd lze očekávat v půdě a později i v rostlině jejich antagonistickou interakci. Bylo dokázáno, že zvýší-li se obsah Zn, dojde tak ke snížení obsahu Cd. Antagonismus mezi Zn a Cd v rámci výživy rostlin může být částečně vysvětlen jejich sníženou adsorpcí, konkurenční povahou pro sorpční místa v případě současné existence těchto dvou kovů (Adriano 2001).

Zinek je pro výživu rostlin nezbytným prvkem. Podílí se na řadě metabolických enzymů, je nezbytný pro stabilitu cytoplazmatických ribozomů a plazmatické membrány kořenových buněk, katalyzuje proces oxidace. Zapojuje se do syntézy bílkovin, metabolismu sacharidů a syntézy auxinů, např. kyseliny indolyl-3-octové. V zemědělství jsou jeho největším zdrojem zinková hnojiva (Adriano 2001; Feng et al. 2021).

V rostlinách se Zn nejvíce kumuluje v listech a jeho průměrný obsah je kolem 18 mg/kg. Ze zeleniny byly nejvyšší hodnoty nalezeny u cibule, mrkve a rajčat, u nichž se obsah Zn pohyboval od 65 do 100 mg/kg (Adriano 2001; Trebichavský et al. 2005).

Nedostatek Zn se projevuje chlorózou listů, zužováním jejich šířky nebo zmenšováním celkové velikosti listů doprovázené intervenálním žloutnutím (porucha syntézy chlorofylu), což ovlivní obsah chlorofylu v listech. Dalšími příznaky nedostatku jsou zkrácená délka internodia na větvích, zmenšení plodů, snížený obsah biomasy listů a pozměněná průchodová vodivost, či samotný proces fotosyntézy (Adriano 2001; Trebichavský et al. 2005). Naopak nadměrná absorpce Zn z půdy poškozuje rostlinné buňky a v konečném důsledku brzdí růst rostliny (Feng et al. 2021).

4 Metodika

Pro hodnocení vlivu antropogenní kontaminace půdy na změny v kvalitě tří druhů zelenin byl založen vegetační nádobový pokus ve skleníku Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin. Pro pokus byla vybrána ředkvička jako zástupce kořenové zeleniny, salát hlávkový a petržel naťová hladká jako zástupci listové zeleniny.

4.1 Nádobový pokus

V nádobovém pokusu byly použity dva typy půd, jejichž základní charakteristika je uvedena v tabulce 5. Půda z lokality Praha-Suchdol (50°8'8" N, 14°22'43" E) byla použita jako kontrolní varianta s ohledem na stanovené pseudo-totální obsahy rizikových prvků, které jsou pod legislativním limitem ČR pro preventivní hodnoty rizikových prvků v běžných půdách se zemědělským využitím (Vyhláška č. 153/2016 Sb.). Pokusná půda s antropogenní kontaminací byla z lokality Příbramsko-Podlesí (49°42'24" N, 13°58'32" E). Půda z této oblasti je silně kontaminována rizikovými prvky z minulého provozu Kovohutí Příbram.

Tabulka 5: Základní charakteristika pokusných půd.

Půdní typ a subtyp	Suchdol	Podlesí
	Černozem haplická	Kambizem modální
pH _{H2O} (-)	7,2	6,1
KVK (mmol ₍₊₎ /kg)	258	134
C _{org.} (%)	1,8	2,1
Cd (mg/kg)	0,4 ± 0,02	3,7 ± 0,05
Pb (mg/kg)	39,9 ± 1,9	1155,2 ± 99,8
Zn (mg/kg)	103,6 ± 1,8	202,1 ± 3,2

KVK – kationtová výměnná kapacita; C_{org.} – organický uhlík; limitní hodnoty: Cd – 0,5 mg/kg, Pb – 60 mg/kg, Zn – 120 mg/kg

Do plastových nádob bylo odváženo 2,5 kg zhomogenizované půdy, která byla hnojena N (dávka 0,5 g/nádobu, ve formě NH₄NO₃), P a K (dávka 0,16 a 0,4 g/nádobu, ve formě K₂HPO₄). Obě varianty byly provedeny ve čtyřech opakováních. Nádoby byly rozmístěny v náhodném uspořádání a během pokusu byly pravidelně přemísťovány z důvodu omezení vlivu vnějšího prostředí.

Zelenina byla pěstována v pořadí ředkvička, salát hlávkový a petržel naťová ve skleníku při parametrech: teplota vzduchu den/noc 22 °C/ 18 °C, půdní vlhkost 60 % maximální vodní kapacity, světelný režim den/noc 16 h/ 8 h, intenzita osvětlení 375 W/m².

4.1.1 Ředkvička setá

Osivo ředkvičky seté (*Raphanus sativus* L. odrůda VIOLA) firmy Nohel Garden a.s. bylo zakoupeno v maloobchodu. V každé nádobě bylo vytvořeno 7 důlků se semeny této odrůdy ředkvičky, jež je charakteristická větší, kulovitou a jasně fialovou bulvou s bílou jemnou dužninou. Po vzejití byly ředkvičky vyjednoceny na 7 rostlin na nádobu (obrázek 10).

Ředkvičky byly sklizeny po 50 dnech růstu v pokusných nádobách. Biomasa ředkviček byla rozdělena na listy, bulvu a kořen. Po omytí, osušení buničitou vatou a zvážení byly jednotlivé části biomasy alikvotně rozděleny pro příslušné analýzy. Zpracování bulev zahrnovalo po zvážení ještě krok nastrohání biomasy. Část čerstvé biomasy (listy, bulva, kořen) byla dána na sušení pro analýzu obsahu prvků a ze zbylé čerstvé biomasy (listy, bulva) byla extrahována šťáva, která byla uchována při $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro stanovení obsahu kyseliny askorbové a orientační stanovení obsahu nitrátů.



Obrázek 10: Nádoby po vyjednocení ředkviček.

4.1.2 Salát setý

Sadba salátu setého (*Lactuca sativa* L. odrůda ADINAL) byla zakoupena ve výukovém skleníku České zemědělské univerzity v Praze. Rostliny v sadbě byly jednotné velikosti s 8 vyvinutými listy (obrázek 11). Do každé nádoby byla zasazena jedna rostlina této odrůdy hlávkového salátu, jenž je charakteristická kulatou a středně velkou hlávkou. Pro pěstování salátu byly použity nádoby s půdou po pěstování ředkviček, která byla po jejich sklizni homogenizována.

Salát byl sklizen po 45 dnech růstu v pokusných nádobách. Biomasa salátu byla rozdělena na listy a kořeny a následně zpracována pro příslušné analýzy. Listy byly zváženy a alikvotní část biomasy byla dána na sušení pro analýzu obsahu prvků a ze zbylé čerstvé biomasy byla extrahována šťáva, která byla uchována při $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro stanovení obsahu kyseliny askorbové a orientační stanovení obsahu nitrátů. Kořeny byly po omytí demineralizovanou vodou a osušení pomocí buničité vaty zváženy a dány na sušení pro analýzu obsahu prvků.



Obrázek 11: Salát setý v den zasazení do nádob.

4.1.3 Petržel naťová

Osivo petržele naťové hladké (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nyman ex A. W. Hill) firmy Nohel Garden a.s. bylo zakoupeno v maloobchodu. Do každé nádoby bylo vyseto 15 semen. Pro pěstování petržele byly použity nádoby s půdou po pěstování salátu, která byla před zasetím homogenizována.

Petržel byla sklizena po 60 dnech růstu v pokusných nádobách. Biomasa petržele byla rozdělena na listy a kořen a následně zpracována pro příslušné analýzy stejným způsobem jako biomasa salátu.

4.2 Analýza rostlinné biomasy

Biomasa zelenin byla sušena do konstantní hmotnosti 7 dní při 40 °C (sušárna Venticell, BMT Medical Technology). Následně byly vzorky zváženy pro výnos suché biomasy a rozemlety na analytickém mlýnku IKA A11 basic (Werke). Po homogenizaci materiálu byl ve vzorcích biomasy stanoven obsah prvků.

V extraktech získaných z čerstvé biomasy konzumních částí zelenin – listy a bulva, bylo provedeno stanovení obsahu kyseliny askorbové a orientační stanovení obsahu nitrátů. Lisováním alikvotní části čerstvé biomasy v plastové injekční stříkačce byl získán 1 ml extraktu, který byl následně uchován ve zkumavkách v hlubokomrazícím boxu.

4.2.1 Stanovení obsahu prvků

V navážce suché biomasy zelenin ($0,5 \pm 0,05$ g) byl po nízkotlakém mikrovlnném rozkladu v přístroji Ethos 1 (MLS GmbH) stanoven celkový obsah Ca, Cd, Fe, Mg, Pb a Zn pomocí optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, Agilent 720, Agilent Technologies Inc.) a obsah K pomocí plamenové atomové absorpční spektrometrie (FAAS, VARIAN SpectrAA-280). Rozklad biomasy probíhal v 10 ml směsi HNO_3 a H_2O_2 v poměru 4:1 (v/v) po 60 min při výkon 1000 – 1200 W a teplotě 120 – 180 °C. Po kvantitativním převedení vzorků z teflonových nádob do 50 ml zkumavek byl objem doplněn po rysku demineralizovanou vodou. Certifikovaný referenční materiál, SRM 1570a (listy špenátu, Analytika) a slepé vzorky byly použity pro kontrolu kvality měření. Analýza vzorků, referenčního materiálu a slepých vzorků byla provedena ve dvou opakováních.

4.2.2 Stanovení obsahu kyseliny askorbové

V extraktech čerstvé biomasy konzumních částí zelenin (listy a bulva) byl kolorimetricky stanoven obsah kyseliny askorbové pomocí komerčně prodáváného setu Ascorbic Acid Assay Kit II (Sigma-Aldrich) dle dodávaného návodu. Sada při měření obsahu kyseliny askorbové využívá barevné změny, ke které dochází při redukci Fe^{3+} iontů na Fe^{2+} ionty za přítomnosti antioxidantů ve vzorku. Absorbance vzorků a standardů kalibrační řady byla měřena při 593 nm přístrojem TECAN Infinite® M200 (Tecan). Analýza vzorků byla provedena ve dvou opakováních na nádobu.

4.2.3 Stanovení obsahu nitrátů

V extraktech čerstvé biomasy konzumních částí zelenin (listy a bulva) byl orientačně stanoven obsah nitrátů pomocí přístroje LAQUAtwin NO₃⁻ meter (HORIBA Advanced Techno Co., Ltd.) dle návodu výrobce. Kalibrace přístroje byla před měřením za pomoci dodávaných standardů o známé koncentraci (150 a 2000 ppm). Měření bylo provedeno ve třech opakováních na nádobu.

4.3 Statistická analýza

Výsledky analýz byly statisticky vyhodnoceny pomocí programu Statistica 12.0 (StatSoft Inc.). Leveneův a Shapiro-Wilkův test byl použit pro hodnocení homogenity rozptylu a normality. Rozdíl mezi variantami u sledovaných parametrů byl hodnocen pomocí analýzy rozptylu jednoduchého třídění (one-way ANOVA) s Fisherovým LSD post-hoc testem ($p < 0,05$). Pro vizualizaci výsledků byl použit program Excel (Microsoft Office).

5 Výsledky

5.1 Výnos biomasy

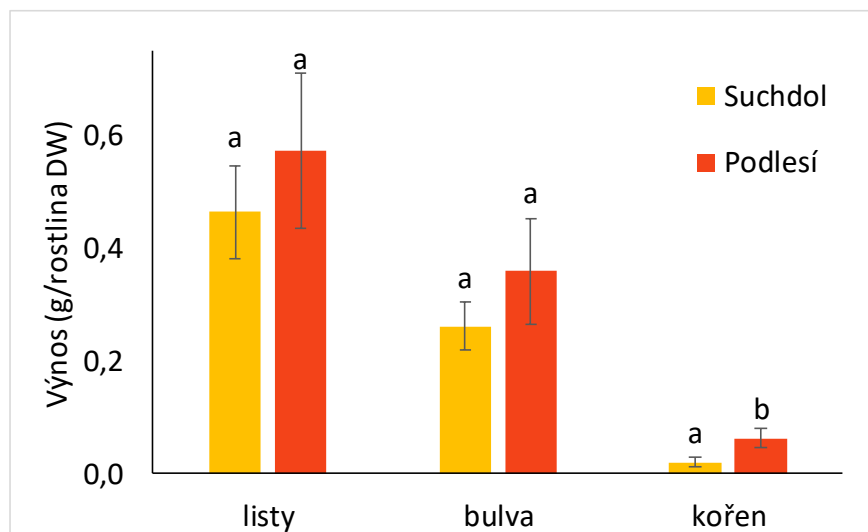
5.1.1 Ředkvička setá

V porovnání s kontrolou nebyl po vizuální stránce výnos čerstvé biomasy (FW) listů ředkvičky výrazně snížen (obrázek 13). U varianty Podlesí bylo pozorováno mírné žloutnutí listů, jako projev chlorózy a omezení růstu rostlin.



Obrázek 13: Ředkvička po 50 dnech růstu.

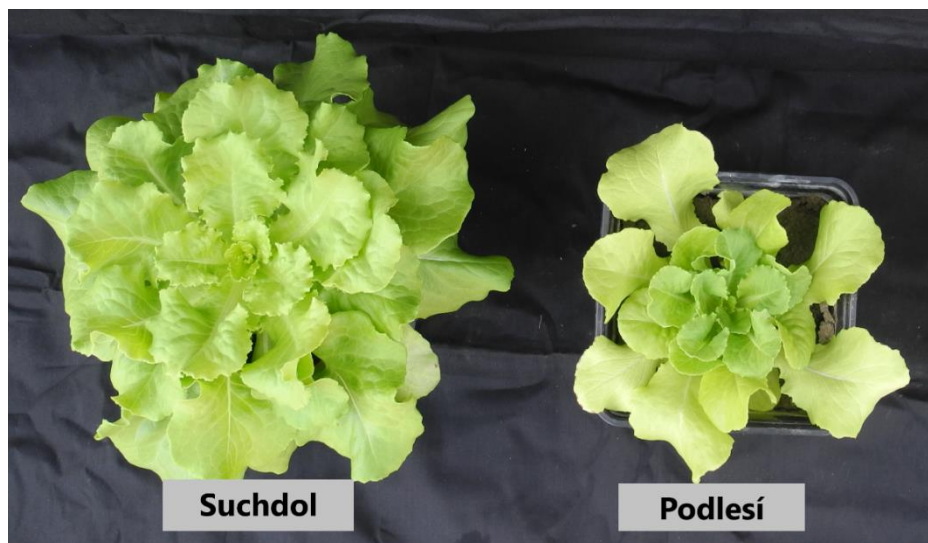
Výsledky výnosu ukazují zvýšení suché biomasy (DW) listů (o 23,4 %), bulv (o 37,6 %) a kořenů (o 213,4 %) ředkviček rostoucích na kontaminované půdě v porovnání s kontrolou (graf 1). Tato změna však nebyla statisticky významná s výjimkou DW kořenů.



Graf 1: Výnos suché biomasy ředkvičky.

5.1.2 Salát setý

Jak lze vidět na obrázku 14 a 15, vliv kontaminované půdy na listy a kořeny salátu byl značný. Kontaminovaná varianta salátu byla výrazně omezeného vzrůstu oproti variantě kontrolní. Na listech kontaminovaného salátu se navíc objevily známky chlorózy.

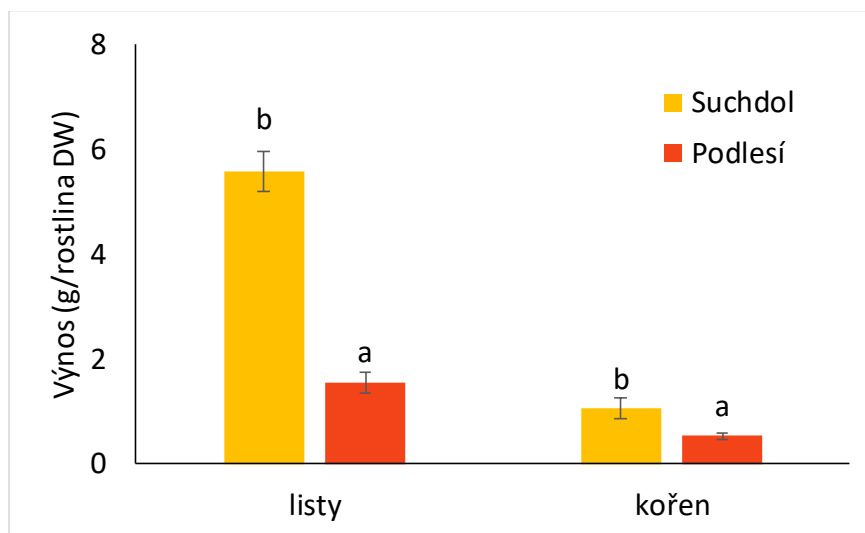


Obrázek 14: Salát po 45 dnech růstu.



Obrázek 15: Kořeny salátu po 45 dnech růstu.

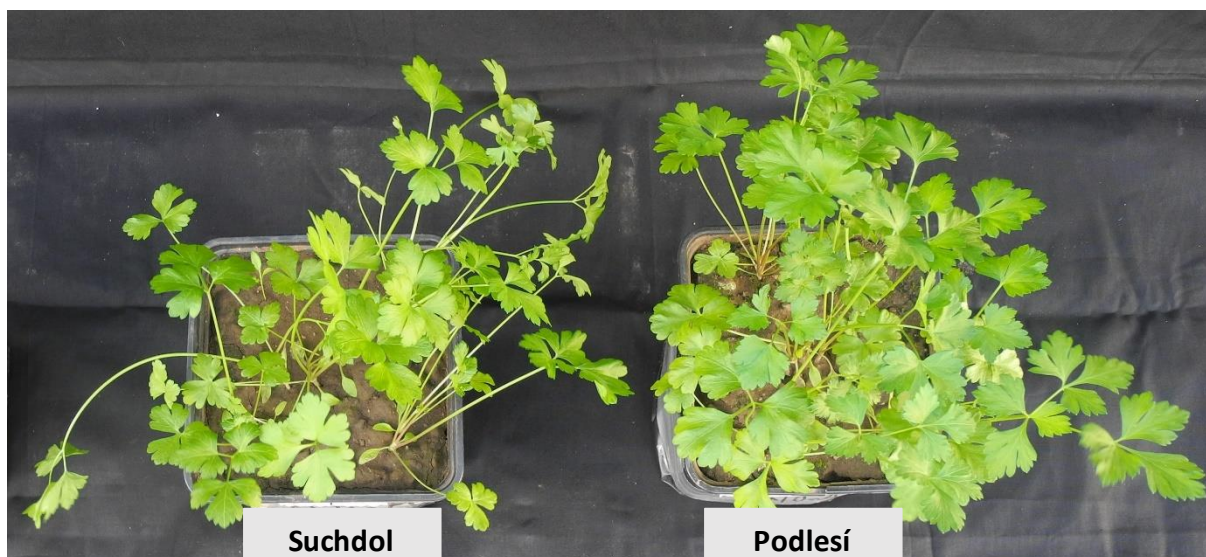
U výnosu DW listů salátu došlo v porovnání s kontrolou vlivem kontaminace k 72,2% poklesu, výnos DW kořenů salátu byl snížen na polovinu (graf 2). V obou případech byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi variantami.



Graf 2: Výnos suché biomasy salátu.

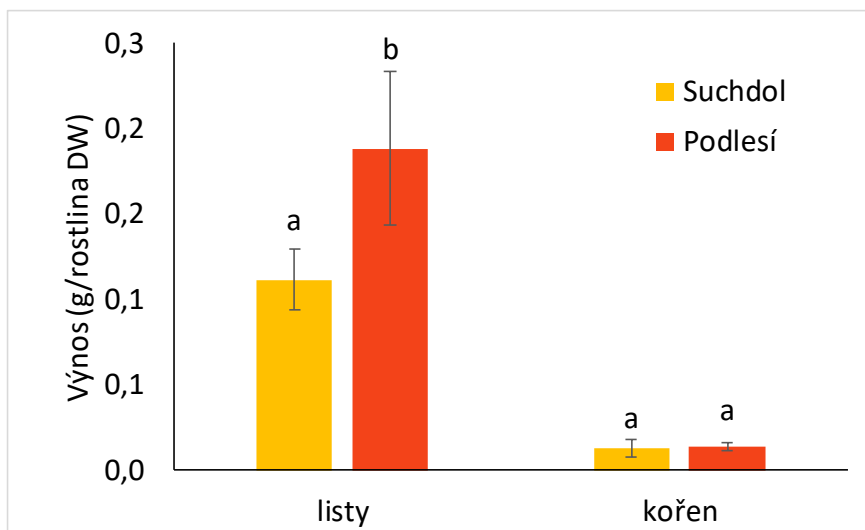
5.1.3 Petrželnaťová

Výnos FW listů petržele byl znatelně vyšší na kontaminované variantě v porovnání s kontrolou (obrázek 16). Listy kontaminované varianty petržele dle vizuálního posouzení netrpěly žádnými známkami zažloutnutí či jiným zjevným nedostatkem.



Obrázek 16: Petržel po 60 dnech růstu.

Výnos DW listů byl o 68,7 % vyšší na kontaminované variantě v porovnání s kontrolou (graf 3). Výnos DW listů pokusné varianty se statisticky významně lišil od výnosu kontrolní varianty. Výnos DW kořenů byl o 4,4 % vyšší na kontaminované variantě v porovnání s kontrolou (graf 3). Rozdíl výnosu kořenů statisticky průkazný nebyl.



Graf 3: Výnos suché biomasy petržele.

5.2 Obsah prvků

5.2.1 Rizikové prvky

Obsah Cd, Pb a Zn ve všech pokusných zeleninách byl u kontaminované varianty vyšší než v kontrolní variantě. Veškeré rozdíly rizikových prvků mezi kontaminovanou a kontrolní variantou jsou statisticky významné (tabulka 6).

Tabulka 6: Obsah rizikových prvků (mg/kg DW) v zelenině.

varianta	Cd		Pb		Zn		
	Suchdol	Podlesí	Suchdol	Podlesí	Suchdol	Podlesí	
ředkvička	listy	0,6 ± 0,06 ^a	8,5 ± 1,9 ^b	< 2	15,6 ± 5,5	34,6 ± 2,3 ^a	108,2 ± 19,9 ^b
	bulva	0,3 ± 0,08 ^a	3,9 ± 0,4 ^b	< 2	30 ± 8,9	38,3 ± 15,2 ^a	58,2 ± 7,07 ^b
	kořen	0,5 ± 0,02 ^a	5 ± 0,2 ^b	< 2	158,3 ± 3,5	33,1 ± 0,5 ^a	69,2 ± 0,6 ^b
salát	listy	1,1 ± 0,2 ^a	29,3 ± 1,3 ^b	< 2	23 ± 1,9	26 ± 3,8 ^a	92 ± 10 ^b
	kořen	1 ± 0,08 ^a	11,2 ± 1,5 ^b	< 2	90,1 ± 5,5	57,1 ± 1,8 ^a	103,1 ± 4,3 ^b
petržel	listy	0,4 ± 0,1 ^a	23,9 ± 2,7 ^b	< 2	37 ± 2,7	38,7 ± 6,4 ^a	180 ± 22,4 ^b
	kořen	0,3 ± 0,07 ^a	25,6 ± 7,9 ^b	< 2	184 ± 48,2	46,3 ± 5,3 ^a	131,8 ± 42,6 ^b

U Cd byl jeho obsah 9,2 až 15krát vyšší (listy, bulva, kořen) v případě kontaminované varianty ředkvičky oproti kontrole. Obsah Cd u kontaminované varianty salátu byl 11,6 až 26,7krát vyšší (listy, kořen) v porovnání s kontrolou a petržel pěstovaná v kontaminované půdě dosáhla obsahu Cd 61,3 až 80,1krát (listy, kořen) vyššího než petržel pěstovaná v půdě kontrolní. Ze sledované zeleniny nejvíce Cd akumulovala petržel, a to jak v kořenech, tak listech. Ve zbylých druzích zeleniny byla akumulace výrazně vyšší v listech oproti kořenům.

Obsah Pb v kontrolní zelenině byl pod mezí detekce, která je pro daný prvek 2 mg/kg. Naopak v kontaminované variantě zeleniny byl obsah Pb několikanásobně vyšší. V případě kontaminované ředkvičky se obsah Pb zvýšil přibližně 397 až 3958krát (listy, bulva, kořen) oproti kontrole. Obsah Pb v salátu byl 575,2 až 2252,6krát vyšší (listy, kořen) vlivem kontaminace a u petržele se hodnota Pb navýšila 925,8 až 4599,3krát (listy, kořen) v porovnání s kontrolními daty. Ze sledované zeleniny nejvíce Pb akumulovala petržel. Ve všech druzích zeleniny se akumulace nejvýrazněji projevila v kořenech.

V případě Zn se jeho obsah u kontaminované varianty ředkvičky zvýšil jen 1,5 až 3,1krát (listy, bulva, kořen), u salátu obsah Zn vzrostl 1,8 až 3,5krát (listy, kořen) a kontaminovaná varianta petržele měla obsah Zn 2,8 až 4,7krát vyšší (listy, kořen) než varianta kontrolní. Ze sledované zeleniny nejvíce Zn akumulovala petržel, a to v listech. Druhá významná akumulace Zn se projevila u listů ředkvičky.

5.2.2 Makro a mikroprvky

U vybraných makro a mikroprvků už změna obsahů nebo statistická rozdílnost neměly jednotný trend (tabulka 7). Obsah vybraných makro a mikroprvků byl hodnocen pouze v konzumních částech vybrané zeleniny.

Tabulka 7: Obsah vybraných makro a mikroprvků v zelenině.

prvky	varianta	ředkvička	salát	petržel
		bulva	listy	listy
Ca (% DW)	Suchdol	0,43 ± 0,02 ^a	1,53 ± 0,30 ^a	1,38 ± 0,07 ^a
	Podlesí	0,43 ± 0,04 ^a	1,57 ± 0,21 ^a	1,58 ± 0,10 ^b
K (% DW)	Suchdol	3,31 ± 0,15 ^b	3,43 ± 0,69 ^b	2,97 ± 0,25 ^b
	Podlesí	1,30 ± 0,62 ^a	1,26 ± 0,02 ^a	1,38 ± 0,06 ^a
Mg (% DW)	Suchdol	0,12 ± 0,01 ^a	0,33 ± 0,05 ^a	0,40 ± 0,02 ^a
	Podlesí	0,15 ± 0,02 ^b	0,34 ± 0,04 ^a	1,06 ± 0,12 ^b
Fe (mg/kg DW)	Suchdol	72,42 ± 15,49 ^b	161,95 ± 38,67 ^a	518,82 ± 41,48 ^b
	Podlesí	46,90 ± 12,09 ^a	140,53 ± 25,27 ^a	215,10 ± 49,85 ^a

Obsah Ca v kontaminované variantě ředkvičky byl snížen o 0,9 % v porovnání s kontrolou. V případě kontaminované varianty salátu se obsah Ca navýšil o 2,6 % v porovnání s kontrolou a petržel pěstovaná v kontaminované půdě dosáhla obsahu Ca o 14,9 % vyššího než petržel pěstovaná v půdě kontrolní. Jedině u petržele byla změna hodnot statisticky významná.

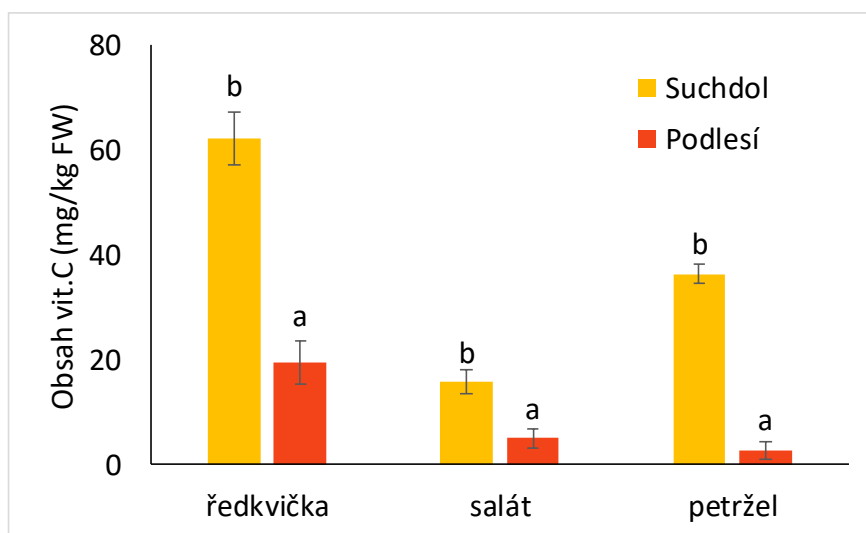
Změny hodnot obsahu K byly u všech druhů zkoumaných zelenin statisticky významné. V případě obsahu K v bulvě ředkvičky došlo vlivem kontaminace k 60,6% poklesu oproti kontrole. U listu salátu se obsah K snížil o 63,2 % a u listu petržele o 53,4 % v porovnání s kontrolní variantou.

V případě Mg došlo ve všech třech případech k zvýšení obsahu u kontaminované varianty. Obsah Mg u kontaminované varianty ředkvičky se zvýšil o 20,8 %, u salátu vzrostl o 3,8 % a kontaminovaná varianta petržele měla obsah Mg o 166 % vyšší než varianta kontrolní. U ředkvičky a petržele byly hodnoty obsahu statisticky rozdílné.

Obsah Fe u ředkvičky klesl o 35,2 % vlivem kontaminace. U kontaminované varianty salátu byl obsah Fe o 13,2 % nižší než u kontroly a v případě petržele klesl o 58,5 % oproti kontrolní variantě. Významné statistické rozdíly se nacházejí u ředkvičky a petržele.

5.3 Kyselina askorbová

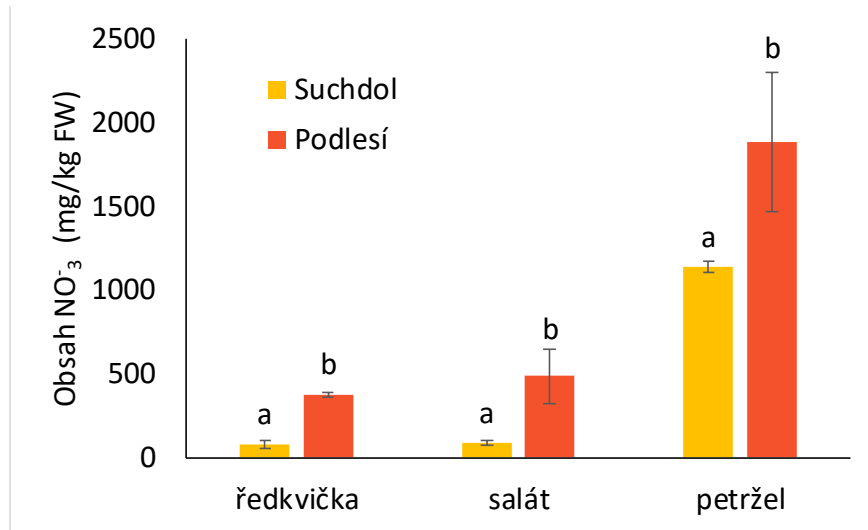
Obsah kyseliny askorbové byl měřen pouze v FW konzumních částí zeleniny. U ředkvičky se hodnoty vitamínu C stanovovaly z bulev a u salátu a petržele byly vzorky odebírány z listů. Graf 4 znázorňuje zřetelný pokles obsahu kyseliny askorbové v zelenině pěstované na kontaminované půdě v porovnání se zeleninou kontrolní. Obsah kyseliny askorbové je vždy několikanásobně nižší v zelenině pěstované na půdě pocházející z Podlesí. Rozdíly obsahů kyseliny askorbové v rostlinách rostoucích v kontaminované půdě a v rostlinách kontrolních jsou ve všech třech případech zkoumaných zelenin statisticky významné. V porovnání s kontrolou byl obsah kyseliny askorbové u ředkvičky snížen o 68,8 % vlivem kontaminované varianty. U obsahu kyseliny askorbové v salátu došlo vlivem kontaminace k 68% poklesu v porovnání s kontrolou, u petržele byl pokles hodnoty až o 92,4 % v porovnání s kontrolní variantou.



Graf 4: Obsah kyseliny askorbové v čerstvé biomase zeleniny.

5.4 Nitráty

Obsah nitrátů byl rovněž měřen pouze v FW konzumních částí zeleniny. Části využitě pro odběr vzorku byly stejné jako v případě měření obsahu kyseliny askorbové (bulvy a listy). Rozdíly obsahu nitrátů v jedlých částech zeleniny rostoucí v kontaminované půdě a v zelenině kontrolní jsou ve všech třech případech zkoumaných zelenin statisticky významné. Na grafu 5 je vidět, že obsah nitrátů je několikanásobně vyšší v zelenině pěstované na kontaminované půdě. V případě kontaminované varianty ředkvičky nitráty dosahují v průměru o 373,5 % vyšší hodnoty než varianta kontrolní. U kontaminované varianty salátu je hodnota nitrátů o 459,1 % vyšší. U petržele rostoucí na půdě z Podlesí převyšuje průměrná hodnota nitrátů kontrolní variantu nejméně výrazně ze všech tří druhů zeleniny, a to o 65,5 %.



Graf 5: Obsah nitrátů v čerstvé biomase zeleniny.

6 Diskuze

6.1 Vliv rizikových prvků na rostliny a výnos

6.1.1 Vizuální změny na rostlinách

Vliv přítomnosti rizikových prvků v kontaminované půdě z Podlesí se na zkoumaných druzích zeleniny projevil i vizuálně. Listy ředkvičky se v porovnání s kontrolní variantou jevíly sice stejně dlouhé, ale užší. Řada z nich byla také zažloutlá – trpěly různě silnými projevy chlorózy (obrázek 13). Naopak Nguyen et al. (2017) nezjistili významné morfologické změny vlivem kontaminace rizikovými prvky, avšak jejich zjištění jsou oproti výsledkům diplomové práce limitována pouze krátkodobou expozicí (4 – 10 dnů).

U salátu byl vliv rizikových prvků ještě patrnější, jednalo se o celkově méně vyvinuté rostliny, také s projevy chlorózy (obrázek 14). Projevy chlorózy pozorovali na listech salátu i Zorring et al. (2010), a to v různých vegetačních stádiích. Naše pokusy prokázaly nejvyšší zjevný vliv u salátu a ředkviček již po 45 dnech růstu. Ke stejnému zjištění došli i autoři Krippner & Schubert (2021), kteří také pozorovali žloutnutí listů, navíc i hnědnutí kořenů.

U petržele z kontaminované půdy jsme nepozorovali žádné viditelné znaky stresu způsobené rizikovými prvky oproti variantě kontrolní (obrázek 16). Ke stejným výsledkům dospěli i Ulusu et al. (2017).

Výsledky Kavvadias et al. (2012) potvrdily jen nevýznamné omezení růstu salátu a petržele vlivem kontaminace Cd a Pb a zároveň snížení akumulace těchto prvků ve srovnání s kontrolními rostlinami, čímž dokazují toleranci rostlin k těmto rizikovým prvkům.

6.1.2 Výnos biomasy

Velmi významný pokles výnosu DW (více jak poloviční ztráta oproti kontrole) byl zaznamenán u salátu, a to jak u listů, tak u kořenů (graf 2). Výsledky diplomové práce potvrdil i výzkum Zorrig et al. (2010), kde uvádějí snížení biomasy nadzemních i podzemních částí salátu vlivem kontaminace Cd. U kořenů ředkvičky a listů petržele způsobila kontaminace rizikovými prvky významný nárůst DW (graf 1 a graf 3). Rozdílný výsledek ve změně výnosu biomasy vlivem kontaminace rizikovými prvky je pravděpodobně důsledkem pěstování rostlin v lehčí půdě (vhodnější struktura než u varianty Suchdol), zároveň k tomu mohla přispět vyšší koncentrace Zn v půdě. Krippner & Schubert (2021) se zabývali vlivem kontaminace Zn a Cd na petržel, žádné významné změny ve výnosu biomasy petržele však nezaznamenali. Příčinou jejich rozdílných výsledků je pravděpodobně délka doby působení rizikových prvků na zeleninu. Zatímco naše kontaminované varianty petržele byly vystaveny rizikovým prvkům od svého zasetí po dobu 45 dní, rostliny ze zmíněného pokusu byly pod vlivem kontaminace pouze posledních 10 dnů před sklizní a vyhodnocením. Krippner & Schubert (2021) se zabývali ještě vlivem kontaminace rizikovými prvky na špenát, v případě špenátu dle nich u kontaminované varianty k poklesu biomasy došlo. Kavvadias et al. (2012) dospěli ve svém výzkumu také k odlišnému výsledku, než uvádí naše diplomová práce. Dle Kavvadias et al. (2012) kontaminace Cd a Pb výnos biomasy petržele ani salátu nijak významně neovlivnila.

6.2 Obsah rizikových prvků

Zemědělské půdy jsou často kontaminovány rizikovými prvky, které pocházejí z těžební činnosti, z průmyslových a dopravních emisí nebo z aplikace čistírenských kalů. Akumulace rizikových prvků v půdě může vést ke zvýšené akumulaci prvků plodinami na ní pěstovaných a může tak negativně ovlivnit jejich růst (Tokalioğlu et al. 2006).

Naše studie sledovala hodnoty vlivu kontaminace vybraných druhů zeleniny třemi rizikovými prvky – Cd, Pb a Zn. Vliv kontaminace více prvky studovali i autoři Chen et al. (2013) a Smical et al. (2008).

V pokusu Smical et al. (2008) se zabývali zkoumáním salátu rostoucího na půdě odebrané z okolí odkalovacích jezírek. U akumulace tří sledovaných rizikových prvků došli při svém pozorování ke stejnému pořadí hodnot jako my; nejnižší koncentrace v salátu byla zjištěna u Cd, následně u Pb a nejvyšší koncentrace dosáhl Zn.

Chen et al. (2013) salát pěstovali v konvenčním systému a ostatní listovou zeleninu v systému organickém. V konzumních částech rostlin byly jimi naměřené koncentrace Cd a Pb víceméně srovnatelné s našimi naměřenými hodnotami. Naše výsledky se však s jejich výrazně rozcházejí v obsahu Zn, kde autoři Chen et al. (2013) naměřili výrazně nižší hodnotu ($3,4 \pm 1,3$ mg/kg) než my.

Dále jmenovaní autoři sledovali vliv kontaminace zeleniny spíše jen jedním vybraným prvkem. Výsledky Nguyen et al. (2017) potvrdily, že se zvyšující se dávkou Cd v půdě se zvyšuje jeho akumulace rostlinou, přičemž nejvyšší akumulaci Cd autoři zjistili v kořenech ředkvičky. I naše výsledky prokázaly vyšší akumulaci Cd v biomase ředkvičky rostoucí na půdě kontaminované tímto prvkem, ale zejména v jejích listech. Adriano (2001) uvádí, že ředkvičky, které rostou v půdách o koncentraci Cd 0,6 mg/kg, jsou schopny akumulovat až 5 mg/kg tohoto prvku.

Výsledky pokusu Gaw et al. (2008) ukázaly, že koncentrace Pb byla vyšší v ředkvičce než v salátu, zatímco v případě koncentrace Cd tomu bylo právě naopak. Koncentrace Cd v salátu byla dle výsledků Gaw et al. (2008) ekvivalentní nebo vyšší než současný potravinový standard obsahu Cd pro listovou zeleninu (0,3 mg/kg FW), zatímco koncentrace Pb v jedlých částech salátu a ředkvičky žádný z potravinových standardů nepřekračovala. Se všemi uvedenými výsledky Gaw et al. (2008) se shoduje i výstup našeho experimentu.

Fontes et al. (2008) v průběhu svého pokusu zjistili, že listový salát má jednu z nejvyšších akumulací Cd ve srovnání s ostatními druhy zelenin. Dle Adriano (2001) může listová zelenina akumulovat až 354 mg/kg Cd, pokud je pěstována v půdách, které byly ošetřeny čistírenským kalem s koncentrací Cd o 640 mg/kg. I v našem měření kontaminovaná varianta (ale i kontrolní varianta) salátu obsahovala ze všech tří druhů zelenin pěstovaných ve stejné půdě nejvyšší koncentraci Cd.

Jak ve výsledcích našeho pokusu, tak ve výsledcích pokusu Li et al. (2014) byly naměřené hodnoty Cd a Pb výrazně vyšší v nadzemních částech (listech) salátu než v jeho kořenech. Výrazně vyšší podíl rizikových prvků v námi sledovaných rostlinách mohl být pravděpodobně způsoben jejich vyšší koncentrací už v půdě. Dále také Li et al. (2014) uvádějí, že koncentrace Pb byla ze všech zkoumaných druhů salátu nejvyšší právě v listovém salátu. Naše výsledky i výsledky ostatních nezávislých studií zabývajících se rovněž vlivem

kontaminace salátu rizikovými prvky potvrdily fakt, že ze všech pokusných druhů zelenin se právě listový salát vyznačoval nejvyšší akumulací dostupných rizikových prvků.

Studie Dala-Paula et al. (2018) se zabývala pozorováním salátu rostoucího v zahradách městského typu. Koncentrace Cd byla u salátu z městské zahrady výrazně nižší než v salátu naší kontrolní varianty. Výrazný rozdíl hodnot mohl být způsoben mimo jiné faktem, že hodnoty pokusu Dala-Paula et al. (2018) byly měřeny z FW nikoli z DW, jako to bylo v případě našeho pokusu.

Stejně jako v pokusu autorů článku Tokalioğlu et al. (2006), i v našem měření salátu a petržele vyšel jako jeden z rizikových prvků s nejvyšší koncentrací Zn. Tokalioğlu et al. (2006) však dosáhli značně nižších hodnot v porovnání s našimi výsledky.

Práce autorů Alsafran et al. (2021) se zabývala průzkumem zeleniny dodávané běžně na potravinový trh, její výsledky ukázaly, že průměrné koncentrace Cd a Pb (kromě dalších) v petrželi byly vyšší než doporučené hodnoty dle Nařízení Komise 1881/2006/ES (max. 0,1 mg/kg pro Pb i Cd). V případě našich kontrolních variant petržele doporučené maximální hodnoty překročilo jen Cd. Větší množství tohoto rizikového prvku se dle našeho měření nahromadilo v kořenech petržele než v její nadzemní části. Dle Kavvadias et al. (2012) je tento fakt opačný. Rozdílnost získaných dat mohla být mimo jiné způsobena odlišnými okolními vlivy v době růstu rostlin. Vliv vyššího obsahu Cd v půdě na jeho nárůst v listech petržele potvrdili i u Ulusu et al. (2017).

Také při měření Pb v kontaminované variantě petržele se vyskytovalo výrazně vyšší množství tohoto rizikového prvku v kořenech rostliny než v jejích nadzemních částech. Kavvadias et al. (2012) naproti tomu uvádějí vyšší koncentraci Pb právě v nadzemních částech rostliny.

Současně s nárůstem obsahu Cd u petržele docházelo v rostlině i ke zvyšování koncentrace Zn. Stejný jev byl zaznamenán jak v našem měření, tak v měření Zorrig et al. (2010). Výrazné zvýšení koncentrace Zn u kontaminované varianty petržele oproti variantě kontrolní zaznamenali ve svém pokusu i Krippner & Schubert (2021).

6.3 Obsah makro a mikroprvků

Nejdůležitější složkou potravního řetězce při biogeochemické migraci makro a mikroprvků z půdy do živočišných organismů jsou rostliny. Rostliny jsou zdrojem základních minerálů, a proto závisí na jejich elementárním a biochemickém složení (Syso et al. 2016).

V naší práci jsme se zaměřili na změnu koncentrace Ca, K, Mg a Fe vlivem kontaminace půdy rizikovými prvky. Zelenina z výzkumu Tokalioğlu et al. (2006) byla kontaminována Pb a Cd, pravděpodobně vlivem průmyslové činnosti; koncentrace Fe v listech rajčat vlivem kontaminace půdy (znečištěná zemědělská půda) ale dosáhla značně nižších hodnot než v případě našich výsledků.

Pokud porovnáme obsah K v kontaminované variantě oproti té kontrolní, je z našich výsledků zřejmé, že vyšší obsah rizikových prvků v půdě má za následek významné snížení koncentrace K v DW rostlin. Výsledky Zorrig et al. (2010) zaznamenaly jen mírný pokles obsahu K vztažený k DW. V případě FW byl obsah K stabilní, nebo došlo k jeho nárůstu. Zvýšený obsah K vlivem kontaminace Cd naměřili Zorrig et al. nejspíše díky skutečnosti, že K je rozpustný kation akumulovaný především v cytoplazmě a ve vakuole rostlinné buňky;

pravděpodobně se jednalo o důsledek poklesu relativního obsahu vody. Nedostatek K u rostlin může přispět k deformaci listů nebo různým okrajovým nekrotickým listům. Rostlina, která hůře hospodář s vodou, je snadněji napadnutelná různými patogeny. Stává se tak méně hodnotnou vzhledem k výnosu a kvalitě zeleniny, snižuje se její skladovatelnost. Nízký obsah K v zelenině má za následek i snížení obsahu kyseliny askorbové.

Zorrig et al. (2010) také udávají, že při navýšení koncentrace Cd v půdě došlo také k navýšení obsahu Ca ve všech zkoumaných rostlinách salátu. Naše výsledky rovněž potvrzují nárůst Ca v kontaminované variantě oproti té kontrolní, i když nárůst prvku není statisticky významný. Zorrig et al. (2010) navíc dodávají, že Ca se nachází především v buněčných stěnách salátu, kde se primárně ukládá i Cd. Nárůst obsahu Ca v závislosti na reakci kontaminace Cd může být tedy známkou ochranné strategie rostliny, která v salátu proběhla za účelem vyrovnání toxických účinků Cd.

Obdobné výsledky jako u Ca jsme zaznamenali i v případě Mg. Ciecko et al. (2005) se zabývali vlivem kontaminace Cd na obsah Mg v ovsu, lupině, ředkvičce a kukuřici. I dle jejich výsledků došlo u všech nadzemních částí ředkvičky vlivem kontaminace tímto rizikovým prvkem k navýšení obsahu Mg. Obsah Mg v rostlinách navíc obecně koreloval s akumulací dalších makro i některých mikroprvků. Hořčík je součástí centrálního atomu chlorofylu, pro rostliny je jeho obsah důležitý zvláště pro správný průběh fotosyntézy. Jeho nedostatek se projeví chlorózou listů (Ciecko et al. 2005).

6.4 Obsah kyseliny askorbové

Stres rostliny způsobený zvýšenou přítomností rizikových prvků může zapříčinit produkci velkého množství radikálů a způsobit tak poškození buněčné membrány. Rostliny používají jako mechanismus k odstranění těchto radikálů antioxidační ochranné enzymy a neenzymatické antioxidanty, jako je kyselina askorbová (Feng et al. 2021).

Feng et al. (2021) exogenně aplikovali kyselinu askorbovou na rostlinná pletiva. Jejich výsledky po aplikaci prokázaly výrazné snížení Cd a Pb a zároveň zvýšení příjmu minerálních živin (Ca, K a Mg). Pozitivní účinky měla exogenní aplikace kyseliny askorbové i u výsledků Alamri et al. (2018), ti ji aplikovali v kombinaci se Zn listovým postřikem. Jejich výstupem bylo zvýšení kvality růstu a produktivity plodin ječmene. Alamri et al. (2018) aplikovali kyselinu askorbovou také v kombinaci s kontaminací Pb. Výsledkem této části pokusu byl znatelně snížený růst rostlin v porovnání s rostlinami nekontaminovanými Pb. Aplikace kyseliny askorbové také zároveň snížila obsah Pb v listech pšenice ošetřených tímto rizikovým prvkem.

Stejně jako výsledky Mani et al. (2012) a Xin et al. (2019), tak i naše výsledky potvrdily snížení obsahu kyseliny askorbové v listech ředkvičky vlivem kontaminace Cd a Pb. Snížení koncentrace vitamínu C mohlo být ve všech zmiňovaných případech způsobeno přímo prostřednictvím kontaminace kombinací rizikových prvků, což následně bránilo transmembránovému transportu. Výsledky Mani et al. (2012) navíc s úbytkem koncentrace kyseliny askorbové zaznamenaly také fyziologické změny zeleniny, což vyvolalo zhoršení kvality jedlých částí ředkvičky.

Rozdílné výsledky obsahu kyseliny askorbové stanovili Hussaan et al. (2021). Dle jejich výsledků došlo ke zvýšení obsahu kyseliny askorbové v kultivarech pšenice při vystavení kontaminaci vysoké koncentrace Cd.

Matínez-Ispizua et al. (2022) podrobili výzkumu několik druhů listových salátů. Nejvyšší obsah kyseliny askorbové obsahovaly tzv. „baby“ vzorky, saláty v počáteční vegetační fázi, a červený salát. Výsledky jejich studie ukázaly, že čím více pigmentu zelenina obsahuje, tím více je v ní obsaženo i vitamínu C. Výsledky této studie lze aplikovat na naše naměřené hodnoty obsahu kyseliny askorbové v salátu a v ředkvičce. Ředkvička dle našich výsledků obsahovala znatelně více vitamínu C než salát, a to jak v kontrolní, tak v kontaminované variantě.

6.5 Obsah nitrátů

Výsledky naší práce zaznamenaly statisticky významný nárůst obsahu dusičnanů vlivem kontaminace rizikovými prvky u všech druhů sledované zeleniny. Hodnoty byly získány pouze z jedlých částí rostlin. Vzhledem k tomu, že salát se vyznačuje jednou z nejvyšších akumulací nitrátů, je u něj nízká hodnota dusičnanů (max. hodnota dusičnanů v zelenině je dle Nařízení Komise 1881/2006/ES 2 500 – 4 500 mg/kg, dle typu pěstování) považována za významný parametr potravinové kvality. Schopnost akumulace dusičnanů je ovlivněna různými genetickými faktory a faktory vnějšího prostředí, zejména intenzitou světla. Rostliny pěstované zrychleným systémem (tj. ve skleníku) mají často vyšší obsah dusičnanů právě díky nedostatku světla (Matínez-Ispizua et al. 2022).

Výsledky Antonious et al. (2011) prokazují přímou úměru mezi obsahem nitrátů v půdě a jeho následnou akumulací rostlinami. Pokusem na sladké brambore zjistili, že čím vyšší je množství dusíku dostupného rostlinám, tím vyšší je jeho příjem, a tím vyšší je i konečný obsah dusíku a nitrátů v plodině. Na akumulaci dusičnanů mají dle Tang et al. (2019) vliv i anaerobní podmínky. Jejich výsledky naznačují, že povodně koncentraci dusičnanů (i Cd) ve vodním špenátu snížily. Výsledek odůvodňují omezením dostupnosti dusičnanů z půdy a významnými změnami v činnostech mikrobiomu.

Júnior et al. (2021) se zabývali výzkumem vlivu kontaminace Cd na pralesní rostlinu Ucuúbu (*Virola surinamensis*) rostoucí v ústí řeky Amazonky. Dle jejich výsledků kontaminace Cd obsah nitrátů v kořenech rostliny nijak neovlivnila. Naopak u listů této rostliny došlo k jeho výraznému zvýšení. Jelikož naše zvýšené výsledky obsahu nitrátů byly zaznamenány rovněž u listů (a bulvy) rostliny, lze tento fakt hodnotit jako souhlasný.

7 Závěr

- Dle našich předpokladů a zadaných hypotéz bylo zjištěno, že zvýšený obsah rizikových prvků v půdě má vliv na zeleninu v takové půdě pěstované. U kontaminovaných variant rostlin došlo jak k vizuálním projevům stresu způsobeným kontaminovanou půdou, tak i k ovlivnění výnosu biomasy těchto rostlin. Vyskytl se u nich zvýšený obsah daných rizikových prvků, čímž lze doložit schopnost rostlin akumulovat prvky z půdy.
- Nejvíce viditelných rozdílů bylo pozorováno v případě salátu setého. Na rostlině petržele naťové se kontaminace rizikovými prvky projevila nejméně výrazně. Negativní vliv rizikových prvků na výnos DW byl potvrzen v případě salátu setého. Naopak u kořenů ředkvičky seté a listů petržele naťové tento vliv potvrzen nebyl. Jejich výnos DW byl na kontaminované variantě statisticky průkazně vyšší.
- Potvrzena byla i změna obsahu makro a mikroprvků. Zde se ale nejedná o jednoznačný trend. Obsah Ca v kontaminované variantě zůstal téměř beze změny u všech druhů zeleniny oproti kontrolní. U K došlo ke statisticky průkaznému poklesu jeho koncentrace v pokusné variantě každého druhu sledované zeleniny. Ke statisticky významnému nárůstu prvku Mg došlo u ředkvičky seté a petržele naťové. Významný pokles obsahu prvku nastal v případě koncentrace Fe, a to u kontaminované varianty ředkvičky a petržele.
- Původní předpoklad zvýšení hladiny nitrátů byl potvrzen. Koncentrace nitrátů byla v kontaminovaných variantách všech tří druhů námi sledované zeleniny statisticky významně vyšší než ve variantách kontrolních. K nejvyššímu nárůstu došlo u salátu setého.
- Také předpoklad snížení obsahu vitamínu C byl potvrzen. Nejvýraznější pokles byl zaznamenán u petržele naťové.
- Závěrem lze říct, že hypotézy této práce byly potvrzeny u všech hodnocených faktorů. Jak výsledky ukazují, mimo úroveň kontaminace mohou mít na změny v kvalitě zeleniny vliv i další podmínky, např. půdní druh, druh a odrůda zkoumané rostliny. Po vizuální stránce nebyl vliv kontaminace rizikovými prvky u ředkvičky a petržele jasně viditelný, vliv na kvalitu byl potvrzen až pomocí analýz. Naopak vliv kontaminace na salát byl nejvýraznější a jednoznačně viditelný už v době růstu, proto by se salát dal označit jako vhodný bioindikátor změn v prostředí.
- Přínos této práce spočívá v připomenutí a rozvinutí již dříve probírané problematiky pěstování konzumních plodin a rostlin na zemědělsky neodpovídajících a nepřínosných půdách. Další výzkum by se mohl zaměřit na porovnání akumulace prvků na jiných typech půd nebo s odlišnými druhy zeleniny. Otázkou pro zamýšlení a další možný výzkum zůstává – je zelenina, či obecně každá jedlá plodina, pěstovaná v podobných podmínkách ještě pro lidské zdraví prospěšná?

8 Literatura

- Adriano DC. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments. Springer-Verlag, New York.
- Agrární komora České republiky. 2021. Agrární komora České republiky. Doležal J. Available from: <http://www.akcr.cz/> (accessed January 2022)
- Agregán R, Echagaray N, López-Pedrouso M, Aadil RM, Hano Ch, Franco D, Lorenzo JM. 2021. Proteomic advances in cereal and vegetable crops. *Molecules* **26**:4924. DOI: 10.3390/molecules26164924.
- Alamri SA, Siddiqui MH, Al-Khaishany YY, Khan MN, Ali HM, Alaraidh IA, Alsahli AA, Al-Rabiah H, Mateen M. 2018. Ascorbic acid improves the tolerance of wheat plants to lead toxicity. *Journal of Plant Interactions* **13**(1):409-419. DOI: 10.1080/17429145.2018.1491067.
- Alsafran M, Usman K, Rizwan M, Ahmed T, Jabri HA. 2021. The carcinogenic and non-carcinogenic health risks of metal(oid)s bioaccumulation in leafy vegetables: A consumption advisory. *Frontiers in Environmental Science* **9**:742269. DOI: 10.3389/fenvs.2021.742269.
- Antonious GF, Dennis SO, Unrine JM, Snyder JC. 2011. Ascorbic acid, β -carotene, sugars, phenols, and heavy metals in sweet potatoes grown in soil fertilized with municipal sewage sludge. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* **46**(2):112-121. DOI: 10.1080/03601234.2011.534969.
- Arsenov D, Župunski M, Pajević S, Borišev M, Nikolić N, Mimica Dukić N. 2021. Health assessment of medicinal herbs, celery and parsley related to cadmium soil pollution-potentially toxic elements (PTEs) accumulation, tolerance capacity and antioxidative response. *Environmental Geochemistry and Health* **43**(8):2927-2943. DOI: 10.1007/s10653-020-00805-x.
- Banihani SA. 2017. Radish (*Raphanus sativus*) and diabetes. *Nutrients*. **9**:1014. DOI: 10.3390/nu9091014.
- Baslam M, Garmendia I, Goicoechea N. 2013. Enhanced accumulation of vitamins, nutraceuticals and minerals in lettuces associated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF): A question of interest for both vegetables and humans. *Agriculture* **3**(1):188-209. DOI: 10.3390/agriculture3010188.
- Boeing H, Bechthold A, Bub A, Ellinger S, Haller D, Kroke A, Leschik-Bonnet E, Müller MJ, Oberritter H, Schulze M, Stehle P, Watzl B. 2012. Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *European Journal of Nutrition* **51**(6):637-663. DOI: 10.1007/s00394-012-0380-y.
- Buturi CV, Mauro RP, Fogliano V, Leonardi Ch, Giuffrida F. 2021. Mineral biofortification of vegetables as a tool improve human diet. *Foods*. **223**. DOI: 10.3390/foods10020223.
- Ciecko Z, Kalembasa S, Wyszowski M, Rolka E. 2005. The magnesium content in plants in soil contaminated with cadmium. *Polish Journal of Environmental Studies* **14**(3):365-370.

- Český statistický úřad. 2021. Statistika a my, Magazín Českého statistického úřadu. Český statistický úřad. Available from: <https://www.statistikaamy.cz/> (accessed February 2022)
- ČZU v Praze. 2010. Ekologická produkce zeleniny. Koudela M. Available from: <http://kz.agrobiologie.cz/> (accessed November 2021)
- Dala-Paula BM, Custódio FB, Knupp EAN, Palmieri HEL, Silva JBB, Glória MBA. 2018. Cadmium, copper and lead levels in different cultivars of lettuce and soil from urban agriculture. *Environmental Pollution* **242**:383-389. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.04.101.
- Dobričević N, Šic Žlabur J, Voća S, Pliestić S, Galić A, Delić A, Fabek Uher S. 2019. Bioactive compounds content and nutritional potential of different parsley parts (*Petroselinum crispum* Mill.) *Journal of Central European Agriculture* **20**(3):900-910. DOI: 10.5513/JCEA01/20.3.2417.
- Eisler R. 2007. Eisler's encyclopedia of environmentally hazardous priority chemicals. Elsevier, Amsterdam
- Feng Z, Ji S, Ping J, Cui D. 2021. Recent advances in metabolomics for studying heavy metal stress in plants. *Trends in Analytical Chemistry* **143**. DOI: 10.1016/j.trac.2021.116402.
- Fontes RLF, Pereira JMN, Neves JCL, Fontes MPF. 2008. Cadmium, lead, copper, zinc, and nickel in lettuce and dry beans as related to Mehlich-3 extraction in three brazilian latossols. *Journal of Plant Nutrition* **31**:884-901. DOI: 10.1080/01904160802043239.
- Gamba M, Asllanaj E, Raguindin PF, Glisic M, Franco OH, Minder B, Bussler W, Metzger B, Kern H, Muka T. 2021. Nutritional and phytochemical characterization of radish (*Raphanus sativus*): A systematic review. *Trend in Food Science & Technology* **113**:205-218. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.04.045.
- Gaw SK, Kim ND, Northcott GL, Wilkins AL, Robinson G. 2008. Uptake of ΣDDT, arsenic, cadmium, copper, and lead by lettuce and radish grown in contaminated horticultural soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **56**:6584-6593. DOI: 10.1021/jf073327t.
- Gu X, Wang Y, Sun Q, Yang G, Zhang C. 2019. Hyperspectral inversion of soil organic matter content in cultivated land based on wavelet transform. *Computers and Electronics in Agriculture* **167**:105053. DOI: 10.1016/j.compag.2019.105053.
- Hussaan M, Tanwir K, Abbas S, Javed MT, Iqbal N. 2021. Zinc–Lysine (Zn–Lys) decipher cadmium tolerance by improved antioxidants, nutrient acquisition, and diminished Cd retention in two contrasting wheat cultivars. *Journal of Plant Growth Regulation* DOI: 10.1007/s00344-021-10528-7.
- Chen Y, Huang B, Hu W, Weindorf DC, Liu X, Niedermann S. 2013. Assessing the risks of trace elements in environmental materials under selected greenhouse vegetable production systems of China. *Science of the Total Environment* **470-471**:1140-1150. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.10.095.
- Internet Info, s.r.o. 2010. Zdraví.euro.cz. Krebsová M. Available form: <https://zdravi.euro.cz> (accessed December 2021)

- Júnior AWW, Neto CFO, Filho BGS, Cruz ED, Amarante CB, Barbosa AVC, Nogueira GAS, Nascimento VR, Sousa DJP, Teixeira JSS. 2021. Biochemical metabolism of young plants of Ucuúba (*Virola surinamensis*) in the presence of cadmium. *BMC Plant Biology* **21**:151. DOI: 10.1186/s12870-021-02912-y.
- Kavvadias V, Paschalidis C, Vavoulidou E, Petropoulos D, Koriki A. 2012. Effects of soil amended with cadmium and lead on growth, yield, and metal accumulation and distribution in parsley. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **43**(1-2):161-175. DOI: 10.1080/00103624.2012.634708.
- Kim MJ, Moon Y, Tou JC, Mou B, Waterland NL. 2016. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis* **49**:19-34. DOI: 10.1016/j.jfca.2016.03.004.
- Komise Evropských společenství. Nařízení č. 1881 ze dne 19. prosince 2006. Nařízení Komise (ES), kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách. Pages 5-24 in *Úřední věstník Evropské unie*, 20. prosince 2006, částka 364. Česká republika.
- Krauskopf KB. 1979. *Introduction to Geochemistry*. McGraw-Hill Inc., Us, New York.
- Krippner J, Schubert S. 2021. Elevated zinc concentrations did not induce thiols in spinach (*Spinacia oleracea*) and parsley (*Petroselinum crispum*). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* published by Wiley-VCH GmbH **184**:439–447. DOI: 10.1002/jpln.202000537.
- Li N, Kang Y, Pan W, Zeng L, Zhang Q, Luo J. 2014. Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China. *Science of the Total Environment* **521-522**:144-151. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.081.
- Li R, Zhu Y. 2018. The primary active components, antioxidant properties, and differential metabolite profiles of radish sprouts (*Raphanus sativus* L.) upon domestic storage: analysis of nutritional quality. *Society of Chemical Industry* **98**:5853-5860. DOI: 10.1002/jsfa.9137.
- Mahmood S, Hussain S, Malik F. 2014. Critique of medicinal conspicuousness of parsley (*Petroselinum crispum*): A culinary herb of Mediterranean region. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences* **27**(1):193-202.
- Mani D, Scharma B, Kumar Ch, Balak S. 2012. Cadmium and lead bioaccumulation during growth stages alters sugar and vitamin C content in dietary vegetables. *The National Academy of Sciences* **82**(4):477-488. DOI 10.1007/s40011-012-0057-6.
- Manivannan A, Kim J-H, Kim D-S, Lee E-S, Lee H-E. 2019. Deciphering the nutraceutical potential of *Raphanus sativus* – A comprehensive overview. *Nutrients* **11**:402. DOI: 10.3390/nu11020402.
- Marschner P. 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*, Third Edition. Elsevier, Australia.

- Matínez-Ispizua E, Calatayud Á, Marsal JI, Cannata C, Basile F, Abdelkhalik A, Soler S, Valcárcel JV, Martínez-Cuenca MR. 2022. The nutritional quality potential of microgreens, baby leaves, and adult lettuce: An Underexploited Nutraceutical Source. *Foods* **11**:423. DOI: 10.3390/foods11030423.
- Ministerstvo zemědělství. 2021. eAGRI. Ministerstvo zemědělství. Těšnov. Available from: www.eagri.cz (accessed January 2022)
- Ministerstvo životního prostředí. 2016. Vyhláška č. 153 ze dne 17. května 2016, o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. Page 2692 in *Sbírka zákonů České republiky, 2016, částka 59*. Česká republika.
- Nguyen AH, Hoying CHR, Urbina TM, Drennan P. 2017. Effects of cadmium on growth, short-term photosynthetic acclimation and metal accumulation in radish plants (*Raphanus sativus* L.). *International Journal Environmental Technology and Management* **20**:78-86.
- Papuc C, Predescu C, Nicorescu V, Stefan G, Nicorescu I. 2016. Antioxidant properties of a parsley (*Petroselinum crispum*) juice rich in polyphenols and nitrites. *Current Research in Nutrition and Food Science*. **4**:114-118. DOI: 10.12944/CRNFSJ.4.Special-Issue-October.15.
- Semenov VM, Lebedeva TN, Pautova NB. 2019. Particulate organic matter in noncultivated and arable soils. *Eurasian Soil Science* **52**(4):396-404. DOI: 10.1134/S1064229319040136.
- Sidonia Medica s.r.o. 2010. Celostní medicína. Jungová A. Available from: <https://www.celostnimedicina.cz/> (accessed December 2021)
- Smical AI, Hotea V, Oros V, Juhasz J, Pop E. 2008. Studies on transfer and bioaccumulation of heavy metals from soil into lettuce. *Environmental Engineering and Management Journal* **7**(5):609-615.
- Soto VC, González RE, Galmarini CR. 2021. Bioactive compounds in vegetables, Is there consistency in the published information? A systematic review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. **96**(5):570-587. DOI: 10.1080/14620316.2021.1899061.
- Syso AI, Syromlya TI, Myadelets MA, Cherevko AS. 2016. Ecological and biogeochemical assessment of elemental and biochemical composition of the vegetation of anthropogenically disturbed ecosystems (Based on the example of *Achillea millefolium* L.). *Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal* **5**:782-792. DOI: 10.1134/S1995425516050164.
- Tang GY, Meng X, Li Y, Zhao CN, Liu Q, Li HB. 2017. Effects of vegetables on cardiovascular diseases and related mechanisms. *Nutrients*. **9**:857. DOI: 10.3390/nu9080857.
- Tang L, Hamid Y, Zehra A, Sahito ZA, He Z, Khan MB, Feng Y, Yang X. 2019. Mechanisms of water regime effects on uptake of cadmium and nitrate by two ecotypes of water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) in contaminated soil. *Chemosphere* **246**:125798.

- Tokalioglu S, Kartal S, Gültekin A. 2006. Investigation of heavy-metal uptake by vegetables growing in contaminated soils using the modified BCR sequential extraction method. *International Journal Environmental Analytical Chemistry* **86**(06):417-430. DOI: 10.1080/03067310500352387.
- Trebichavský J, Havrdová D, Blohberger M. 1997 (revize 2005). *Toxické kovy*. NSO – Ing. František Nekvasil, Kutná Hora.
- Ulus Y, Öztürkb L, Elmastaş M. 2017. Antioxidant capacity and cadmium accumulation in parsley seedlings exposed to cadmium stress. *Russian Journal of Plant Physiology* **64**(6):883-888. DOI: 10.1134/S1021443717060139.
- Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Valtera J. 2012. *Výživa zahradních rostlin*. Academia, Praha.
- Veith WJ. 1998. *Diet and Health: Scientific Perspectives*. CPR Press, University of Cape Town, South Africa.
- Wallace TC, Bailey RL, Blumberg JB., Burton-Freeman B, Chen CO, Crowe White KM, Drewnowski A, Hooshmand S, Johnson E, Lewis R, Murray R, Shapses A, Wang DD. 2020. Fruits, vegetables, and health: A comprehensive narrative, umbrella review of the science and recommendations for enhanced public policy to improve intake. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **60**(13):2174-2211. DOI: 10.1080/10408398.2019.1632258.
- Xin J, Zhao XH, Tan QL, Sun XC, Zhao YY, Hu CX. 2019. Effects of cadmium exposure on the growth, photosynthesis, and antioxidant defense system in two radish (*Raphanus sativus* L.) cultivars. *Photosynthetica* **57**(4):967-973. DOI: 10.32615/ps.2019.076.
- Yang D, Guo Z, Green ID, Xie D. 2016. Effect of cadmium accumulation on mineral nutrient levels in vegetable crops: potential implications for human health. *Environmental Science and Pollution Research* **23**:19744-19753. DOI: 10.1007/s11356-016-7186-z.
- Yang X, Gil MI, Yang Q, Tomás-Barberán FA. 2021. Bioactive compounds in lettuce: Highlighting the benefits to human health and impacts of preharvest and postharvest practices. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **21**(1):4-45. DOI: 10.1111/1541-4337.12877.
- Zelinářská unie Čech a Moravy. 2014. ZUČM Zelinářská unie Čech a Moravy. Hanka P. Olomouc. Available fom: <https://zucm.cz/> (accessed December 2021)
- Zorrig W, Rouached A, Schahzad Z, Abdelly Ch, Davidian J-C, Berthomieu P. 2010. Identification of three relationships linking cadmium accumulation to cadmium tolerance and zinc and citrate accumulation in lettuce. *Journal of Plant Physiology* **167**:1239-1247. DOI: 10.1016/j.jplph.2010.04.012.
- Internet 1: <http://www.milujivareni.cz/zboziznalstvi/2387-redkvicka/>
- Internet 2: <https://nakup.itesco.cz/>
- Internet 3: <https://www.sportuj.com/petrzelka/>