

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv kontaminace půdy na kvalitu pěstované mrkve seté**

**Bakalářská práce**

**Miroslava Křivánková**

**Rostlinná produkce**

**Vedoucí práce: prof. Ing. Daniela Pavlíková, CSc.**

**© 2022 ČZU v Praze**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Vliv kontaminace půdy na kvalitu pěstované mrkve seté“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4.2022

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí své bakalářské práce prof. Ing. Daniele Pavlíkové, CSc. za její pomoc, konzultace, odborné vedení a trpělivost. Dále bych ráda poděkovala Ing. Veronice Zemanové, Ph.D. za trpělivost, pomoc při zpracování výsledků a statistických dat, konzultace, předané zkušenosti a vstřícný přístup.

# Vliv kontaminace půdy na kvalitu pěstované mrkve seté

## Souhrn

Cílem této práce bylo zhodnotit kvalitu mrkve seté (*Daucus carota* L.) pěstované na kontaminované půdě třemi rizikovými prvky (Cd, Pb a Zn). Součástí práce bylo stanovení obsahu jednotlivých rizikových prvků v biomase mrkve, obsahu makroživin (N, P, K a Ca) v nati i v kořeni mrkve, obsahu nitrátů v rostlině mrkve, obsahu kyseliny askorbové v kořeni mrkve a výnosu biomasy mrkve.

Vliv Cd, Pb a Zn na kvalitu rostliny byl zjišťován ve vegetačním nádobovém pokusu. Pro pokus bylo použito osivo mrkve karotky rané (odrůda NANTES 2), které bylo vyseto do půd z dvou lokalit České republiky lišících se obsahem rizikových prvků. Kontrolní variantu představovala půda z oblasti Praha – Suchdol, která obsahovala Cd, Pb a Zn v legislativních limitních hodnotách. Kontaminovanou variantu představovala půda z oblasti Příbramska – Podlesí, která obsahovala nadlimitní hodnoty rizikových prvků (Cd  $3,7 \pm 0,05$  mg/kg; Pb  $1155,2 \pm 99,8$  mg/kg; Zn  $202,1 \pm 3,2$  mg/kg). Sklizeň proběhla po 105 dnech růstu v pokusných nádobách. Biomasa mrkve byla rozdělena na nadzemní biomasu (nať) a kořen.

Výsledky prokázaly, že rostliny mrkve přijaly a akumulovaly rizikové prvky u obou variant. Vyšší obsah Cd, Pb a Zn byl jednoznačně u varianty Podlesí oproti kontrole. Obsah Cd byl 27krát vyšší v nati a 31krát vyšší v kořeni oproti kontrole. V případě biomasy kořene byl obsah Pb vyšší oproti kontrole, ale u kontroly byly hodnoty obsahu Pb v nati pod mezí detekce (Pb  $<2$  mg/kg DW), proto nelze vyjádřit o kolik vyšší obsah byl v nati. Obsah Zn byl oproti kontrole 1,4krát vyšší v nati a 2,2krát vyšší v kořeni. Kromě obsahu Pb v nati, byl u všech ostatních částí prokázán statisticky významný rozdíl mezi variantami.

Vlivem příjmu rizikových prvků došlo ke změnám hodnot N, P, K a Ca. Obsah N se snížil o 3 % v nati a o 14 % v kořeni oproti kontrole. Obsah P byl oproti kontrole o 19 % vyšší v nati. Dále se snížil obsah K oproti kontrole o 59 % u nati a o 45 % u kořene. Pokles byl zaznamenán i u obsahu Ca oproti kontrole, a to o 15 % v nati a o 8 % u kořene. Změna byla statisticky významná u obsahu N v kořeni, obsahu P v nati, obsahu K a Ca v obou částech biomasy. Díky akumulaci rizikových prvků v rostlině došlo k nárůstu obsahu nitrátů, o 27 % u nati a o 23 % u kořene oproti kontrole. Tento jev byl statisticky průkazný pouze u nadzemní biomasy. Dále došlo k statisticky významnému poklesu obsahu kyseliny askorbové o 45 % oproti kontrole.

Rizikové prvky ovlivnily také růst kořene mrkve, kdy u varianty Podlesí se vyskytovaly menší a kratší kořeny. Vliv varianty na délku kořene nebyl ale statisticky průkazný. Posledním zkoumaným faktorem byl výnos suché biomasy, který byl nižší ve variantě Podlesí, u nati o 65 % a u kořene o 60 % oproti kontrole. Rozdíl mezi variantami byl statisticky průkazný.

Výsledky prokázaly změnu v kvalitě mrkve, a to hlavně sníženou nutriční hodnotou a nižším výnosem.

**Klíčová slova:** kořenová zelenina; kvalita produkce; kontaminace půdy



# The effect of soil contamination on quality of cultivated carrot

## Summary

The aim of this study was to evaluate the quality of carrot (*Daucus carota* L.) grown on contaminated soil with three risk elements (Cd, Pb and Zn). In the the study was determined the content of individual risk elements in carrot biomass, macronutrient content (N, P, K and Ca) in aboveground biomass and root, nitrate content in carrot plant, ascorbic acid content in carrot root and carrot biomass yield.

The influence of Cd, Pb and Zn on the quality of the plant was determined in a vegetation pot experiment. Early carrot seed (variety NANTES 2) was sown in soils from two localities of Czech Republic differing in the content of risk elements. The control variant was soil from the Prague-Suchdol area, which contained Cd, Pb and Zn under the legislative limit values. The contaminated variant was the soil from the Příbram-Podlesí area, which contained above-limit values of risk elements (Cd  $3.7 \pm 0.05$  mg/kg; Pb  $1155.2 \pm 99.8$  mg/kg; Zn  $202.1 \pm 3.2$  mg/kg). Plants were harvested after 105 days of growth in experimental pots. Carrot biomass was divided into aboveground biomass and root.

The results showed accumulation of risk elements in both carrot variants. The higher content of Cd, Pb and Zn was in the Podlesí variant. Compared to the control, Cd content of this variant was 27 times higher in the aboveground biomass and 31 times higher in the root. In the case of Pb, content in root biomass of Podlesí variant was higher than in the control, but Pb content of control in the aboveground biomass were below the detection limit (Pb <2 mg/kg DW). Compared to the control, the Zn content was 1.4 times higher in the aboveground biomass and 2.2 times higher in the root. The difference of Cd, Pb and Zn content between the variants was statistically significant in all carrot parts except Pb in the aboveground biomass.

Due to the accumulation of risk elements, the content of N, P, K and Ca was changed. The N content decreased by 3% in the aboveground biomass and by 14% in the root compared to the control. Compared to the control, P content increased by 19% in the aboveground biomass. The K content decreased by 59% in the aboveground biomass and by 45% in the root compared to the control. A decrease showed also content of Ca compared to the control – by 15% in aboveground biomass and 8% in the root. The change was statistically significant only for N content in the root, P content in the aboveground biomass, and K and Ca content in both parts of the biomass. Due to the accumulation of risk elements in the plant, content of nitrates increased in the aboveground biomass and root by 27 and 23%, respectively compared to the control. This phenomenon was statistically significant only for aboveground biomass. In addition, content of ascorbic acid was significantly decreased by 45% compared to the control. Risk elements affected the growth of carrot root, when the Podlesí variant had smaller and shorter roots. However, the effect of the variant on root length was not statistically significant. The last determined factor was the yield of dry biomass, which was lower in the Podlesí variant. Compared to the control, dry biomass was decreased

by 65% (aboveground biomass) and 60% (root). The difference between the variants was statistically significant.

The results confirmed a change in the quality of carrots, especially by reduction of nutritional value and lower yield.

**Keywords:** root vegetables; production quality; soil contamination

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Cíl práce a vědecká hypotéza.....</b>	<b>9</b>
<b>3 Literární rešerše.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Zelinářství.....</b>	<b>10</b>
3.1.1 Charakteristika.....	10
3.1.2 Historie.....	10
3.1.3 Zelenina v Evropě a ČR.....	10
<b>3.2 Kořenová zelenina.....</b>	<b>10</b>
3.2.1 Charakteristika.....	10
3.2.2 Původ.....	11
3.2.3 Druhy.....	11
<b>3.3 Mrkev setá (<i>Daucus carota</i> L.).....</b>	<b>11</b>
3.3.1 Původ a historie.....	11
3.3.2 Charakteristika.....	12
3.3.3 Odrůdy a šlechtění.....	13
3.3.4 Osivo a výsev.....	13
3.3.5 Pěstování.....	14
3.3.6 Nároky.....	14
3.3.7 Škodliví činitelé a ochrana proti nim.....	17
3.3.8 Sklizeň a posklizňová úprava.....	19
3.3.9 Skladování.....	20
3.3.10 Náklady na výrobu mrkve.....	20
3.3.11 Nutriční hodnota a využití.....	20
<b>3.4 Kontaminace půdy rizikovými prvky.....</b>	<b>21</b>
<b>3.5 Rizikové prvky.....</b>	<b>21</b>
3.5.1 Kadmium (Cd).....	22
3.5.2 Olovo (Pb).....	23
3.5.3 Zinek (Zn).....	24
<b>4 Metodika.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Pokusná půda.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 Nádobový pokus.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3 Analýza rostlin.....</b>	<b>28</b>
4.3.1 Stanovení obsahu prvků.....	28
4.3.2 Stanovení obsahu kyseliny askorbové.....	29
4.3.3 Stanovení obsahu nitrátů.....	29
<b>4.4 Statistická analýza.....</b>	<b>29</b>

<b>5</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>30</b>
5.1	Obsah rizikových prvků .....	30
5.2	Výnos biomasy.....	31
5.3	Obsah makroprvků.....	32
5.4	Obsah nitrátů.....	34
5.5	Obsah kyseliny askorbové .....	35
<b>6</b>	<b>Diskuze.....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>40</b>



## 1 Úvod

V dnešní době se životní prostředí potýká s rostoucím znečištěním, které ohrožuje mnoho ekosystémů (Lamichhane et al. 2018). S rychlým rozvojem urbanizace, průmyslu a zemědělství se problém znečištění týká také půdy (Gabarrón et al. 2018). Půda je nenahraditelným zdrojem pro přežití a rozvoj lidstva, protože je základem všech zemědělských činností (Cao et al. 2010).

Na významném procentu znečištění půdy se podílí přítomnost rizikových prvků. Většina těchto prvků se v půdě vyskytuje přirozeně, ale některé z nich pocházejí z antropogenních zdrojů, tj. průmyslové činnosti, spalování uhlí, hnojení a zavlažování (Jiang et al. 2020). V České republice se jedná, např. o oblast Příbrami, kde kumulace rizikových prvků v půdě (převážně Pb) byla způsobena činností Kovohuti Příbram (Tomášek et al. 2004).

Rizikové prvky v půdě mohou být absorbovány různými plodinami, ať už to jsou obilniny, luskoviny, olejniný nebo okopaniny, ale také řadou zelenin (Zhang et al. 2020).

Zelenina hraje důležitou roli v naší každodenní stravě. Široce konzumovanou zeleninou, u které dochází k akumulaci rizikových prvků, je mrkev (*Daucus carota* L.) (Wang et al. 2005). Mrkev je považována za jednu z nejoblíbenějších kořenových zelenin na světě kvůli její nutriční hodnotě (zdroj karotenoidů), zdravotním přínosům (zdroj antioxidantů) a příjemné nasládlé chuti (Block 1994). Mrkev se využívá hlavně pro potravinářské účely, ale také jako krmivo všech hospodářských a některých domácích zvířat (John & Andrew 2011).

Pokud plodiny přijmou rizikové prvky, může být ohrožena jejich kvalita a dále porušena bezpečnost potravin. Zvýšené hladiny znečišťujících látek mají vliv na růst a kvalitu rostlin. Mezi projevy akumulace rizikových prvků patří, např. chloróza, nekróza, oxidační stres, úbytek chlorofylu, pokles významných nutričních látek, inhibice růstu a metabolismu až samotná smrt (Kumar et al. 2021).

Toxicita rizikových prvků může po konzumaci u člověka vyvolat zdravotní potíže a poškodit orgány, např. mozek, plíce, ledviny a játra. Může ovlivnit také složení krve. Dlouhodobá expozice může vést k postupným fyziologickým, svalovým a neurologicko-degenerativním procesům, které napodobují onemocnění, jako je roztroušená skleróza, Parkinsonova choroba, Alzheimerova choroba a svalová dystrofie. Opakovaná dlouhodobá expozice těchto prvků a jejich sloučenin může dokonce způsobit rakovinu (Järup 2003). Proto je nutné sledovat oblasti s kontaminovanou půdou a obsahy rizikových prvků v půdě. Problematikou kontaminace půd se v České republice zabývá Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. (VÚMOP). Systematické sledování rizikových prvků a látek v České republice provádí Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ) (Čermánková et al. 2015), na základě půdních vzorků. Tyto půdní vzorky jsou odebírány v rámci, tzv. agrochemického zkoušení půd. Odběry probíhají v pravidelných šestiletých cyklech. Půdní vzorky se analyzují výhradně v Národní referenční laboratoři ÚKZÚZ. Následně se zpracované výsledky vzorků zavádí do databáze „Registr kontaminovaných ploch“, která poskytuje uživatelům informace o obsahu rizikových prvků v zemědělských půdách v celorepublikovém měřítku (Kršková 2020).

## **2 Cíl práce a vědecká hypotéza**

Cílem bakalářské práce je hodnocení změn kvality mrkve seté pěstované na půdě kontaminované rizikovými prvky (Cd, Zn, Pb).

### **Vědecká hypotéza:**

Kontaminace půdy rizikovými prvky ovlivní obsah živin v mrkvi, povede ke zvýšení obsahu nitrátů a snížení vitamínu C. Vlivem kontaminace dojde k nárůstu obsahu rizikových prvků v mrkvi.

### **3 Literární rešerše**

#### **3.1 Zelinářství**

##### **3.1.1 Charakteristika**

Zelenina se stále více uznává jako nezbytná součást lidské potravy. Zelinářství je součástí rostlinné výroby a v produkční oblasti zabezpečuje výrobu polní zeleniny, zeleniny rychlené a přirychlované, také produkci zeleninových osiv a sadby (Duffek & Dolejší 1998).

V zelinářství se zeleniny nejčastěji rozdělují podle charakteristických znaků hospodářské upotřebitelnosti nebo podle určitých shodných morfologických zvláštností. Na základě uvedených skutečností se v praxi ustálilo rozdělení zeleniny na tyto skupiny: košťáloviny, kořenové zeleniny, cibulové zeleniny, plodové zeleniny, listové zeleniny, luskové zeleniny, vytrvalé zeleniny a kořeninové zeleniny (Duffek & Dolejší 1998).

##### **3.1.2 Historie**

První pěstování zeleniny bylo pravděpodobně v oblasti středních a dolních povodí velkých řek, např. Eufratu, Tigridu a Nilu, dále v podhorských oblastech Etiopie i Eritreje, kde již tehdy používali závlahy. Pěstování zeleninových plodin v prvopočátcích bylo také v Číně. Významnou úlohu v rozvoji rozšíření pěstování zeleniny měli před počátkem starověku Arabové. Do českých zemí se ve větší míře dostala zelenina expanzí Římanů a dalších vyspělých národů. K nejstarším druhům zeleniny u nás patří křen, zelí, česnek, mrkev, kapusta nebo hlávkový salát (MZe ČR 2016).

##### **3.1.3 Zelenina v Evropě a ČR**

Na světě se jako zelenina využívá kolem 1 200 rostlinných druhů, z toho 80 čeledí, hojně jsou zastoupeny miříkovité, bobovité, brukvovité, tykvovité, hvězdicovité a merlíkovité. V Evropě se pěstuje přibližně 150 druhů zeleniny, v České republice asi 50 druhů (ZUČM 2021). V roce 2020 se v České republice pěstovala konzumní zelenina na 11 475 ha. Jejím pěstování se věnují malé farmy o velikosti do 10 ha i velcí pěstitelé, kteří každoročně zakládají více než 100 ha zeleninových porostů. Celková sklizeň zeleniny se v ČR pohybuje v rozpětí 300 až 200 000 tun za rok (Buchtová 2020).

#### **3.2 Kořenová zelenina**

##### **3.2.1 Charakteristika**

Kořenová zelenina získala svůj název podle své užitkové části, výrazně zdužnatělého kořene – ten bývá ztloustlý, zvětšený, tvarově výhodný, barevně lákavý a nutričně cenný. Z hlediska rostlinné morfologie, ne zcela u všech druhů této skupiny, jde o pravý kořen, jehož úlohou je přijímat vodu a živiny pro rostlinu. Někdy jde o kořen zvláštního typu, např. vodorovně podzemní rostoucí oddenek (Pekárková 2004).

V Evropě pěstované kořenové druhy jsou většinou dvouleté. V prvním roce po výsevu vytvářejí přizemní růžici listů a dužnaté kořenové bulvy, ve druhém roce vyvíjejí rozvětvené květní stonky a semena (Pekárková 2004).



Všechny kořenové druhy, které se rozmnožují semeny (Pekárková 2004), se v březnu podle vývoje počasí vysévají na venkovní záhony, výjimkou je celer, který se pěstuje z předpěstované sadby (Prášil 2017). Kořenová zelenina těžko snáší nebo vůbec nesnáší přesazování, týká se to především forem s protáhlým kulovitým kořenem. U nás nejpěstovanější kořenová zelenina patří do čeledi miříkovitých, se vyznačuje velmi pomalou klíčivostí, vzházením až během 3-4 týdnů po výsevu. Nejranější druhy, k nimž patří mrkev, se vysévají nejdříve, protože klíčí již při teplotě půdy 5 °C (Pekárková 2004).

### 3.2.2 Původ

Většina nejdůležitějších druhů pochází z mírného pásma, nejčastěji z eurasijského kontinentu, o čemž svědčí dnešní existence planých příbuzných v této oblasti, např. planá mrkev, planý pastinák, křen. Zeleninu z nich vytvořil teprve člověk dlouholetým šlechtěním. Plané a plevelné druhy se však s kulturními snadno kříží, jejich přítomnost v blízkém okolí musí proto pečlivě hlídat a odstraňovat výrobci osiva (Pekárková 2004).

### 3.2.3 Druhy

Kořenová zelenina zahrnuje různé botanické čeledi. Do čeledi miříkovité (*Apiaceae*) patří *Apium graveolens* (L.), *Petroselinum crispum* (Mill.), *Daucus carota* (L.), *Pastinaca sativa* (L.). Čeleď brukvovité (*Brassicaceae*) tvoří *Raphanus sativus* (L.), *Brassica napus* subsp. *napobrassica* (L.), *Brassica rapa* (L.), *A Armoracia rusticana* (P. Gaertn., B. Mey. et Scherb.). Z čeledi merlíkovité (*Amaranthaceae*) je to *Beta vulgaris* (L.) subsp. *vulgaris* var. *conditiva* a z čeledi hvězdnicovité (*Asteraceae*) *Scorzona rahispanica* (L.) (Lošák & Hlušek 2014). Mrkev, petržel, celer a pastinák patří k nejběžnější zelenině (Gajdoštin 2019). Opomíjenou kořenovou zeleninou je zmíněná vodnice, tuřín nebo řepa cukrová. Jedná se o nenáročnou druhy, které lze s úspěchem pěstovat na méně příznivých stanovištích, současně přinášejí řadu cenných minerálií (Pokluda 2014).

## 3.3 Mrkev setá (*Daucus carota* L.)

### 3.3.1 Původ a historie

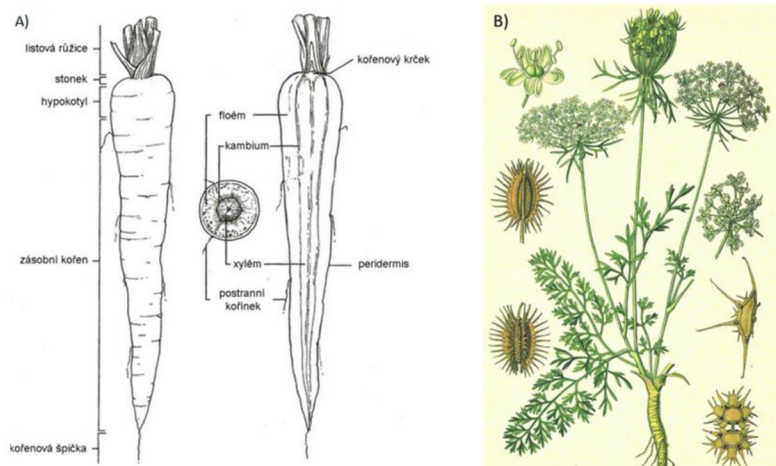
Za domovinu mrkve se považuje jižní Asie, oblast Afghánistánu, Iránu a Pákistánu (Surbhi et al. 2018; Que et al. 2019). Odtud se rozšířila do severní Afriky, celé Asie a Číny. Planou formou mrkve je mrkev obecná pravá (*Daucus carota* (L.) subsp. *carota*), lidově známý „mrkvous“, který se hojně vyskytuje jako plevel na našich loukách, stráních i v zahradách. S kulturní mrkví se snadno kříží. Germáni a Slované ji znali ještě dříve, než staří Římané dobyli jejich území (Pekárková 2004). Mrkev byla známá již i starým Řekům, kteří jí dali jméno „dauchos“ (Gledhill 1985) a znali její příznivé terapeutické účinky při kolice (Gunther 1959). Fresky s motivy kořeninových hlíz a listů mrkve byly nalezeny při vykopávkách v Herkulaneu. Ve středověku a později se mrkev intenzivně rozšiřovala po Evropě, a hlavně vyšlechtění kříženci s *Daucus maritima* dom. se stávají hodnotnou potravou (Podešva et al. 1959). Ve většině evropských jazyků zaznívá latinské pojetí mrkve *carota*. Podle něho byl nazván karoten, provitamin A, objevený právě v mrkvi v roce 1831. Původní kulturní typ mrkve měl velké dužnaté bílé, žluté nebo oranžové kořeny, podobné typům, které

se dnes pěstují jako krmná mrkev. Šlechtěním postupně vznikaly červeno-oranžové typy různého tvaru. Jemné, vysoce prošlechtěné odrůdy byly získávány především ve Francii, Anglii a v Nizozemsku až v 19. století (Pekárková 2004). Největší pěstitelské plochy mrkve jsou dnes na asijském kontinentu. Největším dodavatelem v Evropě je Nizozemsko (Buchtová 2020).

Mrkev představuje v našem zelinářství významnou plodinu. Osevní plochy v ČR v roce 2020 činily 832 ha a průměrný výnos se pohybuje ročně okolo 29-36 t/ha (Buchtová 2020).

### 3.3.2 Charakteristika

Mrkev je rostlina z čeledi miříkovitých (Rubatzky et al. 1999; Que et al. 2019). Tato plodina je u nás nejrozšířenější kořenová zelenina (Welbaum 2015), bez které si kuchyni nedovedeme představit. Patří k rostlinám dvouletým (Que et al. 2019). V prvním roce vytváří rostliny ztloustlé, větvenovité až válcovité kořeny (Obr. 1 A), některé odrůdy vytvářejí kořeny zkrácené, až kuželovitého tvaru. Na tvorbě kořene se zúčastňuje hlavně radikula a vždy i hypokotylní část. Kořeny kulturně pěstovaných odrůd nesmí být větvené, mají mít co nejmenší dřev a co možná největší podíl části mezi pericyklem a pokožkou. Dužina musí být jemná, příjemně sladké chuti a co nejvíce zbarvená karotenem do oranžova (Dostál 2008). Existují odrůdy se žlutým zbarvením kořene, nebo až fialově vybarvené, také ale bílé. Jako zelenina se nejvíce pěstují odrůdy z oranžově zbarvenými kořeny (Prohens & Nuez 2008; Que et al. 2019).



**Obr. 1** Vnější a vnitřní stavba mrkve (A; Malík 2014); rostlina mrkve seté (B; Bednářová 2015)

V nadzemní části se v prvním roce po výsevu vyvine na velmi zkrácené ose listová růžice (Obr. 1 B). Listy jsou dva až čtyřikrát zpeřené, v obrysu trojboce vejčité. Nejspodnější listy jsou řapíkaté, hořejší listy na později vyrostlých osách mají malé pochvy víceméně přisedlé a jsou menší. Úkrojky posledního řádu jsou vejčité, podlouhlé peřenosečné, s úkrojky nestejně zubatými až zastříhovanými, horní listy na květních lodyhách jsou menší peřenosečné. Celé listy jsou štetinatě chlupaté. Po přezimování prorůstají ze středu přízemních listových růžic květné lodyhy, vysoké často až přes 100 cm. Jsou větvené a

zakončené okolíky, které jsou v době květu ploché, v době dozrávání nálevovitě zaokrouhlené. Střední květ okolíků je často tmavofialově zbarven, ostatní květy jsou bílé, nažloutlé, někdy narůžovělé. Doba květů připadá na květen až červenec (Štambera 1979), dozrávají protandricky neboli samčí pohlavní buňky (pyl) dozrává dříve než samičí pohlavní buňky (vajíčka) (Doubleday 2016). Dozrálé plody jsou eliptické až vejčité, 3-4 mm zploštělé, dlouhé nažky, se třemi krátce štětinatými hlavními a se 3-4 dlouze hákovitými ostnitými vedlejšími žebry (Štambera 1979). Háčky na nažkách se pro setí musí odhrnout při komerční úpravě osiva (Pekárková 2004).

### 3.3.3 Odrůdy a šlechtění

Odrůdy mrkve se rozlišují podle tvaru, délky vegetace a upotřebení. Podle tvaru se rozlišuje typ mrkve Amsterdamská, vhodný k urychlení a ranému polnímu pěstování jako mrkev svazková. Obdobné použití má i mrkev typu Nantéská, i když se často prodává jako mrkev odnatěná. Rané odrůdy mrkve mají válcovitý tvar, tupé ukončení kořene a v praxi se označují jako karotky. Pro uskladnění se pěstují odrůdy dlouhého, kuželovitého tvaru – typ Berlicum, Flakkeer. Jedná se o odrůdy pozdní, dosahující vysokého výnosu. Odrůdy pro průmyslové zpracování mají mít vysoký výnos, vysoký obsah sušiny a karotenu. Odrůdy typu Chantenay jsou vhodné k průmyslovému zpracování, převážně na výrobu džusů (Malý et al. 1998). Kulaté odrůdy, typu Pariser Markt, se využívají k průmyslovému zpracování, lze je však pěstovat i pro přímý konzum (Růžička 2014). Vyžadují se odrůdy vyznačující se vysokou kvalitou kořenů, vysokou uniformitou, která se však projeví jenom při dodržování požadované technologie pěstování (Malý et al. 1998).

Metodami genetického inženýrství byla vyvinuta i geneticky modifikovaná mrkev pro snížení rozšířené choroby osteoporózy. U mrkve byl pozměněn gen sCAX1, který kóduje bílkovinu důležitou pro transport vápníku a jeho ukládáním v rostlinných pletivech. Pokusy byly prováděny ze začátku na myších, později i na lidských jedincích. Absorpce vápníku z geneticky modifikované mrkve byla o 41 % vyšší (Flores 2008). V České republice není povoleno pěstovat GMO mrkev (MŽP 2022).

### 3.3.4 Osivo a výsev

Osivo mrkve je v zásadě rozdělováno na I. a II. třídu. Mezi fyzikálně-mechanické vlastnosti osiva mrkve patří hmotnost tisíce semen (0,9-2 g), hmotnost 1 m<sup>3</sup> semen (350-480 kg) a počet semen v 1 kg (1,2–1,6 mil.) (VŠÚZ 1986). Semeno klíčí již při teplotě 5 °C, klíčivost si udržuje 3-4 roky (Malý et al. 1998). Osivo se prodává často inkrustované (Pekárková 2004).

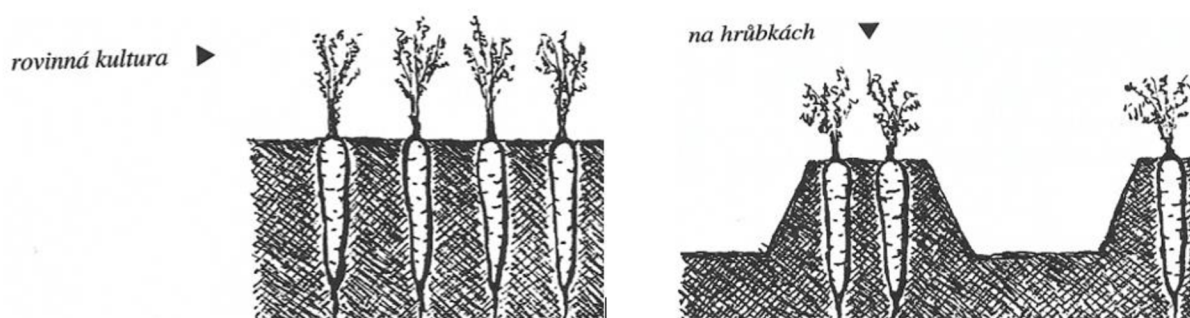
Mrkev se pěstuje zásadně z přímého výsevu na záhon (Pekárková 2004). Raná mrkev se vysévá v březnu až dubnu, pozdní mrkev se vysévá v květnu až červenci a je kladen důraz na stejnoměrně hluboké zapravení osiva do hloubky 20 až 30 mm. Výsledné množství se řídí klíčivostí tak, aby bylo dosaženo 1,2 až 1,6 milionů jedinců na 1 ha v závislosti na odrůdě. Nejvhodnější meziřádkovou vzdáleností je 15-30 cm (Patel et al. 2019). Příliš raný výsev a následné chladné počasí mohou ovšem u některých odrůd způsobit předčasné vybíhání do květu, které zcela znehodnotí konzumní kvalitu kořenů (Pekárková 2004). Po zasetí se

doporučuje přiválení, čímž se půda utuží, zlepši kapilární spojení horní vrstvy ornice, což přispívá k rychlejšímu a rovnoměrnějšímu vzcházení mrkve (VŠÚZ 1986).

### 3.3.5 Pěstování

Mrkev se pěstuje převážně ve venkovních záhonech. Raná sklizeň jemných kořenů karotky se získává na jaře i na podzim v nevytápěném skleníku, fóliovníku, pod fóliovými kryty i v pařeništi. Při lehkém krytí může mladý porost z podzimního výsevu ve skleníku i dobře přezimovat, vybarvení kořenů však není optimální (Pekárková 2004).

Další metodou zvyšování kvality kořenů je pěstování na hrůbkách (Obr. 2). Podmínkou úspěchů je však nezaplevelený pozemek a pravidelné zásobení vláhou. Hlavními klady pěstování mrkve na hrůbkách jsou vyšší výnos, snadnější sklizeň a menší znečištění kořenů zemí, proto je tato metoda hojně využívána. Mezi nevýhody patří vyšší pracnost při přípravě před setím, během vegetace a větší potřeba pravidelné a vydatné závlahy (Crha 1996).



Obr. 2 Nejčastější metody pěstování mrkve (Pokorný 2007)

### 3.3.6 Nároky

#### 3.3.6.1 Klima

Mrkev je nenáročná na klima, roste v širokém rozmezí teplot a dá se pěstovat až do nadmořské výšky 500 m (Pekárková 2004). Optimální teplota pro pěstování je 18 °C. Při vyšších teplotách se zvyšuje tvorba karotenu, která je nejvyšší při teplotě půdy 15-20 °C (Malý et al. 1998). Mrkev je chladuvzdorná plodina, kterou lze vysévat na jaře v mírném pásmu nebo na podzim či v zimě v subtropickém pásmu (Alessandro et al. 2013). Rostliny dokonce snášejí i mráz do -4 až -5 °C (Míka et al. 2001). Při nižší teplotě, vyšším množství vláh a nižší hustotě porostu se tvoří dlouhé, kuželovité kořeny, které jsou hůře vybarvené (Malý et al. 1998). Vysoké teploty (18 až 21 °C) se projeví u mrkve hlavně změnou barvy, hořkou chutí, pevností, zvýšeným obsahem sacharózy a karotenu v kořenech. Zatímco nízká teplota (9 a 12 °C) zvyšuje sladkou a kyselou chuť, křupavost, šťavnatost, obsah fruktózy a glukózy. Nejdelší kořeny jsou získány při teplotě 9 a 12 °C, nejvyšší hmotnosti kořenů při 12 a 15 °C (Rosenfeld et al. 1998).

### 3.3.6.2 Osevní postup

Mrkev se v osevním postupu řadí do II. trati, to znamená po předplodině, která byla hnojena organickým hnojivem. Z tohoto důvodu se tedy řadí po okopaninách, obilninách i luskovinách ve všeobecném osevním postupu, nebo po košťálovinách v zelinářském osevním postupu. Do I. trati se mrkev nezařazuje, protože se pak sklízí vysoké procento kořenů prasklých i větvených a vzrůstá tak nebezpečí zvýšeného náletu pochmurnatky mrkvové, způsobující červivost kořenů. Druhy z čeledi mrkvovitých by měly mít od sebe odstup pěstování 4 až 6 let. Při kratší době hrozí nebezpečí rozmnožení specifických chorob, škůdců a plevelů. Při častějším zařazení mrkve její výnosy nejdříve stoupají, ale následně nastává rychlý pokles výnosu (VŠÚZ 1986). Odrůdy s krátkou vegetační dobou – karotky ke sklizni se mohou vysévat jako předplodina, nebo jako následná plodina do začátku července (Malý et al. 1998).

### 3.3.6.3 Půda

Pro kulturu mrkve jsou vhodné lehčí, propustné, hluboké půdy bez kamenů, které způsobují větvení (Malý et al. 1998) a deformaci kořenů (Pekárková 2004). Nejvhodnější jsou písčitohlinité až hlinitopísčité půdy dostatečně zásobené humusem. Dobrých výsledků se dosahuje i na sprašových půdách, nutno však počítat s většími výrobními náklady, zejména při sklizni. Na zamokřených půdách s nedostatkem kyslíku dochází k častějšímu vybíhání rostlin do květu, k nedostatečnému vybarvení kořenů a k zvýšenému napadení houbovými chorobami (Malý et al. 1998). Mrkev nemá výrazné požadavky na půdní reakci, ovšem při pH pod 4,5 neroste. Nejlépe jí však vyhovuje reakce při pH 6,5 až 7,5. Při hodnotách pH 5,5 je třeba upravit reakci vápněním. Mrkev je na přímé vápnění citlivá, a proto se vápní k předplodinám. K vápnění se aplikuje mletý vápenec – nejvhodnější jsou dolomitické vápence, které dodávají zároveň hořčík. Zvláště na lehčích půdách, které často vykazují nedostatek hořčíku, jsou uvedené vápence vhodné. Při hodnotě pH nad 7,2 nebo vykazuje-li půda nad 0,3 % uhličitánů, není třeba vápnit (VŠÚZ 1989).

### 3.3.6.4 Agrotechnika, výživa a hnojení

Základem přípravy půdy je její dobré prokypření. Po sklizni obilovin má co nejdříve následovat klasická podmítka do hloubky 80 až 120 mm. Podzimní orba má být provedena do konce října (Malý et al. 1998) a může být spojena se zaorávkou hnojiv, především fosforečných a draselných (Bartoš 2001).

Mrkev je citlivá na přechodné zasolení půdy, ke kterému může dojít v období před výsevem, když se hnojiva zapraví do vrchní vrstvy ornice. V důsledku toho dochází k zhoršení vzcházení. Proto se hnojí alespoň 3 týdny před setím. Aby se docílila tvorba dlouhých, rovných, dobře vybavených kořenů a usnadnila se jejich sklizeň, je vhodné vysévat mrkev do hrůbek nebo záhonů. Hrůbky se formují hrobkovačem ve vzdálenosti 0,5 m při výsevu do jednoho řádku a na vzdálenost 0,75 m při výsevu do dvojřádků. Mrkev lze rovněž pěstovat na záhonech 1,5 m širokých pruzích. Vysévá se na utužené výsevné lůžko. Pokud není osivo obalené, nebo inkrustované, moří se. Doporučená hloubka výsevu je 10 až 15 mm. Způsob výsevu a výsledek závisí na odrůdě i účelu pěstování. Při stanovení výsevku se počítá

s max. 70% vzházivostí. Vhodný výsevek 700 až 900 tisíc semen. Vhodný počet jedinců na hektar je 1,2 až 1,6 miliónů. Vysévá se přesným pneumatickým secím strojem do 1 až 3 řádků na hrůbek. Výhodné je spojit tvarování hrůbek s výsevem pomocí strojového agregátu složeného z frézy, formovače hrůbek, přítlačného zařízení a secího stroje. Jedním přejezdem se tak vytvoří až 4 hrůbky (Malý et al. 1998).

K urychlení vzházení a ranosti mrkve pěstované pro svazky, jako i k omezení výskytu škůdců, lze doporučit nakrývání netkanou textilií o hmotnosti 17 g/m<sup>2</sup>. Nakrývání zlepšuje teplotní poměry, urychluje nástup první sklizně asi o 10 dnů a snižuje nebezpečí poškození porostu pochmurnatkou mrkvovou (Malý et al. 1998).

Mrkev citlivě reaguje na hnojení dusíkem, proto se doporučuje řídit obsahem N<sub>min</sub> v půdě do hloubky 30 cm. Tato rostlina patří k zeleninám, které hromadí dusičnany (Bartoš 2001). Dostatek dusíku sice zvyšuje výnos i délku kořenů a snižuje jejich lámavost, jeho přebytek má však za následek zhoršení chuti a nežádoucí vysoký obsah dusičnanů v kořenech. Naopak nedostatek dusíku se pozná podle žloutnutí listů (Pekárková 2004). Dávky dusíku závisí na zařazení mrkve v osevním postupu a oblasti pěstování, pohybují se od 150-190 kg N/ha. Dusíkatá hnojiva se dodávají na jaře před setím. Na půdách lehkých, propustných se doporučuje 20 % z celkové dávky dusíku aplikovat během vegetace za 30 dnů po vzejití mrkve. Dusík při základním hnojení před setím se dodává v síranu amonném, močovně, nebo DAM-390 (Malý et al. 1998). Podle Risvik & Steinsholta (1997) mrkev pěstovaná s aplikací nízké dávky dusíku (cca 40-80 kg N/ha), bývá méně křupavá a obsahuje více cukrů.

Mrkev, jako i další druhy z čeledi miříkovité, má vysoké nároky na draslík. Dostatečná zásoba draslíku je předpokladem dosažení optimálního výnosu, kvality i dobré skladovatelnosti. Potřeba hnojení draslíkem se pohybuje okolo 80-120 kg K/ha a fosforem okolo 36-64 kg P/ha. Fosforečná a draselná hnojiva lze dodávat na podzim a zapravovat podmínkou nebo orbou (Bartoš 2001). Předpokladem dobrých výnosů a sladké chuti je vápník a hořčík, který se dodává již k předplodině, nebo na podzim před orbou. Vápník ve formě mletého nebo dolomitického vápence se dodává do půdy v množství 1-2 t Ca/ha (Malý et al. 1998). Hořčík pak ve formě oxidu hořečnatého v množství 20-30 kg Mg/ha (Bartoš 2001). Pozornost je třeba věnovat i zásobě mikroprvků, hlavně molybdenu a bóru (Malý et al. 1998).

### 3.3.6.5 Vlaha

Vodní kapacita půdy by se měla pohybovat okolo 60 %. Počáteční dávky po vzejití by neměly přesahovat 10-15 mm, po zapojení porostu je možné aplikovat až 300 mm v jedné dávce (Bartoš 2001). Pro optimální výnos se předpokládá celkové množství srážek od dubna do září 460 mm. Většina našich půd nezajišťuje dostatek vláhy, proto pěstování mrkve vyžaduje doplňkovou závlahu, a to zvláště tehdy, když se pěstuje na hrůbcích (Malý et al. 1998). V suchých podmínkách, a také při opožděné sklizni, ztrácejí kořeny jemnost a vytváří větší množství vlákniny. Silný déšť nebo vydatná závlaha po období sucha vede zase k pukání kořenů (Pekárková 2004). Naopak, při nedostatku vláhy se snižuje výnos, při jejím kolísání dochází k praskání kořenů (Reid & Gillespie 2017).



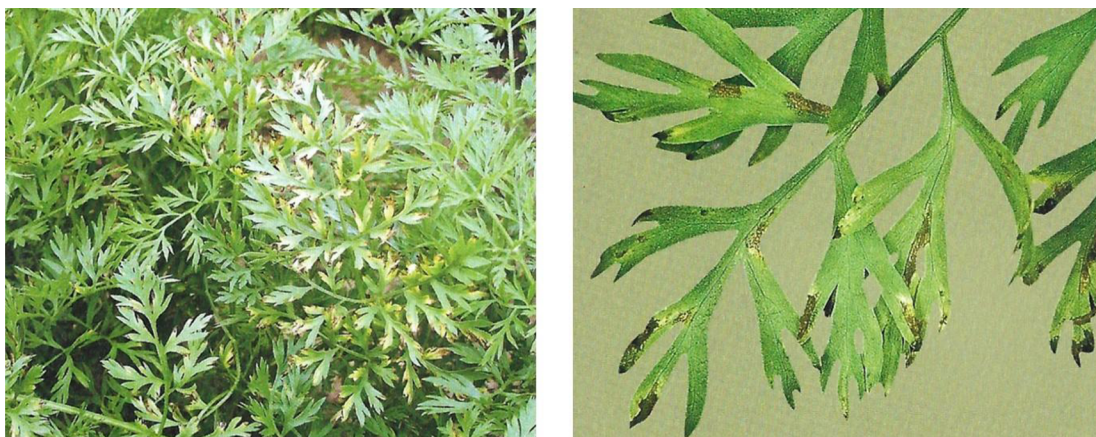
### 3.3.7 Škodliví činitelé a ochrana proti nim

#### 3.3.7.1 Plevelle

Mezi plevelle, vyskytující se v porostu mrkve, patří pýr plazivý, ježatka kuří noha, oves hluchý, zemědělm lékařský, bažanka roční, lilek černý, vlčí mák, tetlucha kozí pýsek, hořčice rolní, ptačinec žabinec, kokoška pastuší tobolka, peníze rolní, divoká mrkev, konopice, bery, svízely, merlíky, laskavce, rdesna a heřmánkovité druhy. Při vzcházení je mrkev vůči herbicidům citlivá. Postemergentní aplikaci lze proto provést nejdříve ve fázi 2-3 pravých listů v závislosti na účinné látce a zdravotním stavu mrkve (Jursík et al. 2016).

#### 3.3.7.2 Choroby

Pravděpodobně nejvýznamnější chorobou je alternariová skvrnitost listů mrkve (Obr. 3), někdy též označována jako suchá skvrnitost listů mrkve, která je rozšířená prakticky po celém světě. Tato choroba je způsobena houbou *Alternaria dauci*. Hlavním zdrojem šíření této choroby jsou infikovaná semena, patogen přežívá v půdě na napadených posklizňových zbytcích. V průběhu vegetace se mezi rostlinami rozšiřuje pomocí větru a deště konidii, které vznikají na napadených listech. Projevy se objevují ze začátku na nejstarších listech jako velké žlutohnědé skvrny se světlejším lemem, skvrny se postupně zvětšují, splývají a tmavnou. V pozdějších fázích jsou všechny listy, včetně mladých, zcela suché a odumřelé. Intenzitu napadení podporuje vlhčí počasí, teploty na 25 °C a husté porosty (Pryor et al. 2002).



**Obr. 3** Alternariová skvrnitost listů mrkve (Lohrer 2020)

Značně podobné vizuální příznaky jako alternariová skvrnitost listů má na listech mrkve cercosporová skvrnitost listů mrkve, jejíž původce je houba *Cercospora carotae* (Carisse & Kushalappa 1992) a dále černá hniloba mrkve, původcem je houba *Alternaria radicina*. Škodlivost těchto chorob na nadzemních částech rostliny je však v našich podmínkách minimální. Černá hniloba a černání mrkve (Obr. 4 A, B) je však nejčastější skládkovou chorobou mrkve (Rod 2004).



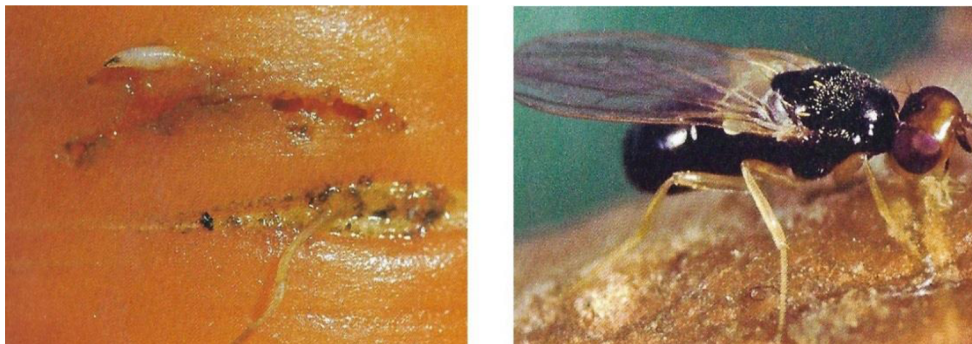
**Obr. 4** Černání kořenů mrkve (A; Petříková et al. 2012); černá hniloba kořenů mrkve (B; Petříková et al. 2012)

Jiným typem chorob je padlí miříkovitých, původcem je houba *Erysiphe heraclei*. Jedná se o typického celosvětově rozšířeného oligofágního patogena, který napadá většinou rostliny z čeledi miříkovitých. Základním příznakem jsou typické bělavě moučné povlaky na všech nadzemních částech rostlin. Na těchto povlacích, které později začnou tmavnout, se objevují i drobné tmavé kulovité plodničky. Vlivem povlaků se snižuje intenzita asimilace, v případě intenzivnějšího napadení je zpomalen celkový růst rostliny. Klíčení spór této choroby vyvolává vysoká vzdušná vlhkost. Výskyt a vývoj padlí podporuje především horké, suché, slunečné počasí, které bývá hlavně v srpnu (Rod 2004). Mezi virové choroby mrkve patří virus tenkolistosti, červenolistosti, strakatosti a virus mozaiky (Rod 2009).

Preventivními ochrannými opatřeními jsou moření osiva, dodržování osevního postupu, hluboká orba, nepřehnojování porostu dusíkem, dostatečná prostorová izolace, zvláha v době sucha, důsledná likvidace plevelů i posklizňových zbytků. Ošetření porostu bývá přípravky na bázi síry (Rod 2004).

### 3.3.7.3 Škůdci

Za nejhojněji vyskytujícího se škůdce mrkve je považována pochmurnatka mrkvová (Obr. 5). Tato drobná moucha a její larvy škodí především na kořenech. Typickými symptomy poškození jsou nepravidelné mělké chodbičky rezavohnědé barvy na kořenech, především v dolní polovině kulového kořene, na rozdíl od vrtalky mrkvové. Uvnitř chodbiček zůstává trus larev, mladé napadené rostliny vadnou a odumírají, listy starších rostlin se zbarvují do žlutočervena (Březíková 2002).



**Obr. 5** Poškození mrkve pochmurnatkou mrkvovou (Lohrer 2020)



Nebezpečný škůdce může být i merule mrkvová. Příznakem napadení je silné zkadeření a stáčení listů, přičemž listy zůstávají zelené (Březíková 2002).

Méně významný škůdce je vrtalka mrkvová (Obr. 6), její larvy minují těsně pod povrchem hlavy kořen mrkve. V chodbičkách nezůstává trus na rozdíl od pochmurnatky. Samičky sají na listech a způsobují na jejich spodní straně světlé skvrnky (Březíková 2002).



**Obr. 6** Poškození mrkve vrtalkou mrkvovou (Lohrer 2020)

V sušších letech se v porostech mrkve hojně vyskytují mšice, především mšice mrkvová. Listy poškozené sáním jsou zkadeřené, žloutnou a čepel listu mají vyklenutou směrem vzhůru (Březíková 2002).

Dutilka hlohová primárně napadá hloh, ale v květnu přelétává na porosty mrkve. Listy napadených rostlin žloutnou a usychají, kořeny se zmenšují a vadnou. U mrkve se vyskytují i háďátka, která napadají kořen a způsobují zeslabení kořene, tvorbu vláscitých kořínků nebo deformované kořeny (Březíková 2002).

V semenných porostech mrkve se může vyskytovat makadlovka kmínová nebo klopušky. Makadlovka vyžírá drobné otvory v listech, později stopky květů a semen. Klopušky způsobují na listech drobné skvrnky, které se postupně zvětšují, tmavnou a trhají se (Březíková 2002).

Dalšími škůdci mohou být osenice polní, chroust obecný a mnohonožky, v pozdější fázi vývoje mrkve může být napadená také slimáčky, hraboši, křečky nebo hryzci (Muška 2005). Účinnou ochranou proti škůdcům mrkve je používání insekticidů nebo využití biagens (Březíková 2002).

### **3.3.8 Sklizeň a posklizňová úprava**

Karotka určená ke svazkování se, po operaci podorání, sklízí ručně. Mrkev pozdní a mrkev pro průmyslové zpracování se sklízí mechanizovaně. Při mechanizované sklizni se u mrkve pěstované na hrůbcích nejdříve sežehne nať a následně se vyorají kořeny. Při pěstování na záhonech a rovném povrchu se mrkev sklízí jedno nebo dvouřádkovými sklízecími stroji, které vytahují mrkev za nať. Z hlediska snížení ztrát při skladování mrkve by bylo vhodné přímo na poli mrkev plnit do ohradových palet, nechat kořeny povrchově osušit a poté naskladnit (Malý et al. 1998).

Do posklizňové úpravy patří odhlinění, třídění a balení mrkve (Malý et al. 1998). Mrkev zařazena do výběru musí být praná, do ostatních tříd zbarvená nečistot. Kořeny musí být pevné, nerozvětvené, nedřevnaté, nevyběhlé do květu, celé a čerstvého vzhledu. U výběru se nedovoluje zelené nebo nachové zbarvení hlavy kořene, u I. a II. jakostní třídy je uvedena maximální délka zbarvením v závislosti od velikosti kořenů. Mrkev skladovaná musí mít

určitý příčný průměr nebo hmotnost. U výběru by to mělo být 20 až 45 mm nebo 50 až 200 g, u I. a II. jakosti nejméně 20 mm nebo nejméně 50 g (Pokora 2000). Mrkev dodávána ve svazcích, musí mít čerstvou, zelenou a zdravou nať. Kořeny musí být ve svazku vyrovnané hmotnosti a musí být vyrovnány v jedné nebo více vrstvách. Mrkev bez natě, musí mít odříznutou nať u krčku kořene, aniž by došlo k poranění hlavy. Kořeny se dodávají ve spotřebitelských obalech nebo v obalech urovnané v několika vrstvách nebo nerovnané (Malý et al. 1998).

### **3.3.9 Skladování**

Nejvhodnější teplota pro skladování je 1 °C, již při nepatrně vyšší teplotě vzrůstá podíl klíčících kořenů. Při 0 až -0,5 °C se vyskytuje vyšší procento houbových chorob. Skladovaná mrkev vyžaduje vysokou relativní vzdušnou vlhkost, protože její anatomická struktura nedovede účinně zabránit výdeji vody. Rychlost proudění vzduchu ve skladu rozhoduje často o výsledku skladování. Účinné odvádění vydýchaného tepla z velkoobjemových beden a hromad mrkve se zabezpečí pomocí větracích kanálů a celého režimu ventilace. Vzduch by se neměl pohybovat rychleji než 1 m/sec, jinak kořeny vadnou. Délka skladování mrkve je ovlivněna hnojením, výživou, velikostí a tvarem mrkve, termínem sklizně a počasím. Optimální podmínky zajišťují dobrou skladovatelnost po 5 až 6 měsíců (Seyoum et al. 2011).

### **3.3.10 Náklady na výrobu mrkve**

Mezi náklady na výrobu této zeleniny patří technické zajištění operací na poli (podmítka, orba, urovnání a příprava půdního povrchu, hnojení, setí, zavlažování, chemická ochrana, sklizeň, odvoz, drcení zbytků) a materiální vstupy (přípravky na ochranu rostlin, osivo, závlahová voda). Výsledné náklady závisí na technologii pěstování. Nejvyšší podíl připadá na operace spojené se zpracováním a přípravou půdy, cca 25-30 %, dále pak na operace spojené se sklizní a posklizňovou manipulací, cca 43-46 % (Burg & Zemánek 2008).

### **3.3.11 Nutriční hodnota a využití**

Mrkev je nejbohatším zdrojem provitamínu A, kromě toho obsahuje vitamíny B1, B2 a C. Dále obsahuje bílkoviny, tuky, sacharidy, vlákninu, vápník, železo, fosfor, sodík, draslík, hořčík, měď, zinek, karoteny, thiamin, riboflavin a niacin (da Silva Dias 2014).

Její využití v běžné i v dietní stravě je mnohostranné, především do salátů, jako příloha nebo součást přípravy masa, omáček a polévek. Mrazí se, suší a sterilizuje se samostatně i ve směsích, vyrábějí se z ní šťávy (Pekárková 2004). Syrová mrkev je nejzdravější, z jednoho hlediska se ale její diabetická hodnota vařením nebo dušením dokonce zvyšuje. V syrovém stavu silné buněčné stěny kořenů neumožní lidskému tělu využívat více než 25 % dostupného beta-karotenu. Když se uvaří a doplní částí tuku, lidské tělo je schopno přeměnit až 50 % beta-karotenu na vitamín A (Gajdoštin 2019). Mrkev je důležitá při léčbě onemocnění jater, žlučníku a průjemových onemocněních (Malý et al. 1998). Mrkve, hlavně její krmná forma, se využívá pro zkrmování všech hospodářských zvířat, hlavně skotu, drůbeže a králíků, netradičně i u koní, prasat, daňků, jelenů a další zvěře (Míka et al. 2001). Zařazuje se do jídelníčku domácím zvířatům, např. okrasnému ptactvu, hlodavcům, ale i psům a kočkám (Prombergerová 2014).

### 3.4 Kontaminace půdy rizikovými prvky

Kontaminace rizikovými prvky v půdě je celosvětový problém (Decaules 2012), má za následek jak obrovské ekonomické ztráty, tak vážné zdravotní problémy (Chen & Li 2018). Akumulace rizikových prvků v půdě je velmi pomalá a jejich účinky mohou být detekovány po desítkách let (Abbásnia et al. 2018).

Existence těchto prvků v půdě je přirozená, ale hodnoty překračující standartní limit jsou považovány za zdroje kontaminace v životním prostředí (Abbásnia et al. 2018).

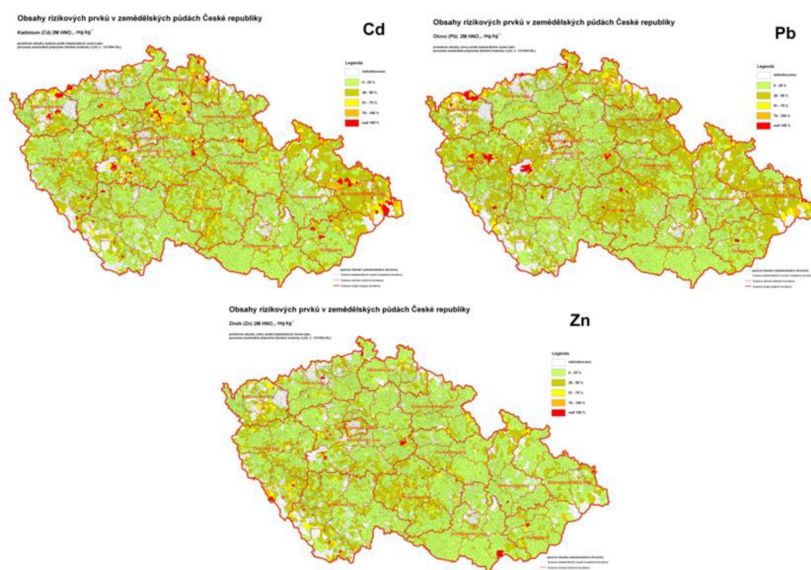
Hlavním vlivem akumulace většího množství rizikových prvků v půdě je antropogenní činnost. Správné rozlišení mezi přírodním a antropogenním obsahem těchto látek v půdách je zásadní pro posouzení kontaminace půdy (Desaules 2012). Přírodní stopový obsah prvků v půdách je geogenního původu a jedná se o produkty zvětrávání, zatímco antropogenní stopové prvky jsou uloženy hlavně na povrchu půdy (Ruppert 1991). Za šíření antropogenních rizikových látek může hlavně rozšiřování průmyslových oblastí a důlních hlušín; likvidace kovových odpadů, olovnatých benzínů a barev; aplikace minerálních a statkových hnojiv do půdy, kalů z čistíren odpadních vod, pesticidů; zavlažování odpadními vodami; zbytky spalování uhlí a rozlití petrochemikálií (Wuana & Okieimen 2011).

### 3.5 Rizikové prvky

Rizikové prvky představují anorganické prvky, patří mezi ně, např. kadmium, olovo, chrom, rtuť, arzen, beryllium, thallium (Karimpour et al. 2018). Tyto látky jsou rostlinami přijímány hlavně z půdy, ale může dojít k příjmu i z atmosféry (Vaněk et al. 2016).

V malém množství jsou některé tyto prvky potřebné pro udržení dobrého zdraví rostliny, ale ve větším množství se mohou stát toxickými (Järup 2003). Proto jsou vstupy rizikových prvků do půdy sledovány a v případě vyšších obsahů v půdě se musí omezit jejich průnik do rostliny, protože mohou působit negativně (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007), např. narušením metabolismu, poruchou růstu, snížením kvality produkce až poškozením určitých částí rostliny (Vaněk et al. 2012).

Příjem rizikových prvků z půdy je ovlivněn znečištěním, fyzikálními a chemickými vlastnostmi půdy (např. půdní druh, kationtová výměnná kapacita, půdní reakce, obsah organické hmoty, redox potenciál půdy a též působení ostatních iontů), druhem pěstované rostliny a specifickými vlastnostmi jednotlivých prvků (Vaněk et al. 2012). Vyšší zátěže těchto látek se vyskytují, např. v okolí Ostravy, Třince, Jablunkova a v lokalitách průmyslové oblasti severních a severozápadních Čech, v okolí Příbrami, Berouna a Kutné Hory atd. (Vaněk et al. 2016). Na Obr. 7 jsou znázorněny oblasti kontaminace vybranými rizikovými prvky v celorepublikovém měřítku.



**Obr. 7** Obsahy kadmia, olova a zinku na území České republiky (ÚKZÚZ 2022)

Existují dva typy příjmu rizikových prvků do rostliny – kořenový a mimokořenový. Kořenový příjem může být pasivní nebo aktivní/metabolický (Salisbury & Ross 1992). Mimokořenový příjem, hlavně prostřednictvím listů, může být významným v kontaminaci rostlin imisemi. Rizikové prvky přijaté listy mohou být dále transportovány do dalších pletiv včetně kořenového systému (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Pořadí příjmu rizikových prvků bývá uváděno podle biopřístupnosti pro rostliny – Zn > Cd > Ni > Cr > Pb. Toto pořadí může mít různé odchylky podle působení dalších faktorů (Harrison & Chirgawi 1989).

### 3.5.1 Kadmium (Cd)

Kadmium je měkký lehce tavitelný kov bílé barvy (Alloway 1990). Patří mezi nejnebezpečnější toxické látky snadno vstupujících do potravního řetězce. Chemickými vlastnostmi se podobá Zn, ale na rozdíl od něj není amfoterní (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Průměrný obsah Cd v půdě v přirozených podmínkách se nejčastěji pohybuje v rozmezí 0,01-1,1 mg/kg. Tento kov se v přírodě vyskytuje jen zřídka v čisté formě, nachází se ve formě minerálů (Solís-Dominguez et al. 2007; Chen et al. 2011). Vyskytuje se především v mocenství  $Cd^{2+}$ , sloučeniny  $Cd^{+}$  jsou silně nestálé (Abedi & Mojiri 2020).

Kadmium vzniká především jako vedlejší produkt při těžbě a rafinaci Zn (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Hlavními faktory limitujícími jeho obsah v půdách jsou chemické složení mateční horniny, pH a hloubka půdního profilu (Hasan et al. 2007). S rostoucím pH klesá rozpustnost Cd, a proto je v alkalických půdách značně imobilní, v oxidačních podmínkách je naopak velmi mobilní (Abedi & Mojiri 2020). Vysoké dávky N a některých dalších živin mohou způsobit okyselení, což zvyšuje rozpustnost a biologickou dostupnost Cd v půdě (Ning et al. 2017). Kadmium se v půdě kumuluje nejvíce ve vrstvě 0-5 cm a s přibývajícím hloubkou jeho koncentrace klesá (Cibulka 1990).

Rostliny nemají žádné metabolické požadavky na Cd, ale jeho relativně snadná dostupnost pro rostliny představuje vážné zdravotní riziko (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Kontaminace rostlin Cd může nastat imisním spadem z ovzduší, ale také příjmem Cd z

půdního roztoku kořeny (Beneš 1994). Aplikací Se v nízké koncentraci v kontaminovaných půdách příznivě zlepšuje růst rostlin a zmírňuje stres Cd (Filek et al. 2008; Gao et al. 2018).

Kadmium má vysokou pohyblivost a asimilaci, díky tomu se dostává přes kořeny do rostliny a následně je translokováno prostřednictvím mízy nebo pomocí transportérů v iontové formě do cévních svazků, tj. floém a xylém (Dong et al. 2019). Částice Cd jsou zachyceny v kořenech rostlin a pouze malá část je transportována do dalších částí rostlin v tomto pořadí: kořeny > listy > stonky > semena (Tran & Popova 2013; Kubier et al. 2019).

Většina rostlin je vůči Cd velmi tolerantní, např. rajčata, brambory; jsou však i plodiny citlivé, např. špenát, sója, tabák, které reagují negativně již na množství 4-13 mg/kg půdy. Existuje ale i případ, kdy Cd působí příznivě na vlastní vývoj rostliny a výnos, např. u kukuřice (Beneš 1994).

Příznaky toxicity Cd u rostlin jsou obecně abnormality růstu (např. zakrnění), hnědnutí kořenů (Lux 2012), rolování listů, chloróza (Zhang et al. 2019), usychání až nekróza (Ismael et al. 2019). Tento prvek potlačuje klíčení, zpomaluje proces fotosyntézy, inhibuje tvorbu průduchů (Volland et al. 2014; Raza et al. 2020) a postranních kořenů (Krantev et al. 2008), snižuje toleranci rostlin vůči vodnímu stresu (Raza et al. 2020), snižuje aktivitu  $\alpha$ -amylázy a díky tomu se snižuje produkce škrobu (Kalai et al. 2016). Po expozici Cd může být inhibován příjem některých prvků, např. N, P, K, S, Ca, Zn, Mn a B (Metwally et al. 2005; Nedjimi & Daoud 2009; Zhang et al. 2019).

### 3.5.2 Olovo (Pb)

Olovo je modrošedý lesklý kov, který se nachází v malém množství v zemské kůře. Je měkký, vysoce kujný, tažný, špatně vodí a je odolný vůči korozi. Průměrný obsah Pb v půdě se nejčastěji pohybuje od 5 do 50 mg/kg (Adriano 2001). V životním prostředí se vyskytuje především jako Pb a jeho sloučeniny jsou většinou nerozpustné ve vodě.

Přirozený obsah Pb v půdách pochází z matečných hornin, hlavně jílovitého charakteru. Výrazným zdrojem Pb v životním prostředí jsou výfukové zplodiny, spalování odpadu, těžba a zpracování Pb. Obecně se akumuluje v blízkosti povrchu půdy, s hloubkou se jeho obsah snižuje a jeho mobilizace je obvykle pomalá v půdním profilu (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Akumulaci Pb zaznamenávají hlavně půdy humusové (Bartošová 1995).

Přenos Pb v rostlinách je velmi omezený (Laidlaw et al. 2012), může být absorbováno kořeny z půdního roztoku přes apoplastickou cestu (Pourrut et al. 2011). Olovo má tendenci se nejvíce hromadit z 95 % v rhizodermis a kortexové části kořenů (Seregin & Ivanov 2001; Jiang & Liu 2010), v případě nadzemních částí se kumuluje v buněčných stěnách a vakuolách (Kumar & Prasad 2018). Obecně se dá ale říct, že se obsah Pb v rostlinných orgánech snižuje se vzdáleností od půdy (kořeny > listy > stonky > semena), stejně jako u Cd (Seregin & Ivanov 2001). Podle Beneše (1994) bylo prokázáno, že koncentrace Pb v nadzemní biomase rostlin je i u velmi silně zamořených půd celkem nízká, pravděpodobně díky odolnosti rostlin a toleranci k Pb (Kumar & Prasad 2018). Příjem Pb rostlinami je menší v zásaditých půdách než v kyselých. Rovněž lze snížit přístupnost Pb pro rostliny využitím sorpce Pb huminovými kyselinami (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007).

Olovo může ovlivnit téměř všechny aspekty růstu a zdraví rostlin. Při velmi nízkých koncentracích Pb dochází k inhibici klíčení rostlin, dále je ovlivněn rozvoj kořenů i

nadzemních částí rostliny (Kopittke et al. 2007; Gopal & Rizvi 2008; Gupta et al. 2010). Akumulace Pb způsobuje snížení obsahu bílkovin a ATP; snížení transpirace, dýchání a vlhkosti; omezuje příjem živin, proces fotosyntézy i enzymové funkce; zvyšuje se oxidační stres a peroxidace lipidů (Pourrut et al. 2011). V neposlední řadě může docházet i k poškození DNA a dalšího genetického materiálu (Kumar & Prasad 2018).

Běžnými příznaky přebytku Pb v rostlinách jsou tmavě zelené listy, starší vadnoucí listy a hnědé krátké kořeny (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007).

### 3.5.3 Zinek (Zn)

Zinek je modrobílý kov, který se na vzduchu pokrývá vrstvičkou oxidu zinečnatého. Zinek je v půdách distribuován nerovnoměrně a jeho koncentrace se pohybuje mezi 10 až 300 mg/kg. Všeobecně je přijímán převážně jako dvojmocný kation, především kořeny (Marschner 1995; Leuci et al. 2020). Přírodním zdrojem Zn v přírodě je zvětrávání rud s obsahem Zn. Tento prvek se do atmosféry uvolňuje při spalování fosilních paliv a při těžbě a zpracování zinkových rud. V půdě jsou zdrojem Zn také hnojiva obsahující Zn a čistírenské kaly (Merian 1991).

Mobilita Zn je v půdě poměrně malá, zvláště při vyšších hodnotách pH (Vaněk et al. 2016). Minerální sloučeniny jsou kromě sulfidu zinečnatého relativně rozpustné, ale pouze v kyselé oblasti pH (Vaněk et al. 2012). Nejvyšší obsah Zn je pozorován ve vápenatých půdách a organických půdách (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007).

Na jeho příjem má také vliv množství P v prostředí. Zvýšené množství P v půdním roztoku zřejmě krátkodobě snižuje rozpustnost Zn – vytvářejí se nerozpustné fosforečnany zinečnaté (Vaněk et al. 2012). A také vyšší obsah P v rostlinách omezuje pohyb Zn v rostlině, hlavně jeho transport do vegetačních vrcholů (Vaněk et al. 2016). Příjem Zn je potlačován také přítomností většího množství Fe a Cu (Vaněk et al. 2012). Zinek ( $Zn^{2+}$ ) má silnou afinitu k N, O a S (Leuci et al. 2020).

Zinek hraje zásadní metabolickou roli v rostlinách, hlavně u metabolismu sacharidů, bílkovin, fosfátů, glycidů. Je aktivní složkou řady enzymů a aktivuje řadu enzymových reakcí (Gupta et al. 2016; Lin et al. 2016). Ovlivňuje propustnost membrán a prodlužovací růst rostlin (Vaněk et al. 2012), stabilizuje buněčné složky, stimuluje odolnost rostlin vůči suchému a horkému počasí, odolnost vůči bakteriálním a houbovým chorobám (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007).

Nedostatek Zn v rostlinách je obecně pozorován, když je jeho obsah v rostlině menší než 20 mg/kg a toxické účinky se očekávají při překročení koncentrace 300-400 mg/kg. Kvůli nedostatku Zn zůstávají některé rostliny krátké a nedostatečně vyvinuté (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Nedostatek Zn je rozšířený mezi rostlinami pěstovanými ve vysoce zvětralých kyselých půdách a na vápenatých půdách (Marschner 1995). Zajištění přiměřeného příjmu Zn rostlinami je možné úpravou půdních podmínek, hlavně pH. Půdy s nízkým obsahem Zn je nutné vyhnojovat nejlépe síranem zinečnatým (obsahuje asi 22 % Zn) (Vaněk et al. 2016).

Nadbytek Zn a jeho případné toxické působení v přirozených podmínkách jsou ojedinělé. Při vysokém obsahu Zn v prostředí je omezen příjem Fe a Mn (Chakraborty & Mishra 2020), zpomaluje se růst rostliny (Vaněk et al. 2016) a vyskytuje se silná chloróza až

nekróza u mladých listů (Marschner 1995; Fukao et al. 2011). Nadbytek Zn ovlivňuje metabolismus rostliny, aktivitu amyláz a enzymatickou činnost; inhibuje fotosyntézu, aktivitu Rubisco a délku kořenů (Zhang et al. 2017; Garg & Singh 2018; Yahaghi et al. 2019).



## 4 Metodika

Pro sledování vlivu antropogenní kontaminace půdy na růst rostlin, její metabolismus a obsah rizikových prvků v rostlině byl založen vegetační nádobový pokus ve skleníku Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin. Pro pokus byla vybrána mrkev karotka raná (*Daucus carota* L. odrůda NANTES 2), která byla pěstována na půdě z dvou lokalit České republiky lišících se obsahem rizikových prvků.

### 4.1 Pokusná půda

V nádobovém pokusu byly použity dva typy půd, jejichž základní charakteristika je uvedena v tab. 1.

Půda z lokality Praha-Suchdol (50° 8' 8" N, 14° 22' 43" E) byla použita jako kontrolní varianta s ohledem na stanovené pseudototální obsahy rizikových prvků, které jsou pod limitem legislativně uváděných preventivních hodnot rizikových prvků v zemědělských půdách ČR (dle Vyhlášky č. 153/2016 Sb.). Lokalita Suchdol patří do klimatické oblasti T4 (teplý, suchý až velmi suchý s teplou zimou) (Kohut et al. 2012).

Pokusná půda s antropogenní kontaminací byla z lokality Příbramsko-Podlesí (49° 42' 24" N, 13° 58' 32" E). Celé území okresu Příbram patří do oblasti Českého masivu, nachází se ve Středočeském kraji, jihozápadně od Prahy. Toto teritorium je součástí klimatické oblasti MT 7 (mírně teplý, mírně vlhký s mírně teplou zimou) (Tomášek et al. 2004), která je zastoupena třemi okrsky (B3, B5, B8). Převažují jílovitopísčité nivní půdy s různým stupněm podmáčení a oglejení či zrašelinění s kyselým charakterem pH (Drye & Kosová 2006). Nejzávažnější problém životního prostředí je znečištění ovzduší. Problémy jsou spojeny se zatížením půd toxickými látkami a látkami měnícími chemické složení půd souvisejících se způsoby využití půdy v minulosti i v současné době (Drye & Kosová 2006).

Obec Podlesí se nachází severozápadně od Příbrami na levém břehu říčky Litavky. Převážnou část obce pokrývá ze 2/3 les. Obec se nachází v nejzápadnější části okresu, tzv. brdském pásmu, které patří do klimatického okrsku B8 – mírně teplý, vlhký, vrchovatý, úhrn srážek je vyšší než 450 mm, teplota vzduchu nepřesahuje roční průměr 6,5 °C. Půdy v oblasti obce jsou silně kontaminovány rizikovými prvky z minulého provozu Kovohuti Příbram (Tomášek et al. 2004).

**Tab. 1:** Základní charakteristika pokusných půd

Půdní typ a subtyp	Suchdol		Podlesí	
	Černozem haplická		Kambizem modální	
pH <sub>H2O</sub> (-)	7,2		6,1	
KVK (mmol <sub>(+)</sub> /kg)	258		134	
C <sub>org.</sub> (%)	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<sub>org.</sub> – organický uhlík; limitní hodnoty: Cd – 0,5 mg/kg, Pb – 60 mg/kg, Zn – 120 mg/kg



## 4.2 Nádobový pokus

Do plastových nádob bylo odváženo 5 kg z homogenizované půdy, která byla hnojena dusíkem (dávka 0,5 g/nádobu, ve formě  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), fosforem a draslíkem (dávka 0,16 a 0,4 g/nádobu, ve formě  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ). Obě varianty byly provedeny ve čtyřech opakováních (Obr. 8). Nádobky byly rozmístěny v náhodném uspořádání.



**Obr. 8** Nádobky před zasetím (A) a po zasetí semen (B)

Osivo rané odrůdy mrkve karotky firmy Nohel Garden a.s. bylo zakoupeno v maloobchodu. Do každé nádoby bylo zaseto 20 semen, která byla po vzejití následně vyjednocena na 6 rostlin na nádobu.

Mrkev byla pěstována ve skleníku při kontrolovaných parametrech prostředí, které jsou uvedeny v tab. 2. Během pokusu byly nádoby pravidelně přemísťovány z důvodu eliminace vlivu podmínek vnějšího prostředí.

**Tab. 2:** Parametry prostředí ve skleníku

Teplota vzduchu den/noc	22 °C/ 18 °C
Půdní vlhkost	60 % max. vodní kapacity
Světelný režim den/noc	16 h/ 8 h
Intenzita osvětlení	375 W/m <sup>2</sup>

Rostliny byly sklizeny v konzumní zralosti, tj. po 105 dnech růstu v pokusných nádobách. Biomasa mrkve karotky byla rozdělena na nadzemní biomasu (nať) a kořen.

Nadzemní biomasa byla zvážena a rozdělena na části pro analýzy. První část byla dána na sušení pro analýzu obsahu prvků. Z druhé části byla extrahována šťáva, která byla uchována při -80 °C pro budoucí orientační stanovení obsahu nitrátů.

Biomasa kořenů byla po omytí demineralizovanou vodou a osušení pomocí buničité vaty zvážena a byla měřena délka kořenů (Obr. 9). Následně byla biomasa kořenů nastrouhána a rozdělena na části pro analýzy. První část biomasy kořenů byla dána na sušení pro analýzu obsahu prvků. Z druhé části byla extrahována šťáva, která byla uchována při -80 °C pro budoucí analýzu obsahu kyseliny askorbové a orientační stanovení obsahu nitrátů.



**Obr. 9** Měření délky kořenů mrkve karotky

### 4.3 Analýza rostlin

Pro zjištění výnosu suché biomasy a analýzy obsahu prvků byla biomasa mrkve karotky sušena do konstantní hmotnosti 7 dní při 40 °C (sušárna Venticell, BMT Medical Technology). Následně byly vzorky rozemlety na analytickém mlýnku IKA A11 basic (Werke). Po homogenizaci materiálu byl ve vzorcích stanoven obsah prvků.

Stanovení obsahu kyseliny askorbové a orientační stanovení obsahu nitrátů bylo provedeno v extraktech získaných z čerstvé biomasy nadzemní části a kořenů. Z alikvotní části čerstvé biomasy byl získán 1 ml extraktu pomocí lisování v plastové injekční stříkačce, který byl po extrakci do zkumavek uchován v hluboko-mrazícím boxu.

#### 4.3.1 Stanovení obsahu prvků

Ve vzorcích rostlin (navážka suché biomasy  $0,5 \pm 0,05$  g) byl po nízkotlakém mikrovlnném rozkladu v přístroji Ethos1 (MLS GmbH) stanoven celkový obsah Ca, P, Cd, 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). Biomasa byla rozložena v 10 ml směsi  $\text{HNO}_3$  a  $\text{H}_2\text{O}_2$  v poměru 4:1 (v/v). Proces rozkladu trval 60 min při výkonu 1000-1200 W a teplotě 120-180 °C. Po kvantitativním převedení vzorků z teflonových nádob do 50 ml zkumavek byl objem doplněn po rýsku 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. Hodnoty měřených obsahů v mg/l jsou přepočítány na mg/kg pomocí vzorce:

$$\text{obsah prvku (mg/kg)} = \frac{[\text{obsah prvku (mg/l)} - \text{slepý vzorek (mg/l)}] \times \text{objem (ml)}}{\text{navážka (g)}}$$

Obsah dusíku byl stanoven pomocí elementárního analyzátoru CHNS Vario MACRO cube (Elementar Analysensysteme GmbH) po vysokoteplotním (1150 °C) spálení vzorků (navážka biomasy  $25 \pm 5$  mg). Měření bylo provedeno ve čtyřech opakováních za variantu.

### **4.3.2 Stanovení obsahu kyseliny askorbové**

V extraktech z kořenů mrkve karotky byl kolorimetricky stanoven obsah kyseliny askorbové pomocí komerčně dodávaného setu Ascorbic Acid AssayKit II (Sigma-Aldrich). Absorbance byla měřena při 593 nm přístrojem TECAN Infinite® M200 (Tecan). Analýza vzorků byla provedena ve třech opakováních.

### **4.3.3 Stanovení obsahu nitrátů**

V extraktu z čerstvé biomasy mrkve karotky byl orientačně stanoven obsah nitrátů pomocí sondy LAQUA twin NO<sub>3</sub><sup>-</sup> meter (HORIBA Advanced Techno Co., Ltd.). Měření bylo provedeno ve třech opakováních.

## **4.4 Statistická analýza**

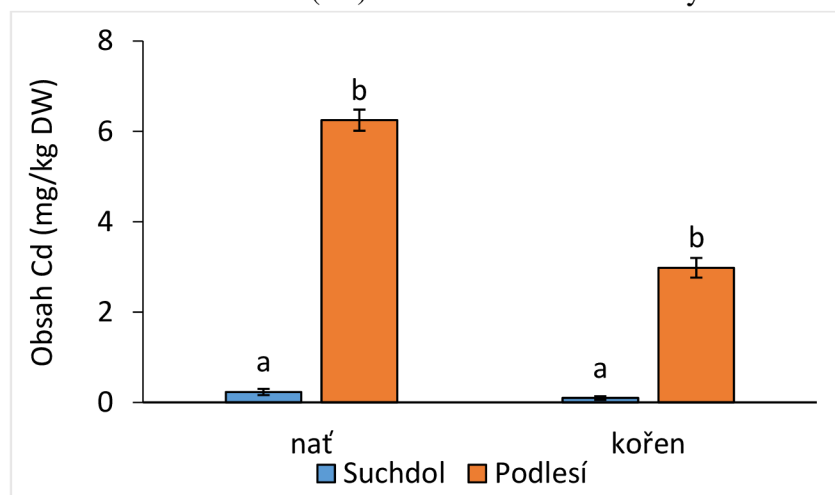
Výsledky analýz byly statisticky vyhodnoceny pomocí programu Statistica 12.0 (StatSoft Inc.). Pro hodnocení homogenity rozptylu a normality byl použit Levenův a Shapiro-Wilkův test. Diference průměrů sledovaných parametrů mezi variantami byla hodnocena pomocí analýzy rozptylu jednoduchého třídění (one-way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

## 5 Výsledky

### 5.1 Obsah rizikových prvků

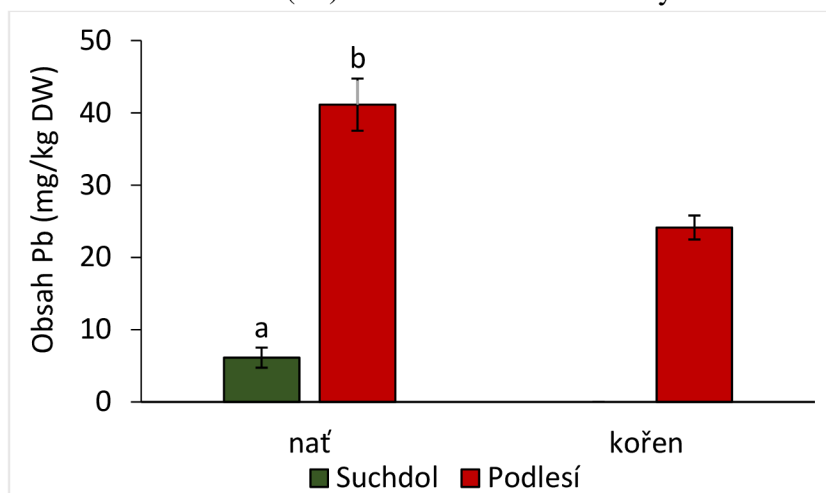
Graf 1 znázorňuje obsah Cd v nati i v kořeni mrkve u kontrolní varianty (Suchdol) a kontaminované varianty (Podlesí). U obou částí mrkve byl vyšší obsah Cd stanoven u varianty Podlesí v důsledku kontaminace půdy tímto prvkem. Rozdíl mezi variantami byl statisticky průkazný. V porovnání s kontrolou byl v nadzemní části biomasy varianty Podlesí obsah Cd přibližně 27krát vyšší. Obsah Cd v kořenové části varianty Podlesí byl v porovnání s kontrolou zhruba 31krát vyšší. Závěrem lze říct, že Cd se akumulovalo více v nadzemní části než v kořeni. U varianty Suchdol byl obsah Cd v nadzemní části přibližně 2,4krát větší v porovnání s kořenem. U varianty Podlesí byla akumulace Cd v nadzemní biomase přibližně 2,1krát větší v porovnání s kořenem.

**Graf 1:** Obsah kadmia (Cd) v biomase mrkve karotky



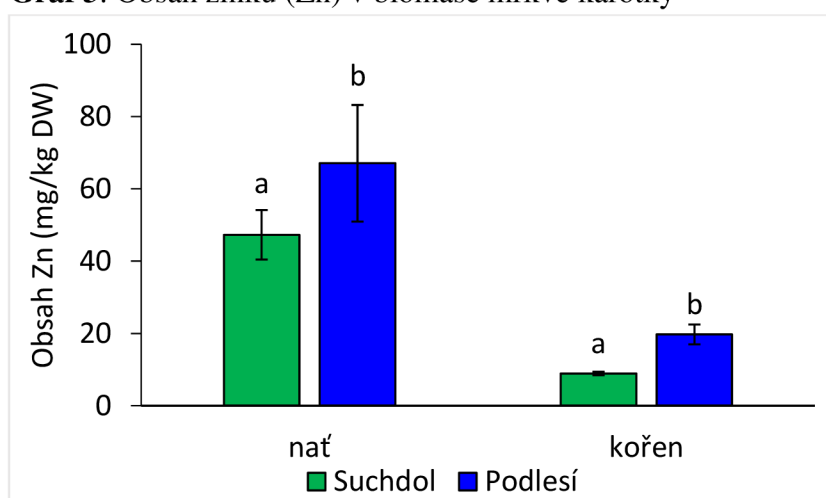
Obsah Pb v nati i v kořeni mrkve u varianty Suchdol a Podlesí je znázorněn na grafu 2. Vyšší obsah Pb byl stanoven u varianty Podlesí, jak v nati, tak v kořeni mrkve v důsledku kontaminace půdy tímto prvkem, stejně jako tomu bylo u Cd. Tento jev byl statisticky průkazný u nadzemní biomasy. V případě biomasy kořene nebylo provedeno statistické hodnocení, protože ve variantě Suchdol byly hodnoty obsahu Pb pod mezí detekce ( $Pb < 2$  mg/kg DW). V porovnání s kontrolou byl v nadzemní části biomasy varianty Podlesí obsah Pb přibližně 7krát vyšší. U varianty Podlesí došlo vlivem obsahu Pb v půdě k akumulaci Pb v kořenech této varianty, jak vyplývá z grafu 2. Na závěr lze říct, že Pb v biomase mrkve ve variantě Podlesí se akumulovalo přibližně 2krát více do nadzemní biomasy oproti kořeni.

**Graf 2:** Obsah olova (Pb) v biomase mrkve karotky



Graf 3 znázorňuje obsah Zn v nati i v kořeni mrkve u kontrolní varianty a kontaminované varianty. U obou částí biomasy mrkve byl vyšší obsah Zn stanoven u varianty Podlesí v důsledku vyššího obsahu Zn v půdě. Tento jev byl statisticky potvrzen. V porovnání s kontrolou byl u varianty Podlesí v nadzemní části biomasy obsah Zn 1,4krát vyšší. V kořenu byl obsah Zn u varianty Podlesí 2,2krát vyšší v porovnání s kontrolou. U varianty Podlesí se Zn akumuloval 3,4krát více v nati oproti biomase kořenů.

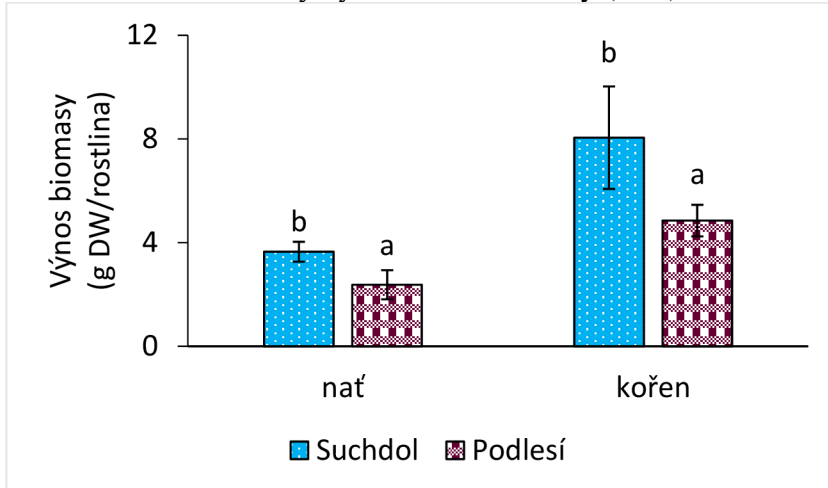
**Graf 3:** Obsah zinku (Zn) v biomase mrkve karotky



## 5.2 Výnos biomasy

Výnos suché biomasy (DW) mrkve znázorňuje graf 4 v obou částech mrkve u kontrolní varianty a kontaminované varianty. Jak u nati, tak u kořenu mrkve, byl stanoven vyšší výnos u varianty Suchdol. Rozdíl mezi variantami byl statisticky průkazný. V porovnání s kontrolou byl u varianty Podlesí v nadzemní části biomasy výnos DW o 65 % menší. V kořenu byl výnos u varianty Podlesí o 60 % menší v porovnání s kontrolou.

**Graf 4:** Průměrný výnos suché biomasy (DW) u obou variant



Dále byla měřena délka kořenů mrkve u obou variant. Pěstované mrkve v kontrolní variantě dosahovaly délky od 8 do 18 cm, průměrná délka kořene této varianty byla  $13,2 \pm 2,3$  cm. V kontaminované variantě dosahovaly kořeny délky od 7,5 do 16,5 cm a průměrná délka byla  $12,2 \pm 2,4$  cm. Vliv varianty na délku kořene mrkve karotky nebyl statisticky průkazný.

Ve variantě Podlesí se u cca 8 % vzorků objevily anomálie ve fyziologii kořene ve formě dvojitého kořene (Obr. 10).



**Obr. 10** Anomálie ve fyziologii kořene

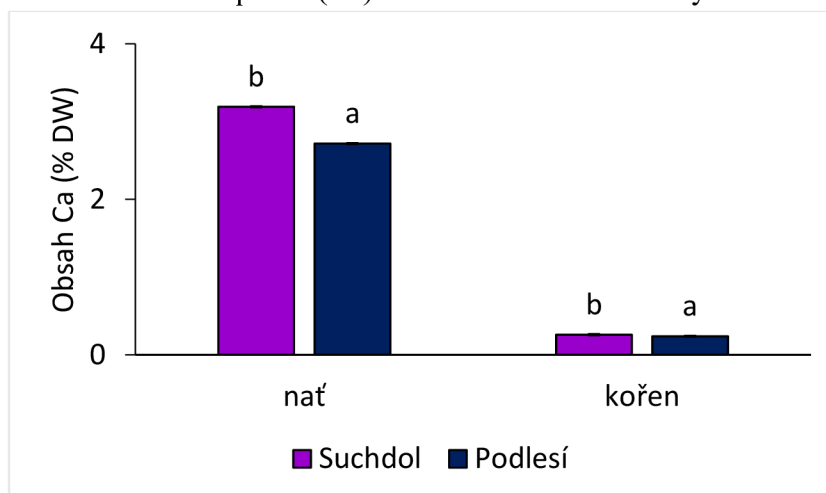
### 5.3 Obsah makroprvků

Graf 5 znázorňuje obsah Ca v nati i v kořeni mrkve u varianty Suchdol a Podlesí. U obou částí mrkve byl nižší obsah Ca stanoven u varianty Podlesí v důsledku akumulace výše zmíněných rizikových prvků z kontaminované půdy. Mezi variantami byl prokázán statisticky významný rozdíl v obsahu Ca v obou částech biomasy.

V porovnání s kontrolou byl v nadzemní části biomasy varianty Podlesí přibližně o 15 % nižší obsah Ca. Obsah Ca v kořenové části varianty Podlesí byl v porovnání s kontrolou zhruba o 8 % nižší. V biomase mrkve varianty Podlesí se nacházelo přibližně 11krát více Ca v nadzemní části biomasy oproti kořenu.

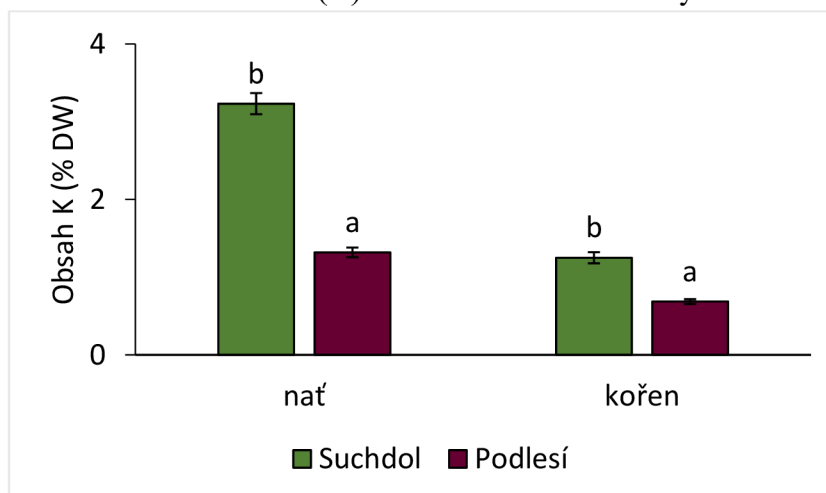


**Graf 5:** Obsah vápníku (Ca) v biomase mrkve karotky



Dále byl zkoumán obsah K v nati i v kořeni mrkve u kontrolní varianty a kontaminované varianty, výsledky jsou znázorněny na grafu 6. Nižší obsah K byl stanoven u varianty Podlesí u obou částí mrkve v důsledku akumulace výše zmíněných rizikových prvků z kontaminované půdy. Tento jev byl statisticky průkazný v obou částech biomasy. V porovnání s kontrolou byl obsah K v nadzemní části biomasy varianty Podlesí přibližně o 59 % nižší. Obsah K v kořenové části varianty Podlesí byl v porovnání s kontrolou zhruba o 45 % nižší. V biomase mrkve varianty Podlesí bylo přibližně 2krát více K v nadzemní části biomasy oproti kořenu.

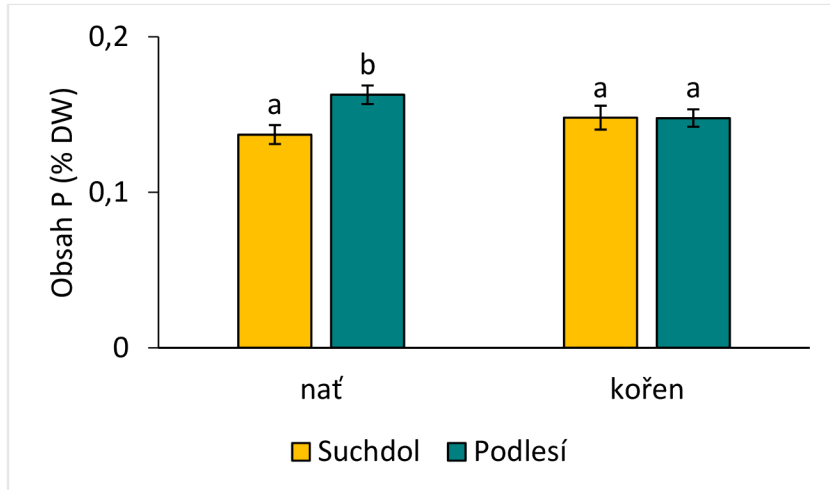
**Graf 6:** Obsah draslíku (K) v biomase mrkve karotky



Obsah P v nati i v kořeni mrkve u varianty Suchdol a Podlesí vyjadřuje graf 7. Nižší obsah P byl stanoven u varianty Podlesí pouze u kořene; u nadzemní biomasy byl obsah P vyšší oproti kontrole (o 19 %). Mezi variantami byl prokázán statisticky významný rozdíl v obsahu P pouze u nadzemní biomasy.

V biomase mrkve varianty Podlesí bylo přibližně 1,1krát více P v nadzemní části biomasy oproti kořenu.

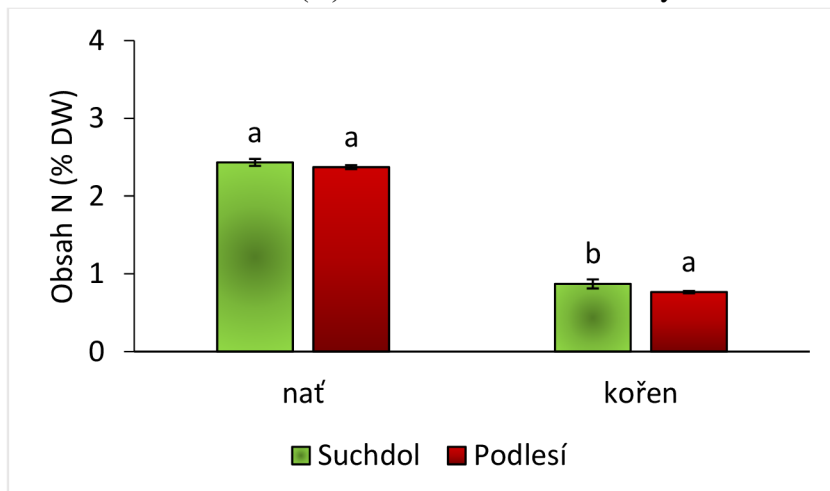
**Graf 7:** Obsah fosforu (P) v biomase mrkve karotky



Posledním zkoumaným makroprvkem byl dusík. Graf 8 znázorňuje obsah N v nati i v kořeni mrkve u varianty Suchdol a Podlesí. U obou částí mrkve byl nižší obsah N stanoven u varianty Podlesí v důsledku akumulace výše zmíněných rizikových prvků z kontaminované půdy.

Obsah N byl snížen přibližně o 3 %, avšak tento pokles nebyl statisticky průkazný. U varianty Podlesí byl obsah N v kořenu zhruba o 14 % nižší oproti kontrole. Změna byla statisticky významná. V biomase mrkve varianty Podlesí se nacházelo přibližně 3,1krát více N v nadzemní části biomasy oproti kořenu.

**Graf 8:** Obsah dusíku (N) v biomase mrkve karotky



#### 5.4 Obsah nitrátů

Obsah nitrátů úzce souvisí s obsahem dusíku. U obou částí mrkve byl nižší obsah nitrátů stanoven u varianty Suchdol. Mezi variantami byl prokázán statisticky významný rozdíl v obsahu nitrátů pouze u nadzemní biomasy.

U kontrolní varianty byl v kořenu průměrný obsah  $115,8 \pm 8,6$  mg  $\text{NO}_3^-/\text{kg}$  FW a v nadzemní biomase byla průměrná hodnota  $1565,8 \pm 41,3$  mg  $\text{NO}_3^-/\text{kg}$  FW. U



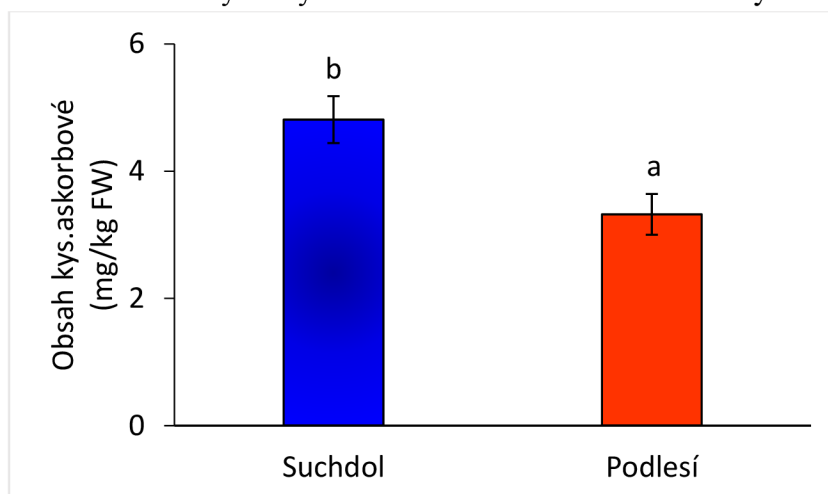
kontaminované varianty bylo v kořenu průměrně  $142,5 \pm 30,5$  mg  $\text{NO}_3^-/\text{kg}$  FW a v nadzemní biomase byla průměrná hodnota  $1990,0 \pm 118,6$  mg  $\text{NO}_3^-/\text{kg}$  FW.

V porovnání s kontrolou byl u varianty Podlesí obsah nitrátů o 27 % vyšší v nadzemní biomase a o 23 % vyšší v kořenech. V biomase mrkve varianty Podlesí se nacházelo přibližně 14krát více nitrátů v nadzemní části biomasy oproti kořenu.

### 5.5 Obsah kyseliny askorbové

Obsah kyseliny askorbové (vitamínu C) v kořenu mrkve u varianty Suchdol a Podlesí vyjadřuje graf 9. Nižší obsah kyseliny askorbové byl stanoven u varianty Podlesí. Tento jev byl statisticky průkazný. V porovnání s kontrolou byl obsah kyseliny askorbové v kořenu varianty Podlesí snížen přibližně o 45 %.

**Graf 9:** Obsah kyseliny askorbové v kořenu mrkve karotky



## 6 Diskuze

Mrkev je považována za vysoce výživnou kořenovou zeleninu. Pro vysokou nutriční hodnotu musí kořeny mrkve přijímat živiny z půdy pro růst, optimální výnos a požadovanou kvalitu (Ahmad et al. 2016). Kvalitativní vlastnosti mrkve se zkoumají podle aspektů výživové hodnoty, smyslové kvality, skladovatelnosti a bezpečnosti potravin. Kvalita mrkve může být ovlivněna různými faktory, např. výběrem odrůdy, půdy, hnojením, sklizní, manipulací, zpracováním (Seljasen et al. 2013).

Mrkev je středně citlivou plodinou na přítomnost rizikových prvků v půdě a má tendenci je mírně akumulovat v rostlinných orgánech. Studie autorů Tumanyan et al. (2019) se zaměřila na akumulaci Zn, Cd, Pb, Cu, As, Hg a Co u různých druhů zelenin a označila zástupce kořenové zeleniny za středně citlivé plodiny vůči rizikovým prvkům.

Pro ověření cílů bakalářské práce byla použita půda z oblasti Příbramska s vysokým obsahem Cd, Pb a Zn, které se zde vyskytují na bázi antropogenní činnosti, konkrétně průmyslové činnosti, jak uvádějí autoři Garcia-Sánchez et al. (2015). Získané výsledky pokusu mrkve pěstované na kontaminované půdě potvrdily příjem rizikových prvků ve větší míře u kontaminované varianty. Tyto prvky se akumulovaly, jak v nadzemní, tak podzemní části biomasy mrkve.

V kořenu mrkve se nejvíce akumulovalo Pb, které představuje nebezpečnou látku díky své vysoké toxicitě (Qi et al. 2018). Dle norem bezpečnosti potravin byl překročen maximální limit olova v rostlině ( $> 0,1$  mg Pb/kg DW), což by mohlo ohrozit živé organismy, včetně člověka (Úřední věstník EU 2006). Mezi široké spektrum negativních dopadů na lidské tělo patří, např. anémie, renální dysfunkce, hypertenze, nepříznivé účinky na porod (Chen et al. 2019). Jako druhý nejvíce akumulovaný prvek, vyskytující se v kořenu, byl Zn, což je mimo jiné i klíčová mikroživina pro všechny živé organismy (Song et al. 2019). Jeho toxicita vyžaduje požití poměrně velkého množství. Nadměrné množství Zn v lidském těle může způsobit, např. poškození neuronů, srdečních onemocnění, cukrovku (Planchart et al. 2018; Chen et al. 2019). V mrkvi se v nejmenším množství akumulovalo Cd, přesto, že se nachází hlavně v některých zeleninách a ovoci kvůli jeho vysoké rychlosti přenosu z půdy do rostliny (Satarug et al. 2011; Jaishankar et al. 2014; Bhattacharya 2018). I když bylo Cd zaznamenáno v menším množství oproti Pb a Zn, přesto byl překročen maximální limit Cd v rostlině ( $> 0,1$  mg Cd/kg DW). Kadmium je vysoce toxický kov, jeho nadměrný příjem v lidském těle způsobuje poškození ledvin, emfyzém, osteomalacii. Kadmium je považováno za lidský karcinogen vedoucí ke zvyšujícímu se výskytu rakoviny prostaty a plic (Deckert 2005; Chen et al. 2019).

Oproti kořenu byly hodnoty prvků v nati mrkve v odlišném pořadí (Zn > Pb > Cd). Stejně pořadí prvků bylo uvedeno u rajčat ve studii Ilic et al. (2014). Nejvíce rizikových prvků bylo obecně akumulováno v nati mrkve. Rozdílné výsledky uvedli autoři Harmanescu et al. (2011), kdy Cd, Pb a Zn bylo více akumulováno kořeny mrkve oproti nadzemní biomase, a to v pořadí Pb > Cd > Zn. Toto pořadí bylo ovlivněno fyzikálními a chemickými vlastnostmi půdy, kdy půdní typ kontaminované varianty představovaly regosoly.

Obsah rizikových prvků v půdním profilu, nejen vyvolal jejich příjem rostlinou, ale narušil růst a délku kořenů mrkve. Z výsledků pokusu je patrné, že v kontaminované variantě se vyskytovalo více variabilit, hlavně kratší délka kořenů. Autoři Ashraf et al. (2017) zjistili,

že dlouhodobé vystavení nízkým koncentracím Pb vede k vysokým toxickým hladinám v rostlině, což brání zdravému růstu rostlin a snižuje výnos a produktivitu plodin. Účinek toxicity Pb na rostliny byl studován také autory Cimrin et al. (2007) a Ali et al. (2018), jejichž výsledky ukázaly, že vysoká koncentrace Pb ovlivnila objem i vzhled čerstvé biomasy a růst rostlin. Autoři Chen et al. (2019) a Khafaga et al. (2019) totéž tvrzení potvrdili u Cd. Výsledky výnosu mrkve tento předpoklad potvrdily.

Tato skutečnost byla jasně negativně spojena s obsahy Cd, Pb a Zn nacházejícími se v biomase mrkve, což naznačuje jejich toxicitu pro rostliny. Vysoké koncentrace rizikových prvků mohou snížit produkci biomasy, protože rizikové prvky mohou způsobit inhibici prodlužování a dělení buněk. K totožnému závěru došla i studie Vondráčková et al. (2014), která se zabývala produkcí biomasy a distribucí rizikových prvků u rostliny *Rumex obtusifolius*. Autoři Wani et al. (2007), zjistili u pozorované cizrně, že Cd snížilo její výnos, ale naopak Pb výnos zvýšilo. Fathi et al. (2011) zkoumali vliv Cd a Zn na výnos obilí. Výsledky ukázaly, že s rostoucí hladinou Cd se výnosy zrna snížily; naopak Zn významně zvýšil výnos zrna. Závěrem lze tedy říct, že výnos biomasy plodin závisí na výši kontaminace, respektive na množství rizikových prvků v půdním roztoku a citlivosti rostliny ke stresu, který prvky působí.

U mrkve, pěstované na kontaminované půdě, byl zjištěn poklesem důležitých makroprvků. V této bakalářské práci byly zkoumány makroprvky N, P, K a Ca a očekávala se jejich změna, ať již navýšením nebo poklesem hodnot v rostlině.

Za nejdůležitější makroprvek se považuje N, který ovlivňuje obecně růst rostliny, fotosyntézu a délku vegetačního období. U mrkve je důležitý hlavně pro její růst, ale ovlivňuje také nutriční kvalitu kořene mrkve (Vaněk et al. 2016). V porovnání s kontrolní variantou byl zaznamenán nepatrný pokles N u kontaminované varianty, jak u natí, tak u kořene. Jak uvádějí autoři Hussain et al. (2020), toxicita rizikových prvků snižuje proces asimilace N, což prokázaly i výsledky pokusu s mrkví. Další významnou makroživinou v tomto pokusu byl P, který představuje stavební prvek buněčných membrán, DNA, bílkovin a enzymů (Vaněk et al. 2016). Z pokusu vyplývá nepatrný pokles P v oblasti kořenu a zvýšení obsahu P v nadzemní biomase u kontaminované varianty v porovnání s kontrolou. Podle studie Vondráčková et al. (2014) byl vyšší obsah P v natí způsoben tím, že jsou listy metabolicky neaktivnějšími orgány s vysokými požadavky na živiny.

Dále byl zkoumán obsah K, který hraje důležitou roli ve vodním režimu rostliny a fotosyntéze (Vaněk et al. 2016). Výsledky pokusu prokázaly výrazný pokles K u kontaminované varianty v porovnání s variantou kontrolní. Tento pokles by mohl vyvolat deficit K v rostlině, což by se projevovalo vizuálně na rostlině. Byl pozorován i obsah Ca, který ovlivňuje vlastnosti buněčných membrán, pletiv a aktivitu enzymů (Vaněk et al. 2016). U varianty Podlesí v porovnání s kontrolou byl zaznamenán pokles Ca. Snížený obsah Ca by ale zřejmě neovlivnil metabolismus v rostlině, tudíž se hodnoty Ca v rostlině u kontaminované varianty nedají považovat za limitující. Všechny zmiňované makroživiny se vyskytovaly více v nadzemní biomase mrkve u obou variant. Ve studiích autorů Cimrin et al. (2007) a Ali et al. (2018) bylo dokázáno, že Pb snižuje příjem živin a deaktivuje propustnost buněčné membrány pro živiny. Nadměrné množství Cd narušuje metabolismus konkrétních prvků, např. Ca, Mg, Zn, Fe, Cu (Jibril et al. 2017; Chen et al. 2019; Suhani et al. 2021). I jiné rizikové prvky ale

mohou měnit obsah živin, u autorů Wyszowski et al. (2009) bylo zjištěno, že zvyšující se dávky chromu měnily koncentraci P, K, Ca u kukuřice a jarního ječmene.

Snížení obsahu makroprvků, hlavně v oblasti kořenu, se projevilo na jeho růstu a délce, která je důležitá pro výši výnosu. Pokles makroživin snižuje předpokládanou kvalitu a také specifickou chuť mrkve. Výraznější chuť mrkve, především mrkvové šťávy, ovlivňuje přítomnost i cenných vitamínů, jako je vitamín C (Riaz et al. 2022). Jedním ze sledovaných faktorů kvality v pokusu byla také kyselina askorbová, což je aktivní forma vitamínu C v rostlinách. Tato kyselina má antioxidační vlastnosti v metabolismu rostlin, ovlivňuje růst a vývoj rostliny, je potřebná během kvetení a buněčného dělení (Wang et al. 2015). Obsah aktivní formy vitamínu C v rostlinách může být ovlivněn teplotou, koncentrací kyslíku, pH, světlem, vodní aktivitou a přítomností kovů (Sonar et al. 2018). Vitamín C pomáhá u člověka předcházet kurdějím, snižuje riziko rakoviny a kardiovaskulárních onemocnění a zvyšuje vstřebávání železa (Leong & Oey 2012). Výsledky prokázaly, že rizikové prvky mají vliv na pokles vitamínu C v kořenech mrkve. Snížení obsahu tohoto vitamínu vlivem příjmu Pb a Cd byl prokázán i ve studii Fu et al. (2009) u *Capsicum annuum* (L.) a *Raphanus sativus* (L.). Rizikové prvky nejsou jediným činitelem pro snížení vitamínu C, existuje i skutečnost antagonismu vitamínu C a nitrátů (Ahmad et al. 2016).

Kvalitu zelenin ovlivňuje i množství nitrátů neboli dusičnanů, které využívá rostlina jako primární zdroj dusíku (Mirecki et al. 2015). Zelenina obecně bohatá na nitráty/dusičnany je zelenina kořenová, ale také listová (Van der Avoort et al. 2018). Hlášeny jsou jejich vysoké hladiny v zelenině, což může představovat při jejich konzumaci ohrožení lidského zdraví. Maximální obsah dusičnanů v rostlině dle normy bezpečnosti potravin (1259/2011/EU) je stanoven nad 1 000 mg NO<sub>3</sub>/kg FW (Úřední věstník EU 2011). Potenciální nebezpečí dusičnanů spočívá v methemoglobinu, který vzniká vazbou dusitanů na hemoglobin. Methemoglobin způsobuje hypoxémii. Další nebezpečí dusičnanů mohou znamenat nitrosaminy, které vykazují karcinogenní, mutagenní a teratogenní účinky (Chan 2011). Dle výsledků práce byly dusičnany zvýšeny v obou částech rostliny, více však v nadzemní biomase. U obou variant byl překročen maximální limit dusičnanů pouze v nadzemní části biomasy. V pokusu bylo statisticky prokázáno, že se obsah nitrátů zvýšil v důsledku zvýšeného obsahu rizikových prvků. Naopak, autoři Kevrešan et al. (2001) prokázali pokles nitrátů vlivem koncentrace Cd a Pb u hrachu. Pokles dusičnanů vlivem příjmu Cd byl zjištěn i u *Lycopersicones culentum* (Chaffei et al. 2004). Ke stejnému závěru došli i autoři Maaroufi-Dguimi et al. (2019), kteří prokázali, že Cd snížil obsah dusičnanů, a to hlavně v oblasti listů tabáku.

Získané výsledky provedeného pokusu porovnané se závěry jiných autorů prokázaly, že existuje vztah mezi koncentracemi rizikových prvků v rostlině a změnou kvality. Projevilo se to především snížením nutričních hodnot makroprvků a kyseliny askorbové.

## 7 Závěr

Cílem této práce bylo zhodnotit kvalitu mrkve seté pěstované na kontaminované půdě rizikovými prvky – Cd, Pb a Zn. Součástí práce bylo stanovení obsahu jednotlivých rizikových prvků v biomase mrkve, obsahu makroživin (N, P, K a Ca) v nati i v kořeni mrkve, obsahu nitrátů v rostlině mrkve, obsahu kyseliny askorbové v kořenu mrkve a výnosu biomasy mrkve.

U provedeného pokusu bylo zjištěno:

Rizikové prvky byly přijaty rostlinou a akumulovaly se, jak v kořeni, tak v nati mrkve. Hodnoty Cd, Pb a Zn byly vyšší oproti kontrole, nejvíce se vyskytovaly tyto prvky v nadzemní části mrkve. Vliv varianty byl statisticky průkazný u všech rizikových prvků.

Vlivem příjmu rizikových prvků došlo ke změnám obsahů makroprvků – N, P, K a Ca. U dusíku byl zaznamenán pokles, jak v kořenu, tak v nati oproti kontrole. Pokles P byl stanoven u kořenové části, avšak v nadzemní biomase hodnoty P byly vyšší oproti kontrole. Hodnoty K i Ca byly nižší oproti kontrole v obou částech rostliny. Statisticky se neprokázalo, že vliv varianty má vliv na pokles hodnot N u nati a pokles hodnot P u kořene. U ostatních případů byl vliv varianty statisticky prokázán.

Dále byl sledován obsah nitrátů, který vlivem akumulace Cd, Pb a Zn vzrostl v obou částech rostliny. Pouze u nadzemní části byl tento rozdíl statisticky významný.

Kyselina askorbová, jakožto aktivní forma vitamínu C v rostlinách, byla stanovena pouze v hlavní konzumní části mrkve. Bylo statisticky prokázáno, že přítomnost rizikových prvků ovlivnila pokles této kyseliny.

Pozorovaný výnos byl nižší u kontaminované varianty. S výnosem souvisí i délka kořenů. Menší délky kořenů byly zaznamenány u varianty kontaminované.

Vypěstované mrkve z kontaminované varianty měly tedy nižší nutriční hodnotu z hlediska obsahu makroživin a vitamínu C. Hodnota nitrátů v kořenu v této variantě není nebezpečná lidskému zdraví. Potenciální nebezpečí nitrátů by se týkalo pouze nadzemní biomasy. Největší problém je výskyt Cd a Pb, jakožto toxických prvků v mrkvi, jejichž hodnoty překračují maximální limit z hlediska bezpečnosti potravin (nařízení ES č. 629/2008). Mrkev z této varianty by v žádném případě nebyla zařazena do potravinářského sektoru, protože by mohla ohrozit lidské zdraví.

Závěrem lze říct, že hypotéza této práce byla potvrzena u všech zkoumaných faktorů. Tento fakt nelze ale potvrdit vždy. Specifické podmínky prostředí, koncentrace jednotlivých rizikových prvků, půdní druh, odrůda a druh zkoumané rostliny aj. mají vliv na závěrečné výsledky.

## 8 Literatura

- Abbásnia A, Alimohammadi M, Mahvi A, Nabizadeh R, Yousefi M, Mohammadi A, Pasalari H, Mirzabeig M. 2018. Assessment of groundwater quality and evaluation of scaling and corrosiveness potential of drinking water samples in villages of Chabahar city, Sistan and Baluchistan province in Iran. *Data in Brief* **16**: 182-192.
- Abedi T, Mojiri A. 2020. Cadmium uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.): an overview. *Plants* **9**: 500.
- Adriano DC. 2001. Trace elements in terrestrial environments. Springer-Verlag, New York.
- Ahmad T, Mazhar MS, Ali H, Batool A, Ahmad W. 2016. Efficacy of nutrient management on capot productivity and quality. *Journal of Environmental & Agricultural Sciences* **7**: 62-67.
- Alessandro MS, Galmarini CR, Lorizzo M, Simon PW. 2013. Molecular mapping of vernalization requirement and fertility restoration genes in carrot *Theoretical and Applied Genetics* **126**: 415-423.
- Ali M, Nas FS. 2018. The effect of lead on plants in terms of growing and biochemical parameters. *MOJ Ecology & Environmental Sciences* **3**: 265-268.
- Alloway BJ. 1990. Heavy metals in soils. Blackie and Son. Great Britain.
- Ashraf U, Kanu AS, Deng Q, Mo Z, Pan S, Tian H, Tang X. 2017. Lead (Pb) toxicity; physio-biochemical mechanisms, grain yield, quality, and Pb distribution proportions in scented rice. *Frontiers in Plant Science* **8**: 259.
- Bartoš J. 2001. Hlavní nedostatky v pěstování mrkve. *Zemědělec* **14**: 10.
- Bednářová J. 2015. Herbář aneb od anděliky k židavě. Fortuna Libri. Praha.
- Beneš S. 1994. Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. Část 2-Vstupy prvků do půd zvětráváním hornin, atmosférickými spady, aplikací hnojiv a ostatních surovin ve srovnání s výstupy erozní činností, podzemními vodami a sklizní zemědělských plodin. Agrospoj. Praha.
- Bhattacharya S. 2018. The role of medicinal plants and natural products in meliorative of cadmium toxicity. *Oriental Pharmacy and Experimental Medicine* **18**: 177-186.
- Block G. 1994. Nutrient sources of provitamin A carotenoids in the American diet. *American Journal of Epidemiology* **139**: 290-293.
- Březíková M. 2002. Nebezpeční škůdci mrkve. *Agro – ochrana, výživa, odrůdy* **8**: 30-32.
- Buchtová I. 2020. Situační a výhledová zpráva Zelenina. Ministerstvo zemědělství. Praha.
- Burg P, Zemánek P. 2008. The classification of costs by root vegetables in relation to grower systems. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **56**: 37-42.
- Cao H, Chen J, Zhang J, Zhang H, Qiao L, Men Y. 2010. Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China. *International Journal of Environmental Science and Technology* **22**: 1792-1799.
- Carisse O, Kushalappa AC. 1992. Influence of interrupted wet periods, relative humidity, and temperature on infection of carrots by *Cercospora carotae*. *Phytopathology* **5**: 602-606.
- Cibulka J. 1991. Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře. Academia. Praha. Company. California.

- Cimrin KM, Turan M, Kapur B. 2007. Effect of elemental sulphur on heavy metals solubility and remediation by plants in calcareous soils. *Fresenius Environmental Bulletin* **16**: 1113-1120.
- Crha J. 1996. Mrkev pěstovaná na hrůbcích. *Zahradkář* **4**: 9-10.
- Čechmánková J, Skála J, Hladík J, Vácha R. 2015. Zátěž zemědělských půd rostlin rizikovými prvky s vazbou na potravní řetězec. *Živa* **6**: 134-135.
- Da Silva Dias JC. 2014. Nutritional and health benefits of carrots and their seed extracts. *Food & Nutrition Journals* **5**: 2147.
- Deckert J. 2005. Cadmium toxicity in plants: Is there any analogy to its carcinogenic effect in mammalian cells? *Biometals* **18**: 475.
- Desaules A. 2012. Critical evaluation of soil contamination assessment method for trace metals. *Science of the Total Environment* **426**: 120-131.
- Dong Q, Fang J, Huang F, Cai K. 2019. Silicon amendment reduces soil Cd availability and Cd uptake of two pennisetum species. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **16**: 1624.
- Dostál P. 2008. Anatomie a morfologie rostlin v pojmech a nákresech. Univerzita Karlova v Praze. Praha.
- Doubleday H. 2016. Carrots. *Garden Organic* **14**: 298104.
- Drye V, Kosová H. 2006. Oznamení o hodnocení vlivů koncepce na životní prostředí (podle přílohy č. 7 zákona č.100/2001 Sb. ve znění z. č. 93/2004 Sb.), Program územního rozvoje města Příbram. Kancelář ekonomického a finančního poradenství. České Budějovice.
- Duffek J, Dolejší J. 1998. Zelinářství obecná část. Česká zemědělská univerzita v Praze Agronomická fakulta. Praha.
- Duffek J, Veselá I. 1999. Alternativní pěstování mrkve. *Informace pro zahradnictví* **2**: 6-7.
- Fathi G, Irashahi Z, Moosavi SA, Gharineh MH, Siadat SA. 2011. Effects of different cadmium and zinc concentrations on yield and nutrient uptake wheat. *Journal of Soil and Water Science* **2011**: 653-661.
- Filek M, Keskinen R, Hartikainen H, Szarejko I, Janiak A, Miszalski Z, Golda A. 2008. The protective role of selenium in rape seedlings subjected to cadmium stress. *Journal of Plant Physiology* **165**: 833-844.
- Flores A. 2008. Boosting calcium in carrots and other veggie. *Agricultural Research* **10**: 9.
- Fu QL, Hu HQ, Li JJ, Huang L, Yang HZ, Lv Y. 2009. Effects of soil polluted by cadmium and lead on production and quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) and radish (*Raphanus sativus* L.). *The Journal of Food, Agriculture and Environment* **7**: 698-702.
- Fukao Y, Ferjani A, Tomioka R, Nagasaki N, Kurata R, Nishimori Y, Fujiwara M, Maeshima M. 2011. iTRAQ analysis reveals mechanisms of growth defects due to excess zinc in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* **155**: 1893-1907.
- Gabarrón M, Faz A, Acosta J. 2018. Use of multivariable and redundancy analysis to assess the behavior of metals and arsenic in urban soil and road dust affected by metallic mining as a base for risk assessment. *Journal of Environmental Management* **206**: 192-201.
- Gajdoštin P. 2019. Kořenová zelenina. *Zahradkář* **12**: 34-35.
- Gao M, Zhou J, Liu HL, Zhang WT, Hu YM, Liang JN, Zhou J. 2018. Foliar spraying with silicon and selenium reduces cadmium uptake and mitigates cadmium toxicity in rice. *Science of the Total Environment* **631-632**: 1100-1108.

Garcia-Sánchez M, Garcia-Romera I, Cajthami T, Tlustoš P, Száková J. 2015. Changes in soil microbial community functionality and structure in a metal-polluted site: The effect of digestate and fly ash applications. *Journal of Environmental Management* **162**: 63-73.

Garg N, Singh S. 2018. Arbuscular mycorrhiza *Rhizophagus irregularis* and silicon modulate growth, proline biosynthesis and yield in *Cajanus cajan* L. Millsp. (pigeon pea) genotypes under cadmium and zinc stress. *Journal of Plant Growth Regulation* **37**: 46-63.

Gopal R, Rizvi AH. 2008. Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. *Chemosphere* **70**: 1539-1544.

Gunther RT. 1959. The greek herbal of dioscorides. Hafner publishing company. New York.

Gupta D, Huang H, Yang X, Razafindrabe B, Inouhe M. 2010. The detoxification of lead in *Sedum alfredii* H. is not related to phytochelatins but the glutathione. *Journal of Hazardous Materials* **177**: 437-444.

Gupta N, Ram H, Kumar B. 2016. Mechanism of zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* **15**: 89-109.

Hammerschmitt RK, Tiecher TL, Facco DB, Silva LOS., Schwalbert R, Drescher GL, Trentin E, Somavilla LM, Kulmann MSS, Silva ICB. 2020. Copper and zinc distribution and toxicity in 'Jade' / 'Genovesa' young peach tree. *Scientia Horticulturae* **259**: 108763.

Harmanescu M, Alda LM, Bordean DM, Gogoasa I, Gergen I. 2011. Heavy metals health risk assessment for population via consumption of vegetables grown in old mining area; a case study: Banat County, Romania. *Chemistry Central Journal* **5**: 64.

Harrison RM, Chirgawi MB. 1989. The assessment of air and soil as contributors of some trace metals to vegetable plants. II. Translocation of atmospheric and laboratory-generated cadmium aerosols to and within vegetable plants. *Science of the Total Environment* **83**: 13-62.

Hasan SA, Ali B, Hayat S, Ahmad A. 2007. Cadmium induced changes in the growth and carbonic anhydrase activity of chickpea. *Turkish Journal of Biology* **31**: 137-140.

Hussain S, Khaliq A, Noor AM, Tanveer M, Hussain HA, Hussain S, Shah T, Mehmood T. 2020. Carbon and nitrogen cycling in soil. Springer. Singapur.

Chaffei C, Pageau K, Suzuki A, Gouia H, Ghorbel MH, Masclaux-Daubresse C. 2004. Cadmium toxicity induced changes in nitrogen management in *Lycopersicon esculentum* leading to a metabolic safeguard through an amino acid storage strategy. *Plant Cell Physiol* **45**: 1681-1693.

Chakraborty S, Mishra AK. 2020. Mitigation of zinc toxicity through differential strategies in two species of the cyanobacterium *Anabaena* isolated from zinc polluted paddy field. *Environmental Pollution* **8**: 114375.

Chan YKT. 2011. Vegetable-borne nitrate and nitrite and the risk of methemoglobinemia. *Toxicology Letters* **200**: 107-108.

Chen D, Chen D, Xue R, Long J, Lin X, Lin Y, Jia L, Zeng R, Song Y. 2019. Effects of boron, silicon and their interactions on cadmium accumulation and toxicity in rice plants. *Journal of Hazardous Materials* **367**: 447-455.

Chen L, Long XH, Zhang ZH, Zheng XT, Rengel Z, Liu ZP. 2011. Cadmium accumulation and translocation in two Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) cultivars. *Pedosphere* **21**: 573-580.



- Chen W, Li H. 2018. Cost effectiveness analysis for soil heavy metal contamination treatment. *Water, Air and Soil Pollution* **229**: 126.
- Ilic ZS, Kapoulas N, Sunic L, Bekovic D, Mirecki N. 2014. Heavy metals and nitrate content in tomato fruit grown in organic and conventional production systems. *Polish Journal of Environmental Etudes* **23**: 2027-2032.
- Ismael MA, Elyamine AM, Moussa MG, Cai M, Zhao X, Hu C. 2019. Cadmium in plants: uptake, toxicity, and its interactions with selenium fertilizers. *Metallomics* **11**: 255-277.
- Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew MM, Beeregowda KN. 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip Toxicol* **7**: 60-72.
- Järup L. 2003. Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin* **68**: 167.
- Jiang H, Cai L, Wen H, Hu G, Chen L, Luo J. 2020. An integrated approach to quantifying ecological and human health risks from different sources of soil heavy metals. *Science of the Total Environment* **701**: 134466.
- Jiang W, Liu D. 2010. Pb-induced cellular defense system in the root meristematic cells of *Allium sativum* L. *BMC-Plant Biology* **10**: 1-40.
- Jibril SA, Hassan SA, Ishak CF, Megat Wahab PE. 2017. Cadmium toxicity affects phytochemicals and nutrient elements composition of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Advances in Agriculture* **2017**: 1-7.
- John GF, Andrew B. 2011. A lead isotopic study of the human bioaccessibility of lead in urban soils from Glasgow, Scotland. *Science of the Total Environment* **409**: 4958-4965.
- Jursík M, Šuk J, Crha J. 2016. Regulace plevelů v kořenové zelenině. *Zahradnictví* **5**: 24-26.
- Kabata-Pendias A, Mukherjee AB. 2007. Trace elements from soil to human. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg.
- Kabata-Pendias A, Pendias H. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press. USA.
- Kalai T, Bouthour D, Manai J, Ben-Kaab LB, Gouia H. 2016. Salicylic acid alleviates the toxicity of cadmium on seedling growth, amylases and phosphatases activity in germinating barley seeds. *Archives of Agronomy and Soil Science* **62**: 892-904.
- Karimpour M, Ashraf SD, Taghavi K, Mojtahedi A, Roohbakhsh E, Naghipour D. 2018. Adsorption of cadmium and lead onto live and dead cell mass of *Pseudomonas aeruginosa*: a dataset. *Data Brief* **18**: 1185-1192.
- Kevrešan S, Petrovic N, Popovic M. 2001. Nitrogen and protein metabolism in young pea plants as affected by different concentrations of nickel, cadmium, lead, and molybdenum. *Journal of Plant Nutrition* **24**: 1633-1644.
- Khafaga AF, Abd El-Hack ME, Taha AE, Shaaban SE, Mahmúd A. 2019. The potential modulatory role of herbal additives against Cd toxicity in human, animal, and poultry: a review. *Environmental Science and Pollution Research* **26**: 4588-4604.
- Kohut M, Chuchma F, Hora P. 2012. Elected agroclimatic characteristics of climatic regions of the Czech Republic. *Contributions to Geophysics and Geodesy* **45**: 255-268.
- Kolektiv výzkumné racionalizační brigády pro pěstování mrkve. 1986. Výrobní systémy zeleniny – mrkev. VŠÚZ. Olomouc.
- Kopittke PM, Asher CJ, Kopittke RA, Menzies NW. 2007. Toxic effects of Pb<sup>2+</sup> on growth of cow pea (*Vigna unguiculata*). *Environmental Pollution* **150**: 280-287.

- Krantev A, Yordanova R, Janda T, Szalai G, Popova L. 2008. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. *Journal of Plant Physiology* **165**: 920-931.
- Krřková I. 2020. Lehké půdy jsou náchylnější ke kontaminaci rizikovými prvky. ÚKZÚZ. Available from [Lehké půdy jsou náchylnější ke kontaminaci rizikovými prvky \(ÚKZÚZ\) \(eagri.cz\)](https://www.uzkuz.cz/) (accessed 2/2022).
- Kubier A, Pichler T. 2019. Cadmium in groundwater – A synopsis based on a large hydrogeochemical data set. *Science of the Total Environment* **689**: 831-842.
- Kumar A, Prasad M. 2018. Plant-lead interactions: transport, toxicity, tolerance, and detoxification mechanisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **166**: 401-418.
- Kumar V, Pandita S, Sidhu GS, Sharma A, Khanna K, Kaur P, Bali AS, Setia R. 2021. Copper Bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: a comprehensive review. *Chemosphere* **262**: 127810e.
- Laidlaw M, Zahran S, Mielke HW, Taylor MP, Filippelli GM. 2012. Re-suspension of lead contaminated urban soil as a dominant source of atmospheric lead in Birmingham, Chicago, Detroit and Pittsburgh, USA. *Atmospheric Environment* **49**: 302-310.
- Lamichhane JR, Osdaghi E, Behlau F, Kohl J, Jones JB, Aubertot JN. 2018. Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture. *Agronomy for Sustainable Development* **38**: 28e.
- Leong SY, Oey I. 2012. Effect of endogenous ascorbic acid oxidase activity and stability on vitamin C in carrots (*Daucus carota* subsp. *sativus*) during her maltreatment. *Food Chemistry* **134**: 2075-2085.
- Leuci R, Brunetti L, Laghezza A, Loiodice F, Tortorella P, Piemontese L. 2020. Importance of biometals as targets in medicinal chemistry: an overview about the role of zinc (II) chelating agents. *Applied Sciences* **10**: 4118.
- Liang J, Yang W. 2019. Effects of zinc and copper stress on antioxidant system of olive leaves. *IOP-conference Series: Earth and Environmental Science* **300**: 52058.
- Lin YF, Hassan Z, Talukdar S, Schat H, Aarts M G. 2016. Expression of the ZNT1 Zinc Transporter from the Metal Hyperaccumulator *Noccaea caerulescens* Confers Enhanced Zinc and Cadmium Tolerance and Accumulation to *Arabidopsis thaliana*. *PLOS-One* **11**: e0149750.
- Lohrer T. 2020. Pflanzenschutz einfach von A-Z. Eugen Ulmer KG. Struttgart.
- Lořák T, Hluřek J. 2014. Hnojení zeleniny 4: kořenová zelenina. *Zahradkář* **12**: 38-39.
- Lux A. 2012. Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants. *Annals of Botany* **110**: 433-443.
- Maaroufi-Dguimi H, Alshehri K, Zaghdoud C, Albaggar AK, Debouba M. 2019. Effect of cadmium repartition on nitrogen metabolism in tobacco seedlings. *Open Access Library Journal* **6**: e4000.
- Malík F. 2014. Mrkev setá (*Daucus carota*) a petržel obecná (*Petroselinum crispum*) ve výuce biologie na středních školách [diplomová práce]. Univezita Palackého v Olomouci. Olomouc.
- Malý I, Bartoš J, Hluřek J, Kopec K, Petřiková K, Rod J, Spitz P. 1998. Polní zelinářství. Agrospoj. Praha.
- Mareček F, Dias R, Doleřal A, Fukala E, Hovadík A, Chmela V, Janýřka A, Löbl F, Moravec J, Pavlousek J, Polách J, Sláma V, Staněk M, Stoklasová H, Štambera J, Toul V, Vlček F. 1976. Tržní zelinářství. Státní zemědělské nakladatelství. Praha.

- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
- Merian E. 1991. Metals and their compounds in the environment (occurrence, analysis and biological relevance). VCH Verlagsgesellschaft. Weinheim.
- Metwally A, Safronova VI, Belimov AA, Dietz KJ. 2005. Genotypic variation of the response to cadmium toxicity in *Pisum sativum* L. *Journal of Experimental Botany* **56**: 167-178.
- Míka V, Kohoutek A, Smrž J. 2001. Krmná mrkev – krmná hodnota a dietetické účinky. *Farmář-časopis pro každého zemědělce* **4**: 78.
- Mirecki N, Ilić ZS, Šunić I, Rukie A. 2015. Nitrate content in carrot, celeriac and parsnip harvest time and during prolonged cold storage. *Fresenius Environmental Bulletin* **24**: 3266-3273.
- Muška F. 2005. Nejvýznamnější škůdci mrkve. *Agro – ochrana, výživa, odrůdy* **9-10**: 26-29.
- MZe. 2016. České zelinářství. Mze Odbor rostlinných komodit. Praha.
- MŽP. 2022. Registr povolených geneticky modifikovaných organismů. MŽP. Available from [Registr povolených geneticky modifikovaných organismů - Ministerstvo životního prostředí \(mzp.cz\)](https://mzp.cz) (accessed 1/2022).
- Natasha N, Šahid M, Bibi I, Iqbal J, Khalid S, Murtaza B, Bakhat HF, UmerFaqooq AB, Amjad M, Hammad MH, Niazi K, Arshad M. 2022. Zinc in soil-plant-human system. *Science of the Total Environment* **808**: 152024.
- Nedjimi B, Daoud Y. 2009. Cadmium accumulation in *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* and its influence on growth, proline, root hydraulic conductivity and nutrient uptake. *Flora* **204**: 316-324.
- Ning CC, Gao PD, Wang BQ, Lin WP, Jiang NH, Cai KZ. 2017. Impacts of chemical fertilizer reduction and organic amendments supplementation on soil nutrient, enzyme activity and heavy metal content. *Journal of Integrative Agriculture* **16**: 1819-1831.
- Patel M, Amin AU, Patel HB. 2019. Effect of spacing and fertility levels on growth and yield of carrot (*Daucus carota* L.) cv. GDC 1. *Gujarat Agricultural Universities Research Journal* **44.4**: 206-209.
- Pekárková E. 2004. Pěstujeme mrkev, ředkvičky, celer a další kořenové zeleniny. Grada. Praha.
- Petříková K, Koudela M, Malý I, Pokluda R, Hlušek J, Lošák T, Ryant P, Škarpa P, Rod J, Jánský J, Poláčková J. 2012. Zelenina – pěstování, výživa, ochrana a ekonomika. Profipress. Praha.
- Planchart A, Green A, Hoyo C, Mattingly CJ. 2018. Heavy metal exposure and metabolic syndrome: evidence from human and model system studies. *Current Environmental Health Reports* **5**: 110-124.
- Podešva J, Baňoch Z, Čeledová V, Filip L, Hlína J, Hylský J, Kabelík J, Kočí J, Kolařík J, Landovský F, Müller S, Šteffl Z, Vlček F, Ženatá J. 1959. Encyklopedie zelinářství část obecná. Československá akademie zemědělských věd ve státním zemědělském nakladatelství. Praha.
- Pokluda R. 2014. Opomíjená kořenová zelenina-vodnice, tuřín, řepa cukrová. *Zahrádkář* **11**: 28.
- Pokora J. 2000. Mrkev – požadavky právních předpisů a výsledky kontroly provedené SZPI. *Informace pro zahradnictví* **10**: 11.
- Pokorný J. 2007. Zelinářství pro odborná učiliště. Septima. Praha.

- Pourrut B, Shahid M, Dumat C, Winterton P, Pinelli E. 2011. Lead uptake, toxicity, and detoxification in plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* **213**: 113-136.
- Prášil J. 2017. Kořenová zelenina: začínáme s výsevem na venkovní záhony. *Zahrádkář* **3**: 38.
- Prohens J, Nuez F. 2008. Handbook of plant breeding-vegetables II: *Fabaceae*, *Liliaceae*, *Solanaceae*, and *Umbelliferae*. Springer. New York.
- Prombergerová I. 2014. Poklady z přírody – mrkev. *Fauna* **3**: 25-27.
- Pryor BM, Strandberg JO, Davis RM, Nunez JJ, Gilbertson RL. 2002. Survival and persistence of *Alternaria dauci* in carrot cropping systems. *Plant Disease* **10**: 1115-1122.
- Qi X, Xu X, Zhong C, Jiang T, Wei W, Song X. 2018. Removal of cadmium and lead from contaminated soils using sophoro lipids from fermentation culture of *Starmerella bombicola* CGMCC 1576 fermentation. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **15**: 2334.
- Que F, Hou X-L, Wang G-L, Xu Z-S, Tan G-F, Li T, Wang Y-W, Khadr A, Xiong A-S. 2019. advances in research on the carrot an important root vegetable in the *Apiaceae* family. *Horticulture Research* **6**: 69.
- Raza A, Habib M, Kakavand SN, Zahid Z, Zahra N, Sharif R, Hasanuzzaman M. 2020. Phytoremediation of cadmium: physiological, biochemical, and molecular mechanisms. *Biology* **9**: 177.
- Reid JB, Gillespie RN. 2017. Yield and quality responses of carrots (*Daucus carota* L.) to water deficits. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* **45**: 299-312.
- Riaz N, Yousaf Z, Yasmin Z, Munawar M, Younas A, Rashid M, Aftab A, Shamsheer B, Yasin H, Najeebullah M, Simon PW. 2022. Development of carrot nutraceutical products as an alternative supplement for the prevention of nutritional diseases. *Frontiers in Nutrition* **8**: 787351.
- Risvik E, Steinsholt K. 1997. Sensory quality and chemical composition in carrots-Multivariate study. *Acta Agriculturae Scandinavica – Soil & Plant Science* **47**: 253-264.
- Rod J. 2004. Houbové choroby nadzemních částí mrkve, petržele a pastináku. *Agro – ochrana, výživa, odrůdy* **6**: 14-15.
- Rod J. 2009. Choroby nadzemních částí miříkovité zeleniny. *Zahradnictví* **10**: 16-18.
- Rosenfeld HJ, Lea P, Samuelsen RT. 1998. The effect of temperature on sensory quality, chemical composition and growth of carrots (*Daucus carota* L.) – constant diurnal temperature. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* **73**: 275-288.
- Rubatzky VE, Quiros CF, Simon PW. 1999. Carrots and related vegetable *Umbelliferae*. Centre for agriculture and bioscience international. Wisconsin.
- Rupert H. 1991. Zur Problematik der Abschätzung Anthropogener Stoffgehalte in Böden Am Beispiel von Schwemetatallen. *GLA-Fachberichte* **6**: 37-61.
- Růžička L. 2014. Vyzkoušejte mrkev firmy Moravoseed. *Zahrádkář* **4**: 42.
- Salisbury FB, Ross CW. 1992. Plant physiology. Wads worth publishing company. Belmont.
- Seljasen R, Kriensen L, Lauridsen C, Wyss GS, Kretzschmar U, Birlouez-Aagonee I, Kahlf J. 2013. Quality of carrots as affected by pre- and postharvest factors and processing. *Journal of the Science of Foog and Agriculture* **93**: 2611-2626.
- Seregin IV, Ivanov VB. 2001. Physiological Aspect sof cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russian Journal of Plant Physiology* **48**: 523-544.

- Seyoum T, Osthoff G, Steyn MS, Engelbrecht GM, Pretorius JC. 2011. The effect of preharvest treatment, disinfection and storage environment on quality of carrots. *Journal of Food Processing and Preservation* **35**: 331-341.
- Solís-Dominguez FA, González-Chávez MZ, Carrillo-González R, Rodríguez-Vázquez R. 2007. Accumulation and localization of cadmium in *Echinochloa polystachya* grown within a hydroponic system. *Journal of Hazardous Materials* **141**: 630-636.
- Sonar C, Paccola CR, Al-Ghamdi S, Rasco B, Tang J, Sablani SS. 2018. Stability of color,  $\beta$ -carotene, and ascorbic acid in thermally pasteurized carrot puree to the storage temperature and gas barrier properties of selected packaging films. *The Journal of Food Process Engineering* **42**: e13074.
- Song C, Yan Y, Rosado A, Zhang Z, Castellarin SD. 2019. ABA alleviate uptake and accumulation of zinc in grapevine (*Vitis vinifera* L.) by inducing expression of ZIP and detoxification-related genes. *Frontiers in Plant Science* **10**: 872.
- Starung S, Garrett SH, Sens MA, Sens DA. 2011. Cadmium, environmental exposure, and health outcomes. *Ciencia Saude Coletiva* **16**: 2487-2602.
- Suhani I, Shab S, Srivastava V, Singh RP. 2021. Impact of cadmium pollution on food safety and human health. *Current Opinion in Toxicology* **27**: 1-7.
- Surbhi S, Verma RC, Deepak R, Jain HK, Yadav KA. 2018. Food, chemical composition and utilization of carrot (*Daucus carota* L.). *International Journal of Chemical Studies* **6**: 2921-2926.
- Štampera J. 1979. Kniha zelinářství II. - polní zelinářství. Vysoká škola zemědělská v Brně. Brno.
- Tomášek J, Bajer T, Horálková E, Lundáková I. 2004. Oznámení záměru-Zařízení na zpracování a využití odpadních elektrických a elektronických zařízení (OEEZ), Kovohutě Příbram a.s., Kraj Středočeský (zpracováno dle § 6 zákona č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na životní prostředí v platném znění, s obsahem a rozsahem dle přílohy č. 4). Středisko odpadů Mníšek s.r.o. Mníšek pod Brdy.
- Tran TA, Popova LP. 2013. Functions and toxicity of cadmium in plants: recent advances and future prospects. *Turkish Journal of Botany* **37**: 1-13.
- Tumanyan AF, Shcherbakova NA, Tusaint F, Seliverstova AP, Tyutyuma NV. 2019. Heavy metal contents in soils and vegetables of Southern Russian. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils* **54**: 766-770.
- ÚKZÚZ. 2022. Kartogramy obsahů vybraných rizikových prvků v zemědělských půdách České republiky. ÚKZÚZ. Available from [Kartogramy obsahů vybraných rizikových prvků v zemědělských půdách České republiky \(ÚKZÚZ\) \(eagri.cz\)](https://www.eagri.cz) (accessed 2/2022).
- Úřední věstník EU. 2006. Nařízení komise (ES) č. 1881/2006 ze dne 19. prosince 2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách (Text s významem pro EHP). Úřední věstník EU.
- Úřední věstník EU. 2011. Nařízení komise (EU) č. 1259/2011 ze dne 2. prosince 2011, kterým se mění nařízení (ES) č. 1881/2006, pokud jde o maximální limity dioxinů, PCB s dioxinovým efektem a PCB bez dioxinového efektu v potravinách (Text s významem pro EHP). Úřední věstník EU.

- Van der Avoort CMT, Van Loon LJC, Hopman MTE, Verdijk BL. 2018. Increasing vegetable intake to promote the health promoting and ergogenic effects of dietary nitrate. *European Journal of Clinical Nutrition* **72**: 1485-1489.
- Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Valtera J. 2012. *Výživa zahradních rostlin*. Academia, Praha.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin*. ProfiPress, Praha.
- Volland S, Bayer E, Baumgartner V, Andosch A, Lütz C, Sima E, Lütz-Meindl U. 2014. Rescue of heavy metal effects on cell physiology of the algal model system *Microcystis* by divalent ions. *Journal of Plant Physiology* **171**: 154-163.
- Vondráčková S, Hejzman M, Száková J, Müllerová V, Tlustoš P. 2014. Soil chemical properties affect the concentration of elements (N, P, K, Ca, Mg, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn) and their distribution between organs of *Rumex obtusifolius*. *Plant Soil* **379**: 231-245.
- Wang GL, Xu ZS, Wang F, Li MY, Tan GF, Xiong IS. 2015. Regulation of ascorbic acid biosynthesis and recycling during root development in carrot (*Daucus carota* L.). *Plant Physiology and Biochemistry* **94**: 10e18.
- Wang H, Shu W, Lan C. 2005. Ecology for heavy metal pollution: recent advances and future prospects. *Acta Ecologica Sinica* **25**: 598-605.
- Wani PA, Khan MS, Zaidi A. 2007. Impact of heavy metal toxicity on plant growth, symbiosis, seed yield and nitrogen and metal uptake in chick pea. *Australian Journal of Experimental Agriculture* **47**: 712-720.
- Welbaum GE. 2015. *Vegetable production and practices*. Centre for agriculture and biosciences international. Boston.
- Wuana A, Okieimen E. 2011. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *International Scholar Research Notes Ecology* **2011**: 1-20.
- Wyszkowski M, Radziemska M. 2009. The effect of chromium content in soil on the concentration of some mineral elements in plants. *Environmental Sciences & Ecology* **18**: 1039-1045.
- Yahaghi Z, Shirvani M, Nourbakhsh F, Pueyo JJ. 2019. Uptake and effects of lead and zinc on alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed germination and seedling growth: role of plant growth promoting bacteria. *South African Journal of Botany* **124**: 573-582.
- Zhang F, Liu M, Li Y, Che Y, Xiao Y. 2019. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, biochar and cadmium on the yield and element uptake of *Medicago sativa*. *Science of the Total Environment* **655**: 1150-1158.
- Zhang J, Yang R, Li Y, Peng Y, Wen X, Ni X. 2020. Distribution, accumulation, and potential risks of heavy metals in soil and tea leaves from geologically different plantations. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **195**: 110475.
- Zhang Y, Wang Y, Ding Z, Wang H, Song L, Jia S, Ma D. 2017. Zinc stress affects income and metabolome in tea plants. *Plant Physiology and Biochemistry* **111**: 318-328.
- ZUČM. 2021. O zelenině. ZUČM. Available from <https://zucm.cz/unie/o-zelenine> (accessed 7/2021).