

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE

FAKULTA BIOTECHNOLÓGIE A POTRAVINÁRSTVA
2123884

Diplomová práca

Marek Slávik Bc.

Nitra 2011

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE

Rektor: Dr. h.c. prof. Ing. Peter Bielik, PhD.

FAKULTA BIOTECHNOLÓGIE A POTRAVINÁRSTVA

Dekan: prof. Ing. Tomáš Ján, CSc.

Vplyv kadmia na celkový obsah polyfenolických látok laskavca
a slnečnice ročnej

Katedra chémie

Vedúci katedry: prof. RNDr. Alena Vollmannová, PhD.

Vedúci práce: prof. RNDr. Alena Vollmannová, PhD.

Marek Slávik Bc.

Nitra 2011

Abstrakt

V tejto práci sme sa snažili ozrejmiť vplyv ťažkých kovov s dôrazom na kadmium na obsah celkových polyfenolov a konkrétne v laskavci a slnečnici. Popísali sme výskyt ťažkých kovov vo vode vzduchu ale hlavne v pôde, podmienky ich mobility, pričom ako najvýznamnejšie sa javia pH pôdy, jej oxido - redukčný potenciál, obsah humusových zložiek, ílových častíc, koncentrácie samotného kovu aj makroelementov, ale aj ďalšie. Zdrojmi ťažkých kovov sa stávajú tak antropogénne pôsobenie, ako aj prirodzené geochemické procesy ako je zvetrávanie atď. Významným spôsobom prieniku ťažkých kovov do rastliny sú prestup cez koreňovú čiapočku respektíve koreňové vlásky až po prestup cez listy. Popísali sme mechanizmus translokácie ťažkých kovov v rámci rastliny, keďže rôzne kovy sa vyskytujú v rôznych častiach rastlín v rôznych koncentráciách. Pozornosť sme venovali aj polyfenolickým látkam ako významným fytochemikáliam, ktoré slúžia rastline na ochranu pred nepriaznivými vonkajšími vplyvmi. Týmito nepriaznivými vplyvmi môžu byť aj zvýšené koncentrácie ťažkých kovov v prostredí v ktorom sa rastliny nachádzajú. Polyfenoly sú značne rôznorodá skupina látok s rôznymi vlastnosťami od veľmi pozitívnych pre rastlinu aj pre ľudské zdravie až po negatívne vplyvy vo výžive človeka. Ich vlastnosti prirodzene vychádzajú z ich chemickej štruktúry a tá je rôznorodá, od jednoduchších až po komplikované štruktúry. Rastliny sa medzi sebou odlišujú obsahom celkových polyfenolických látok aj obsahom konkrétnych druhov polyfenolov, variabilita je značná nielen medzi jednotlivými druhmi, ale aj vnútro druhovo v závislosti od podmienok, v akých sa rastlina vyvíja. Celkový prínos vo výžive človeka je však viac pozitívny a polyfenolické látky najviac obsiahnuté v laskavci a slnečnici, kvercetín a rutín, majú vysoko pozitívny vplyv na ľudské zdravie. To predurčuje ich využitie ako funkčných potravín s potenciálnym vylepšením ich vlastností pri využití moderných biotechnologických poznatkov. Ďalšou možnosťou je nepochybne ich využitie pri fytoremediáciách pôd kontaminovaných kadmiumom, za predpokladu dodržiavania ekologického nakladania s nebezpečným odpadom. Slnečnica ako aj laskavec kumulujú kadmium do celej rastliny. Pričom slnečnica približne v rovnakej miere v slame ako aj v zrne, v laskavci sme pozorovali výraznejšie uprednostňovanie jeho kumulácie do slamy oproti zrnu. Pretože obe plodiny tvoria veľké množstvo biomasy sú zároveň aj vhodnými plodinami použiteľnými pri fytoremedičných postupoch. Vplyv kadmia na celkový obsah polyfenolických látok sa prejavil tak v laskavci ako aj v slnečnici zvýšením ich obsahu v závislosti od stúpajúcej koncentrácie kadmia v plodinách, až po mieru po ktorú boli obe schopné tolerovať jeho toxické pôsobenie.

Kľúčové slová :

Polyfenoly, kadmium, ťažké kovy, slnečnica, láskevec

Keywords:

Polyfenols, cadmium, heavy metals, sunflower, amaranth

Abstract

In this work we have tried to clarify the impact of heavy metals with emphasis on cadmium content of total polyphenols and specifically in amaranth and sunflowers. We described the presence of heavy metals in water, air but mainly in the soil, conditions of mobility, which appear as the most important soil pH, the carbon - reducing the potential components of humus content, clay particles, the concentration of the metal itself and macroelements, but also others. Sources of heavy metals are becoming so anthropogenic action, as well as the natural geochemical processes such as weathering, etc. .. Significant penetration of heavy metals in plants through the transfer of root cap root hairs and / or after passage through the leaves. We described the mechanism of translocation of heavy metals in plants, since different metals are present in various plant parts at different concentrations. Attention was paid to the polyphenolic substances as important phytochemicals, which serve to protect the plant against adverse external influences. These adverse effects may include elevated concentrations of heavy metals in the environment in which the plants are located. Polyphenols are widely diverse group of substances with different properties from the very positive for the plant and human health, to negative effects in human nutrition. Their properties of naturally based on their chemical structure and it is diverse, from simpler to complex structures. Plants differ among themselves the content of total polyphenolic substances well as content of specific types of polyphenols, there is considerable variability not only between species but also the inside of species depending on the conditions in which the plant develops. Total benefits in human nutrition is more positive and polyphenolic substances contained in most of amaranth and sunflowers, quercetin and rutin, are highly positive impact on human health. It predetermines their use as functional foods with potential improvements in their performance using modern biotechnology knowledge. Another possibility is certainly their use in phytoremediation of soils contaminated with cadmium, while respecting environmental management of hazardous waste. Sunflower and amaranth accumulate cadmium in the whole plant. Sunflower with approximately the same extent in the straw and in grain, amaranth was observed in greater preference for its accumulation in the straw against the grain. Because both crops are large amounts of biomass are also suitable crops fytoremediačných useful in practice. Effect of cadmium on the total content of polyphenolic substances was reflected both in amaranth and sunflowers in an increase in their content depending on the rising concentration of cadmium in crops after the peace after they were both able to tolerate the toxic effect.

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Marek Slávik vyhlasujem, že som diplomovú prácu na tému „Vplyv Kadmia na celkový obsah polyfenolických látok v Láskevci a Slničnici“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak hore uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 6. apríla 2011

Pod'akovanie

Chcel by som vyjadriť svoju vďačnosť za pomoc pri písaní mojej diplomovej práce hlavne vedúcej práce pani prof. RNDr. Alena Vollmannová, PhD, ako aj vzdelávacej inštitúcii Slovenskej poľnohospodárskej univerzite v Nitre a jej pracoviskám najmä katedre chémie a Slovenskej poľnohospodárskej knižnici v Nitre.

Zoznam použitých označení

ATP – adenzíntrifofát

DPPH – stabilný radikál 2,2 – diphenyl – 1 – picrylhydrazyl

HPLC – vysoko účinná kvapalinová chromatografia

Kys. – kyselina

NO_x – všeobecný oxid dusíka

PP – zvyšok kyseliny fosforečnej

SO_x – všeobecne oxid síry

AAS - Atómová absorbná dpektrofotometria

mg - miligram

g - gram

kg - kilogram

mol - molekulová hmotnosť

Pb²⁺ - olovnatý katión

Cd²⁺ - kadmium

dm³ - decimeter kubický

°C - stupeň celzia

Tab - tabuľka

Obsah

Obsah.....	9
1 Úvod.....	13
2 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky	14
2.1 Kontaminanty pôdy	14
2.2 Ťažké kovy	14
2.2.1 Charakteristické vlastnosti rizikových prvkov v pôdach.....	16
2.3 Príjem a transport ťažkých kovov rastlinami.....	17
2.3.1 Príjem ťažkých kovov koreňom.....	17
2.3.2 Transport ťažkých kovov na krátke vzdialenosti – membránový transport.....	18
2.3.3 Transport ťažkých kovov na stredné vzdialenosti – radiálny transport.....	18
2.3.4 Transport ťažkých kovov na dlhé vzdialenosti – translokácia látok v rastline.....	19
2.4 Toxicita ťažkých kovov v rastlinách	20
2.5 Ťažké kovy vo vzťahu k vode	22
2.6 Kadmium	24
2.6.1 Zdroje kadmia v životnom prostredí.....	25
2.6.2 Kadmium vo vzťahu k rastlinám	27
2.7 Polyfenolické látky	28
2.7.1 Základná štruktúra fenolických zlúčenín	28
2.7.2 Flavanové deriváty.....	30
2.7.3 Obsah polyfenolických látok v rastlinách.....	31
2.7.4 Negatívne vplyvy polyfenolických látok.....	34

2. 7. 5 Antioxidačný účinok flavonoidov.....	35
2. 8 Najvýznamnejšie polyfenolické látky v Láskavci a Slničnici	35
3 Cieľ práce	38
4 Materiál a metódy.....	39
4.1 Forma experimentu.....	39
4. 1. 1 Nádobový pokus, pôda z lokality Výčapy (5 kg + 1 kg piesku).....	39
4.2 Chemické analýzy pôdy.....	40
4. 2. 1 Agrochemická charakteristika pôdy.....	40
4. 2.2 Stanovenie aktívnej pôdnej reakcie (pH/H ₂ O).....	41
4. 2. 3 Stanovenie výmennej pôdnej reakcie (pH/KCl)	41
4. 2. 4 Extrakcia pôd roztokom HNO ₃	41
4. 2. 5 Stanovenie „rastlinám prístupného“ pôdneho fosforu, draslíka, horčíka a mobilnej formy pôdneho vápnika v pôdnom výluhu MEHLICH II	42
4. 2. 5. 1 Príprava výluhu MEHLICH II.	42
4. 2. 6 Stanovenie obsahu ťažkých kovov vo výluhu lúčavkou kráľovskou	42
4. 2. 7 Stanovenie C org. a humusu v pôde podľa Ťurina v modifikácii podľa Nikitina..	43
4. 2. 8 Stanovenie percentuálneho podielu sušiny	44
4. 2. 9 Stanovenie obsahu celkových polyfenolov.....	44
4. 2. 10 Atómová absorpčná spektrofotometria	44
4.3 Charakteristika plodín.....	45
4. 3. 1 Slničnica ročná (lat. Helianthus annuus).....	45
4. 3. 2 Láskavec (Amaranthus)	45
4. 4 Štatistické spracovanie výsledkov	46

5 Výsledky práce	47
5.1 Obsah rizikových kovov v pôdnom extrakte lúčavkou kráľovskou	47
5.2 Obsah rizikových kovov v pôdnom extrakte HNO ₃ (c = 2 mol.dm ⁻³)	47
5.3 Obsah vybraných ťažkých kovov v snečnici ročnej	48
5.4 Obsahy vybraných ťažkých kovov v láskavci chvostnatom	57
5.5 Obsahy celkových polyfenolických látok v snečnici ročnej a láskavci chvostnatom ..	68
Návrh na využitie výsledkov	72
Záver	73
Zoznam použitej literatúry	74
Prílohy	79

1 Úvod

Téma polyfenolických látok vo výžive je v súčasnosti značne rozsiahla a diskutovaná. Polyfenolické látky majú ako sa javí výrazný potenciál v modernom ponímaní zdravej stravy. Keďže tieto látky vznikajú počas vývoja rastliny v jej sekundárnom metabolizme je potrebné sledovať aké podmienky majú vplyv na ich obsah v rastline. Neoddeliteľnou súčasťou súčasných trendov je aj bezpečnosť potravín, z tohoto dôvodu sme sa zamerali na ťažké kovy a možnosti ich prieniku do rastlinných surovín a následne teda do potravinového reťazca. Na rastlinu a následne obsah látok v nej sa vyskytujúcich má vplyv množstvo faktorov počas jej rastu a vývoja. Ťažké kovy predstavujú hrozbu nielen teda pre ľudské zdravie, ale aj pre samotné rastliny keďže závažným spôsobom ovplyvňujú ich metabolizmus. Je potrebné sledovať kontamináciu ťažkými kovmi nielen v pôde ale aj v samotnej rastline. Na intenzitu prieniku ťažkých kovov do rastlín majú vplyv opäť rôzne vplyvy ako sú mobylita kovov, pH pôdy, koncentrácia kovu a iné. Slničnica je v našich podmienkach dobre známou plodinou, často využívanou, hlavne pre vysokú produkciu kvalitného oleja, ktorý sa získava z jej semien. Uplatňuje sa ale aj ako krmovina. Cenná je ako zdroj esenciálnych mastných kyselín, nenahraditeľných vo výžive človeka. Amarantus známi aj ako láskevec je skôr perspektívnou plodinou z viacerých hľadísk. Je nenáročnou plodinou na pestovanie, pričom poskytuje veľké množstvo biomasy s vysokým obsahom bielkovín, minerálov, vitamínov a z polyfenolických látok je to najmä rutín. Takisto produkuje veľké množstvo semien, čo je však v prípade burinných druhov problémom, každopádne je jeho potenciál ako krmoviny, alebo energetickej plodiny rozsiahly. Jeho ďalší prínos spočíva aj s príspevom moderných biotechnologických postupov, ako využitie v takzvaných funkčných potravinách. Aj v našich podmienkach sa tieto plodiny však vyskytujú v pôdach kontaminovaných kadmom, čo je prirodzene problémom v prípade želaného využitia zmieňovaných plodín ako potravín, krmovín či funkčných potravín. Avšak ich potenciál spočíva aj práva pri rekultivácii kontaminovanej pôdy, kedy tieto plodiny najmä láskevec dokážu prijať do svojej biomasy pomerne veľké množstvo kadmia, a tak slúžia na bioremediáciu pôdy.

2 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

2.1 Kontaminanty pôdy

Kontaminanty, väčšinou ako heterogénne zmesi anorganických a organických látok sú posudzované z hľadiska pôvodu ako (Zaujec, 2003) :

Abiogénne prvky (a ich zlúčeniny) – Sb, Cr, F, Cd, Ni, Pb, Hg, V a As.

Mikrobiogénne prvky a ich zlúčeniny v aktívnom nadbytku – B, Co, Mn, Cu, Mo a Zn.

Makrobiogénne prvky a ich zlúčeniny v aktívnom nadbytku – N, P, K, Mg, S, Na, Ca.

Indikátory rádioaktívneho znečistenia – Cs, Sr, Zr, I, U.

Pesticídy na báze anorganickej i organickej.

Organické látky – fenoly, polycyklické uhľovodíky, polychlórované bifenyly a i.

Patogénne organizmy – vírusy, baktérie, huby a i.

2.2 Ťažké kovy

Ťažké kovy môžeme označiť ako významnú skupinu znečisťujúcich látok , ktoré sa sledujú v rôznych zložkách životného prostredia (vzduch, voda, pôda). Ide o rozsiahlu skupinu kontaminantov, ktoré sa vyznačujú rozdielnymi chemickými, fyzikálno-chemickými vlastnosťami, biologickými účinkami na rastliny, živočíchy i človeka, zdrojmi svojho pôvodu, ďalším kolobehom v prírode. Stali sa predmetom svetového monitoringu napríklad ortuť (Hg), olovo (Pb), kadmium (Cd), chróm (Cr). Sa všeobecne považujú za najškodlivejšie pre ľudí a zvieratá. Veľmi škodlivé môžu byť aj niektoré ďalšie prvky, ktoré sú v malom množstve v pôdach a rastlinách potrebné, ak sa však nahromadia vo veľkom množstve, môžu pôsobiť rovnako toxicky ako vyššie uvedené prvky, takými sú napríklad zinok (Zn), meď (Cu), nikel (Ni) a ďalšie.

Pôda sa pri znečisťovaní správa ako prírodný sorbent – tvorí sa z nej stály rezervoár znečistenín, ktoré potom čerpajú a hromadia v sebe rastliny(Zaujec, 2003). Reakcia znečistenín v pôde závisí od mnohých faktorov: od chemickej a mechanickej štruktúry pôdy, jej schopnosti výmeny iónov, pH prostredia, chemických vlastností znečistenín, charakteru podpovrchových vôd, prítomnosti chemicky príbuzných iónov a i.(Zaujec, 2003).

Viaceré látky zhoršujú vlastnosti pôdy tým, že menia reakciu prostredia, ktorá je daná hodnotou pH. Jedná sa o procesy acidifikácie a alkalizácie, univerzálnymi alkalizačnými prostriedkami sú uhličitaný a hydrogénuhličitaný najmä vápnika a horčíka. Urýchlenú acidifikáciu zvyšujú plynné imisie, ako sú SO_x, Cl₂, NO_x a CO₂ (Vilček, 2005). Okrem

plynných imisií, v podobe kyslých dažďov, majú acidifikačné vlastnosti aj ďalšie faktory napríklad vysoké dávky kyslých priemyselných hnojív, vysoké dávky hnojovice, nevhodné oševné postupy, nevhodné oševné postupy atď. (Vilček, 2005). Prirodzene sa vyskytujú aj prírodné faktory, produkcia CO₂ mikroorganizmami, zvetrávanie pôdotvorných minerálov (Zaujec, 2003). Dôsledkom kyslej pôdnej reakcie sú potom viaceré javy, nám sa zdal byť najvýznamnejším z nich prirodzene zvýšená mobilita ťažkých kovov (Cd, Hg, Pb, Cu, Co, Mn, ...). A s ňou súvisiaca lepšia distribúcia ťažkých kovov ku koreňom rastlín. Účinok týchto faktorov nemusíme dlhší čas takmer spozorovať, a to v dôsledku tlmivej (pufrovacej) schopnosti pôdy. Tá predstavuje schopnosť pôdy zabrániť výraznej zmene pôdnej reakcie (zmena pH) v dôsledku viacerých vonkajších vplyvov. Je všeobecne známe, že najlepšiu pufrovacu schopnosť majú pôdy bohaté na humus, túto vlastnosť však vždy treba aplikovať na konkrétny pôdny typ. Fluvizem modálna má najvyššiu celkovú schopnosť tmiť zmeny pôdnej reakcie (Vilček, 2005).

Mnohé z toxických látok z pôdy aktívne prijímajú rastliny, v ktorých sa potom akumulujú a viacnásobne koncentrujú (Zima et al., 2002). Samozrejme, že toxicita a rizikovosť ťažkých kovov závisí od mobility ich formy, t. j. rozpustnosti vo vode, respektíve v roztokoch slabých kyselín a zásad. Napríklad železo je ako kov inertné, kým Fe²⁺ ako jeho kation v roztoku je toxické (Vilček, 2005). Mobilita a účinnosť rizikových prvkov závisí na ich väzbe na jednotlivé pôdne zložky. Účinok olova (Pb) je ovplyvnený predovšetkým množstvom humusu, menej už ílu a seskvioxidov, kým vplyv medi (Cu) a ortuti (Hg) závisí nielen od obsahu humusu v pôde, ale aj od obsahu ílu a seskvioxidov (Vilček, 2005). Jednotlivé ťažké kovy sú spravidla aktívnejšie pri kyslej reakcii pôdy, mobilita niektorých rizikových ťažkých kovov je na pH závislá menej (med' Cu, ortuť Hg), iných viac (kadmium Cd, olovo Pb, molybdén Mo). Súčasne nie všetky ťažké kovy sú pohyblivejšie a teda reagujú aktívnejšie s prostredím v kyslom prostredí, platí to napríklad o medi Cu a molybdéne Mo. Tie sú aktívnejšie pri neutrálnej alebo alkalickkej reakcii prostredia (Blume, 1990). Pohyblivosť jednotlivých ťažkých kovov je vysoká už pri hodnote pH : Cd < 6,5; Mn < 6,5; Ni < 5,5; Co < 5,5; Cr < 4,5; Pb < 4,0; Hg < 4,0; Fe < 3,5; Zn < 6,0 (Blume, 1990).

Pôda dokáže sama eliminovať znečistenie ťažkými kovmi len čiastočne (ťažké kovy, arzén, horčík) (Zaujec, 2003). Spôsoby asanácie intoxikovaných pôd ťažkými kovmi podľa Vilček et al. 2005 : Prekrytie vrstvou zeminy, odstránenie kontaminovanej zeminy, premývanie pôdy, zriedenie pôdnej hmoty, vápnenie a sadrovanie pôdy, aplikácia asanačných

hmôt, pestovanie rastlín s ich následným spaľovaním (pozri vzťah ťažkých kovov k rastlinám), prekrytie kontaminovanej pôdy rastlinnou pokrývkou.

2. 2. 1 Charakteristické vlastnosti rizikových prvkov v pôdach

Ako sme už spomínali prítomnosť ťažkých kovov v pôde sa nemusí hneď vizuálne prejavovať. Postupnou akumuláciou rizikových prvkov, okrem iných aj ťažkých kovov, dochádza k nepriaznivým zmenám v pôde.

Veľké množstvo ťažkých kovov sa do pôdy dostáva používaním nekvalitných priemyselných hnojív, pesticídov a fungicídov. Znečistenie ťažkými kovmi pozorujeme aj v priemyselných oblastiach zameraných na spracovanie rúd, pozdĺž cestných komunikácií, skládok odpadov (Masarovičová et al., 2002).

Vzhľadom na kumulatívne účinky ťažkých kovov v biologickej hmote žiadne dávky ťažkých kovov, pokiaľ majú karcinogénne účinky nemôžu byť považované za bezpečné. Niektoré prvky ako As, Hg, Se, Sb vytvárajú tekuté zlúčeniny, ktoré podliehajú diaľkovému prenosu vzduchom (Poláček et al., 2002) Znečistenie pôdy ťažkými kovmi má bodový charakter, s výnimkou zvýšeného používania priemyslových hnojív a atmosferických spadov (Zaujec, 2003).

Toxicita ťažkých kovov nie je stála funkcia. Pri ich vstupe do pôdy dochádza k fyzikálno-chemickým zmenám a prvok sa zapája do kolobehu látok, kde naň pôsobia biologické, chemické, fyzikálne vplyvy (Vilček et al., 2005). V dôsledku toho vznikajú alebo zanikajú rôzne zlúčeniny, ktoré zvyšujú alebo znižujú toxicitu daného prvku v prostredí. Krátkodobý toxický vplyv ťažkých kovov je pomerne známy. Málo je však známy ich dlhodobý vplyv, pomalá akumulácia, ktorá je práve typická pre pôdy (Zaujec, 2003).

Podľa Kabata-Pendiasa možno prvky podľa ich toxicity rozdeliť do skupín:

- prvky s veľmi vysokým stupňom potenciálneho ohrozenia (Cd, Hg, Pb, Cu, Tl, Sn, Cr, Sb, Zn),
- prvky s vysokým potenciálom ohrozenia (Bi, U, Mo, Ba, Mn, Ti, Fe, Se, Te, Ni, Co, As),
- prvky so stredným stupňom potenciálneho ohrozenia (F, V, Rb, Li, Ge, In, B, Br, Cs),
- prvky s nízkym stupňom potenciálneho ohrozenia (Sr, Zr, Ta, La, Rb).

Pre viaceré ťažké kovy sa v súčasnosti nedá presne povedať, aký podiel rastliny prijímajú z pôdy a aký priamo z atmosféry. Napr. ortuť rastliny prijímajú väčšinou z atmosféry (asi 60 %) a Cd z pôdy (až 90 %, podobne aj Cr a Zn) (Procházka et al., 2003).

2.3 Prijem a transport ťažkých kovov rastlinami

Z kvalitatívneho hľadiska obsah prvkov v rastline zodpovedá obsahu prvkov v pôde, na druhej strane však existujú veľké kvantitatívne rozdiely medzi obsahom jednotlivých prvkov v koreňovom prostredí a v bunke (Masarovičová et al., 2002).

Výsledky analýzy prvkového zloženia nižších a vyšších rastlín umožňujú definovať príjem iónov ako proces, ktorý je charakterizovaný (Masarovičová et al., 2002) :

a, selektivitou – rastliny sú prispôsobené tak, že ióny, ktoré potrebujú prijímajú prednostne, príjem iných môže byť potlačený hoci nie úplne vylúčený. O tom práve svedčí vstup toxických ťažkých kovov, ktoré potom následne môžu poškodzovať rastliny.

b, schopnosť akumulácie látok – rastliny dokážu prijímať ióny proti koncentračnému spádu a akumulovať ich vo svojom tele.

c, genotypom rastlinného organizmu – výrazné rozdiely v prijímaní a akumulácii iónov medzi druhmi, ale i v rámci druhu.

Samotný príjem je proces kontinuálny, zabezpečujúci neustály tok živín z pôdy do koreňa (Zima et al., 2002).

2.3.1 Prijem ťažkých kovov koreňom

Rastúce korene odčerpávajú z pôdneho roztoku ióny, medzi nimi i ióny ťažkých kovov, ktoré potom putujú systémom pletív do ostatných častí rastliny (Zima et al., 2002). Prijem minerálnych iónov koreňom prebieha viacerými spôsobmi, medzi inými adsorpciou iónov z pôdneho roztoku. Tak sa prijímajú ióny, ktoré sú dostupné priamo napríklad sírany (SO_4^{2-}), dusičnany (NO_3^-), fosforečnany (PO_4^{3-}), vápnik (Ca^{2+}), horčík (Mg^{2+}) a draslík (K^+) (Masarovičová et al., 2002). Ďalej výmennou absorpciou adsorbovaných iónov živín z povrchu koloidných častíc pôdy – koreň uvoľňuje do pôdy H^+ a HCO_3^- ako produkty respirácie, čím podporuje výmenu iónov adsorbovaných na ílových a humusových časticiach (Masarovičová et al., 2002).

Ťažké kovy viazané v chemických zlúčeninách, sa môžu uvoľňovať z pôdy účinkom koreňových výlučkov (H^+ a organické kyseliny), ktoré môžu s týmito iónmi vytvárať chelátové komplexy. Chelatizácia bráni iónom kovov opätovne sa viazať a keďže korene majú prenášače schopné transportovať do bunky takéto komplexy, tento mechanizmus predstavuje jednu z možných ciest príjmu iónov ťažkých kovov (Masarovičová et al., 2002).

2.3.2 Transport ťažkých kovov na krátke vzdialenosti – membránový transport

Transport látok v rastline sa uskutočňuje viacerými transportnými mechanizmami a viacerými transportnými cestami. Ich vznik bol podmienený prostredím, v ktorom sa rastliny vyvíjali a diferenciaciou buniek na jednotlivé pletivá a orgány. Diferenciaciou buniek došlo k prispôsobeniu sa orgánov zodpovedných za sorpciu a translokáciu iónov (látok) v rastline (Zima et al., 2002)

Ťažké kovy putujú z bunky do bunky vďaka špecifickým membránovým prenášačom – ATPázovým pumpám takzvaného P-typu (Masarovičová et al., 2002). Jedná sa o primárny aktívny transport, ktorý je charakteristický tým, že na transmembránový pohyb iónov sa energia získava priamym spojením s exergonicou chemickou reakciou (rozklad ATP, PP) (Danko et al., 2004). Tieto pumpy sa niekedy označujú aj ako $E_1 - E_2 - \text{ATPázy}$, pretože počas katalytického cyklu sa molekula enzýmu nachádza v dvoch konformačných stavoch. Konformácia E_1 (vysoká afinita k iónu a k ATP) \longrightarrow fosforylácia zmena konformácie na E_2 (nízka afinita k iónu a k ATP). Zmena konformácie je sprevádzaná uvoľnením iónu na opačnej strane membrány a po defosforylácii nastáva návrat do konformačného stavu E_1 . (Masarovičová et al., 2002).

Tento mechanizmus je charakteristický pre všetky ATPázy P-typu. Týmto spôsobom sa transportujú mnohé katióny ťažkých kovov (med' Cu^{2+} , molybdén Mo^{2+} , mangán Mn^{2+} , zinok Zn^{2+} , kadmium Cd^{2+} , striebro Ag^+), ale aj molekuly fosfolipidov (Masarovičová et al., 2002).

2.3.3 Transport ťažkých kovov na stredné vzdialenosti – radiálny transport

Radiálny transport alebo pohyb látok v koreni, môže prebiehať dvoma cestami. Pohyb látok v extracelulárnom priestore (apoplaste) sa označuje ako apoplastický transport, transport látok v intracelulárnom priestore (symplaste) ako symplastický transport (Zima et al., 2002).

Apoplast predstavuje komplikovaný systém pórov a stenových povrchov nachádzajúci sa extracelulárne od epidermálnych, kôrových a parenchymatických buniek stély (Zima et al., 2002). Zložitý labyrint apoplastu, väzba na záporne nabité molekuly bunkovej steny, Casparyho pásik sú faktormi, ktoré značne spomaľujú pohyb katiónov v apoplaste. Napriek tomu boli nepriamo potvrdené predpoklady Larchera (1988), podľa ktorého ťažké kovy s neznámou metabolickou funkciou sa dostávajú do nadzemných častí apoplastickou cestou. Súvisí to s narušením vnútorných procesov súvisiacich s permeabilitou bunkových membrán. Symplast predstavuje sumu cytoplazmatických kompartmentov živých buniek navzájom prepojených plazmodezmami (Zima et al., 2002). Pri symplastickom transporte stačí transportovanej látke prekonať dvakrát cytoplazmatickú membránu. Na začiatku cytoplazmatickú membránu epidermálnej bunky pri vstupe do symplastu a na konci cytoplazmatickú membránu parenchymatickej bunky centrálného valca pred vstupom do xylému (Masarovičová et al., 2002). Transportovaná látka (ťažký kov) sa celý čas pohybuje v intracelulárnom prostredí buniek (Masarovičová et al., 2002).

2.3.4 Transport ťažkých kovov na dlhé vzdialenosti – translokácia látok v rastline

Pozdĺžny transport látok sa uskutočňuje v špecializovaných bunkách centrálného valca (xylém a floém). (Masarovičová et al., 2002).

Xylémový transport – xylém predstavuje mŕtve bunky, ktoré stratili cytoplazmu. Je tvorený cievami (trachey) a cievicami (tracheidy), má charakteristický tvar a štruktúru, spevňuje rastlinu (Zima et al., 2002). Jeho hlavnou úlohou je transport vody a v nej rozpustených látok z koreňa do nadzemných orgánov. Tento transport je vždy jednosmerný a akropetálny (z koreňa do nadzemných orgánov). (Zima et al., 2002).

Floémový transport je nezávislý transportný systém zabezpečujúci transport prevažne organických látok z listov do koreňov, výhonkov, plodov a podobne. Na rozdiel od xylémového toku je floémový tok obojsmerný (Zima et al., 2002). Podobne ako xylémový tok je aj floémový tok veľmi výkonný a rýchly systém pohybu látok a vody. Floém je systém živých buniek skladajúci sa zo sitkovice a jednej alebo viacerých sprievodných buniek.

Tabuľka č 1.

Obsah organických a anorganických látok stanovených v exudáte floému a xylému rastliny tabaku *Nicotiana glauca* (Prevzaté z Masarovičová et al., 2002)

Látka (ión)	Exudát (ml)		Pomer floém/xylém
	Floém	Xylém	
Sušina	170 – 196	1,1 – 1,2	155 – 163
Sacharóza	155 - 168	∞ 0	–
Redukujúce cukry	neobsahuje	nestanovené	–
Amino zlúčeniny	10808,0	283,0	38,2
NO ₃	neobsahuje	nestanovené	–
amoniak	45,7	9,3	4,7
K ⁺	3673,0	204,3	18,0
PO ₄ ³⁻	434,6	69,1	6,4
Cl ⁻	486,4	63,8	7,6
SO ₄ ²⁻	138,9	43,3	3,2
Ca ²⁺	83,3	189,2	0,4
Mg ²⁺	104,3	33,8	3,1
Na ⁺	116,3	46,2	2,5
Fe ³⁺	9,4	0,6	15,7
Zn ²⁺	15,9	1,4	10,8
Mn ²⁺	0,8	0,2	3,8
Cu ²⁺	1,2	0,1	10,9
pH	7,8 – 8,0	5,6 – 5,9	

2.4 Toxicita ťažkých kovov v rastlinách

V dôsledku okysľovania pôd sa do pôdneho roztoku často uvoľňujú ióny ťažkých kovov, najmä Cd, Pb, Hg, Zn, Ni a pod. Tieto sú s výnimkou veľmi nízkych koncentrácií pre rastliny toxické (Procházka et al., 2003). Podstata toxicity ťažkých kovov pre rastliny spočíva v ich vysokej afinite k chemickým skupinám obsahujúcim redukované formy síry, takže inaktivujú enzýmy s voľnými –SH skupinami. Napríklad už dvojdenná aplikácia 5-10 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ Cd²⁺ znížila obsah chlorofylu, rýchlosť čistej fotosyntézy aj vodivosť prieduchov u mladých rastlín kukurice (Prasad, 1995). Podstatou tolerancie k iónom ťažkých kovov, ktoré sa hromadia v rastlinných bunkách, je predovšetkým ich inaktivácia väzbou na nízkomolekulárne polypeptydy s vysokým obsahom

cysteínu, takzvané fytochelatíny respektíve metalotioneíny. Tieto polypeptidy majú zvlášť vysokú afinitu ku Cd, Cu a Pb (Procházka et al., 2003). Agregáciou tiež vznikajú molekulové komplexy o veľkosti 3000 až 10000. Zvýšený obsah ťažkých kovov v cytoplazme buniek aktivuje syntézu fytochelatínov s následným naviazaním iónov týchto kovov. Bolo zistené, že pri nedostatku niektorého ťažkého kovu najmä Zn a Cu môže byť tento kov z komplexu opäťovne uvoľnený (Procházka et al., 2003). Okrem uvedeného spôsobu adaptácie sa rastlín na zvýšený výskyt ťažkých kovov sa rastliny môžu chrániť už samotným obmedzením vstupu týchto prvkov do buniek, ich hromadením vo vakuolách, obmedzením ich transportu do nadzemných orgánov.

Vo vzájomných koreláciách medzi rastlinami a ťažkými kovmi sú dôležité pojmy ako tolerancia t. j. schopnosť organizmu vyrovnávať sa s extrémnym pôsobením niektorého faktora, teda schopnosť znášať jeho prítomnosť a pôsobenie vo väčšom rozsahu. Pojem rezistencia t. j. schopnosť vzdorovať, obmedzovať až vylučovať možnosť pôsobenia príslušného faktora na citlivé zložky organizmu alebo systému. A pojem akumulácia respektíve hyperakumulácia v našom prípade hromadenie ťažkých kovov v rastlinách.

Viacero rastlinných druhov sa vyznačuje schopnosťou akumulovať veľké množstvá ťažkých kovov napríklad druh *Armeria maritima sp.* je schopná naakumulovať mimoriadne veľké množstvo medi, rovnako v koreňoch ako aj v nadzemných častiach rastliny.¹

Podľa (Neumann et al., 1995) bolo zistené, že je meď (Cu) akumulovaná vo vakuolách vo forme zrazenín, v ktorých je chelatizovaná polyhydroxyfenolmi. Okrem toho boli ióny Cu^{2+} vedené xylémom až do hydátód a vylučované na povrch listov.

A takisto veľké množstvo Cu bolo lokalizované v bunkovej stene. Táto schopnosť „uskladniť“ ťažké kovy v nemetabolizujúcich kompartmentoch bola zhodnotená ako² jedna z príčin tolerancie rastlín k ich zvýšenému príjmu a výskytu z okolia. Je jasne znateľná snaha využiť tieto vlastnosti rastlín k dekontaminácii najmä väčších plôch pôdy, kde nemožno využiť klasické chemické postupy vyžadujúce manipuláciu s ohromnými množstvami zeminy. Jedná sa predovšetkým o plochy v okolí ťažobných priestorov po ťažbe kovov ako napríklad zinok, olovo, ortuť, meď a i.. Ďalej priestory vojenských cvičísk, prípadne skladísk s nadbytkom kadmia, olova a i. , priestory komunálnych skládok s prebytkom medi, ortuti, olova, niklu a i.. Takto môžu byť využité postupy s kultiváciou rastlín vyznačujúcich sa vhodnou akumuláčnou schopnosťou konkrétneho prvku. Po spracovaní príslušnej rastliny sa

¹ parafráza Procházka 2003

dá v niektorých prípadoch uvažovať s opätovnou reutilizáciou (využitím) nahromadeného ťažkého kovu (prvku). Takýmto využitím rastlín sa zaoberal napríklad (Mofat, 1995).

Známymi akumulátormi síry, selénu, ale aj ťažkých kovov ako napríklad olovo, chróm, kadmium, nikel, zinok, meď sú zástupcovia rodu *Brassica*. Akumulácia zinku a kadmia je známa aj v peniažteku roľnom (*Thlaspi arvense*), a to v množstvách niekoľko percent sušiny (Mofat, 1995). Vďaka metódam molekulárnej biológie je možné vytvárať rastlinné druhy s hyperakumulačnými vlastnosťami, prirodzene po identifikácii príslušných mechanizmov pre toleranciu a identifikácii konkrétnych génov zodpovedných za syntézu bielkovín. Tým sa vytvoria druhy nielen s vysokou tolerančnou a akumulačnou schopnosťou, ale aj rýchlym rastom. Obmedzenie toxického vplyvu ťažkých kovov je spôsobené ich väzbou na fytocheláty.

Takto sa podarilo napríklad preniesť gény kvasiniek pre syntézu kadmium transportných bielkovín. Táto bielkovina následne transportuje kadmium naviazané na fytochelátin do vakuoly. Ďalej došlo prenesením mikrobiálneho génu do húseničníka roľného (*Arabidopsis thaliana*) ku tvorbe reduktázy, ktorá redukovala Hg^{2+} na Hg, s jej následným uvoľňovaním do atmosféry. Podobný prípad bola aj detoxikácia selénu prevedením na netoxický dimetyl, tiež s uvoľnením do atmosféry (Mofat, 1995).

2.5 Ťažké kovy vo vzťahu k vode

Voda, ktorá je už od pradávnych čias „nosiiteľkou“ života, patrí aj v súčasnosti medzi najdôležitejšie a základné zložky nášho životného prostredia. Plní tu viaceré funkcie (biologickú, zdravotnú, termoregulačnú, hospodársku, estetickú, . . .). Je jedným zo základných zdrojov a ako dôležitá zložka prírodného prostredia zabezpečuje veľké množstvo spoločenských alebo hospodárskych potrieb. V dôsledku svojich fyzikálno-chemických vlastností, stav vody odráža celkový chemizmus prostredia, vrátane takých zmien, ktoré ohrozujú prirodzenú ekologickú rovnováhu životného prostredia. Negatívnym odrazom toho je znečistenie životného prostredia s následným narušením tejto rovnováhy. Jedným z najvhodnejších indikátorov znečistenia vodného prostredia sú vodné živočíchy, konkrétne ryby. Ryby ako konečný článok dlhého potravného reťazca najlepšie odrážajú stav akosti vody. Zvýšený výskyt a hromadenie sa rôznych cudzorodých látok napríklad ťažkých kovov, vo vodnom prostredí, sa prejavuje okrem iného ich zvýšenou mortalitou, zníženou životaschopnosťou, poruchami reprodukcie a ďalšími negatívnymi prejavmi. Z hygienického hľadiska je

u rýb najzávažnejšia schopnosť bioakumulácie týchto prvkov v ich jednotlivých tkanivách. Pričom ich koncentrácia v tkanivách rýb je niekoľkonásobne vyššia ako v okolitom prostredí a môže dosahovať aj hodnoty presahujúce príslušné hygienické normy na obsah ťažkých kovov v požívatinách. Toxicitu kovov ovplyvňuje celkové zloženie vody, v ktorej sa nachádzajú, jej teplota a pH. Okrem toho, že samy o sebe spôsobujú chorobné zmeny u organizmov, ako napríklad indukcia chronických, genetických ochorení, ale aj vznik nádorov a poškodenie plodu (Stráňai, 2001). Táto toxicita je spôsobená najmä blokovaním činnosti enzýmov obsahujúcich –SH skupiny bielkovín. Medzi takto toxicky pôsobiace kovy patria najmä ortuť (Hg), olovo (Pb), kadmium (Cd), meď (Cu), arzén (As) a pod. (Stráňai 2001). Táto toxicita sa ešte zvýrazní v prípade ich bioakumulácie mikroorganizmami. Pri bioakumulácii často dochádza k fyzikálnym zmenám (redukcia alebo oxidácia kovov, prípadne ich alkylácia najčastejšie ide o metyláciu), týmito procesmi sa výrazne menia aj toxické účinky. *Poznámka parafráza Stráňai 2001*

Po takejto transformácii stúpa ich celková toxicita a nadobúdajú aj nové špecifické toxické účinky, pretože k toxicite prvku sa pridružuje ešte toxicita alkylu (Stráňai, 2001). Treba poznamenať, že alkylácia (metylácia), najmä ortuti (ale aj kadmia, olova a i.), je bežným biologickým pochodom u viacerých mikroorganizmov. Metylorduť primárne vzniká v sedimentoch dna, kde kovová ortuť a jej anorganické zlúčeniny vplyvom mikrobiálnej činnosti, za anaeróbných, respektíve mikroaerofilných podmienok podlieha chemickým zmenám (Snopeková, 2001). Následne sa kumuluje v živočíchoch dna (zoobentos), ktoré tvoria významnú zložku potravy rýb. Ryby ako konečný článok potravného reťazca vo vodnom prostredí obsahujú najvyššie hodnoty tejto vysoko toxickej formy ortuti. Okrem ortuti sa dobre akumulujú aj olovo, meď a selén. V zmesiach sa môžu toxické účinky jednotlivých kovov vzájomne zosilňovať (synergizmus- ortuť+ meď, kadmium + zinok), ale aj zoslabovať (selén + ortuť, selén + kadmium) (Stráňai, 2001). Absorbovaná ortuť sa v organizme človeka akumuluje a jej vylučovanie (biologický polčas) trvá dva až tri mesiace (Snopeková, 2001). Spolu so svojimi zlúčeninami sa koncentruje najmä v šedej mozgovej kôre, neskôr v obličkách a pečeni. Organická forma metylorduť je v prípade človeka kompletne absorbovaná krvou (Snopeková, 2001).

2.6 Kadmiu

Kadmiu (Cd) sa radí do 2B skupiny periodickej sústavy prvkov, tzv. skupina zinku. Jeho obsah v prírode je nízky, vo forme zlúčenín sprevádza zinok v horninách. Atómy kadmiu majú valenčnú sféru elektrónového obalu obsadenú orbitálmi $5s^2 4d^{10}$, preto sa budú stabilizovať obdobne ako zinok dosiahnutím oxidačného stavu +II (Poláček et al., 2003). Kadmiu sa radí k neušľachtilým kovom a v dostatočne koncentrovaných kyselinách sa rozpúšťa bez vzniku vodíka, v zriedených tiež podľa povahy kyseliny a teploty vodík, vzniká. Na vlhkom vzduchu podlieha iba povrchovej oxidácii, ktorá však nepokračuje do hĺbky materiálu (Poláček et al., 2003).

Oxid kademnatý aj hydroxid kademnatý sa dajú získať alkalickou hydrolyzou vodných roztokov kademnatých solí. Obe látky sú pritom podstatne menej amfotérne, ako podobné zlúčeniny zinku. Oxid aj hydroxid sa preto len minimálne rozpúšťajú v roztokoch hydroxidov alkalických kovov.

Ich rozpúšťanie v kyselinách je naproti tomu spontánne a vedie ku vzniku kademnatých solí. Sulfid kademnatý a uhličitan kademnatý sú nerozpustné, málo rozpustné sú tiež fluorid, kyanid a kyanatan kademnatý. Halogenidy, síran, chloristan, dusičnan kademnatý sú všetky rozpustné (Poláček et al., 2003). Technický význam kadmiu nie je príliš veľký. Sulfid kademnatý CdS sa používa ako žltý pigment. Kovové kadmiu sa v menšej miere používa pri pokovovaní, pri antikorošnej úprave niektorých elektrotechnických súčiastok napr. kondenzátorov, využívané sú akumulátory Ni-Cd (Fajnor et al., 2001). Kadmiu je abiogénny prvok a patrí k najtoxickjším prvkom, vyskytuje sa vo forme pár a svojich rozpustných zlúčenín. Kadmiu (podobne ako antimón, cín, olovo a ortuť) je kumulatívnym jedom a organizmus nemá dostatočne účinný mechanizmus na jeho odbúranie. Jeho biologický polčas rozpadu je veľmi dlhý až 10-35 rokov (Poláček et al., 2003). Ióny kadmiu pôsobia špecificky toxicky na samčie pohlavné žľazy. Jeho fyziologická úloha súvisí s jeho vplyvom na aktivitu niektorých enzýmov a hormónov, ktorá súvisí s jeho schopnosťou viazať sa na tiolové skupiny -SH, prípadne vytesňovať zinok z niektorých enzýmov. Zlúčeniny zinku znižujú toxicitu zlúčenín kadmiu. Kadmiu sa do kolobehu dostáva okrem už spomenutého výskytu popri rudách zinku aj exhalátmi vznikajúcimi spaľovaním nafty, vykurovacích olejov, uhlia a exhalátmi zo závodov na výrobu zinku, ako aj prostredníctvom odpadových vôd (Vojtěšek, 2009). Na aktivitu zlúčenín kadmiu v pôde výrazne vplyva jej pH a redoxný potenciál. So stúpajúcimi hodnotami pH klesá rozpustnosť jeho zlúčenín a stáva sa imobilným (Poláček et

al., 2003). Pre kademnaté soli je typická schopnosť vytvárať komplexné zlúčeniny a organické cheláty. Rastliny ho najintenzívnejšie prijímajú z kyslých pôd, chudobných na humus a na vápnik. Jeho zvýšený obsah v rastlinách sa dáva do súvislosti aj s kyslými dažďami. Z týchto dôvodov predstavuje jeden z enviromentálne najrizikovejších prvkov (Poláček et al., 2003).

2.6.1 Zdroje kadmia v životnom prostredí

Zdrojom kadmia v Slovenskej republike sú predovšetkým odpadové vody z povrchových úprav kovov galvanickým pokovovaním (kadmiovaním), sklárskeho priemyslu, hutníctva, výroby hnojív (kde sa kadmium vyskytuje ako doprovodný prvok), fotografického a polygrafického priemyslu a priemyslu výroby plastických hmôt. Kadmium doprevádza Zn vo vodách z rudných ložísk.

Katióny kovov hrajú dôležitú úlohu v mnohých biologických a enviromentálnych systémoch. Niektoré sú nevyhnutné pre organizmy, iné sú naopak toxické (Vojtěšek et al., 2009). Významnú úlohu pritom zohráva nielen koncentrácia, ale aj iónová forma daného kovu, od ktorej závisí biodostupnosť, fyziologické a toxikologické efekty (Dulka et al., 1976). Ako príklad rôznorodosti účinku jednotlivých iónových foriem toho istého kovu je veľmi vhodné uviesť dva oxidačné stavy chrómu – trojmocný a šesťmocný. Trojmocný (Cr^{3+}) je esenciálnou zložkou potravy, ktorá pomáha pri trávení cukrov, tukov a bielkovín a nemá na organizmus negatívny vplyv (Vojtěšek et al., 2009). Zatiaľ čo šesťmocný (Cr^{6+}) má diametrálne odlišné vlastnosti, spôsobuje napríklad podráždenosť nosa, kýchanie, svrbenie, krvácanie z nosa, vredy a dokonca rakovinu pľúc (Vojtěšek et al., 2009). Medzinárodná spoločnosť pre výskum rakoviny zaradila kadmium, nikel, berýlium a chróm (Cr^{6+}), poprípade ich zlúčeniny, medzi dokázané karcinogény (skupina 1) a olovo je považované za možný karcinogén. Preto sú legislatívne sledované obsahy týchto kovov vo vode, v ovzduší, v pôde a v biologických materiáloch.

Keďže o interakciách ťažkých kovov s vodou a pôdou sme sa už zmienili, spomenieme ďalej aj interakciu s ďalším základným elementom života – vzduchom. Ťažké kovy sa do ovzdušia dostávajú z antropogénnych alebo prírodných zdrojov a sú väčšinou viazané na časticiach atmosférického aerosolu, ktoré prenikajú do ľudských dýchacích orgánov (Vojtěšek et al., 2009). Pre ľudský organizmus sú najnebezpečnejšie

aerosólové častice v ovzduší menšie ako 10 μm prenikajúce do dýchacieho traktu, pričom častice menšie ako 2,5 μm sa ľahko dostanú až do pľúcnych alveol (Brunekreef, 2002). To predstavuje vysoké zdravotné riziko (Alvarez, 2004). V USA a v Európe bol zaznamenaný úbytok lesov, spôsobený atmosférickými popolčkami – okrem iného aj ťažké kovy naviazané na aerosóle, pochádzajúcom z priemyselných zdrojov (Gawel et al., 1996). Jednotlivé kovy sa líšia formou v ktorej sú na aerosól naviazané, ďalej rozpustnosťou vo vode, a tým aj mierou toxicity. Nikel a kadmium majú vysoký potenciál biodostupnosti. Hliník, železo, mangán a kobalt sa nachádzajú väčšinou vo forme uhličitanov alebo oxidov (Vojtěšek et al., 2009). Olovo, meď, nikel a chróm boli zistené vo frakcii oxidov a kadmium viazané na organickú hmotu (Fernandez, 2000).

Medzi prírodné zdroje ťažkých kovov v aerosóle patrí napríklad pôdna erózia, morská soľ, geologické procesy (sopečná činnosť), minerály a horniny a z antropogénnych zdrojov sú to napríklad spaľovacie motory (doprava, spaľovne, elektrárne), priemyselná činnosť (metalurgia, vysoké pece) a prach z povrchov vozoviek (Vojtěšek et al., 2009).

Koncentrácia kovov na aerosólových časticiach sú značne premenlivé a závislé od ročného obdobia, meteorologických podmienok, umiestnenia posudzovanej lokality, diaľkového transportu a emisných zdrojoch (Ledoux et al., 2007). Aerosól sa delí na jemnú frakciu (častice menšie ako 2,5 μm), ktorá obsahuje prevažne kovy antropogénneho pôvodu (kadmium, zinok a olovo) a hrubú frakciu (častice väčšie ako 2,5 μm), tá obsahuje prevažne kovy prírodného pôvodu (hliník, kremík, vápnik, titán, železo, sodík, horčík a mangán) (Vojtěšek et al., 2009).

Spodiny z ohňostroja zvyšujú vo vzduchu koncentráciu bária, draslíka, olova, antimónu, stroncia, medi a horčíka (Wang et al., 2007).

Kotle na spaľovanie uhlia a spaľovne produkujú emisie od vápnika, železa, vanádu, niklu, zinku, olova, chrómu, mangánu, ortuti, medi až po striebro a antimón (Morawska et al., 2002).

Z emisií benzínových motorov boli zistené chróm, mangán, železo, kobalt, nikel, meď, zinok, kadmium, bárium a olovo (Morawska et al., 2002).

2.6.2 Kadmium vo vzťahu k rastlinám

Aj napriek tomu, že kadmium nie je potrebné pre rast a vývin rastlín, je nimi prijímané. Kadmium je prijímané z pôdy a akumulované v koreňovom systéme. Ďalej podlieha transportu rastlinnými pletivami a dostáva sa do rastlinných orgánov, napríklad do zrna sa dostáva ľahšie ako ostatné ťažké kovy (Zaujec, 1999). Kadmium sa najčastejšie vyskytuje vo forme Cd^{2+} , pri vyšších hodnotách pH môže vytvárať aj komplexné ióny alebo organické cheláty. Korene rastlín nepredstavujú prekážku pre prestup kadmia do rastlín a transfer do nadzemných častí a to tak v netoxických ako aj vo fytotoxických podmienkach (Chreneková et al., 1994). Prijateľnosť kadmia je ovplyvnená hodnotou pH pôdy, pôdnou sorpčnou kapacitou, teplotou a vlhkosťou pôdy, ale aj hnojením priemyselnými hnojivami (Sokol et al., 1998).

Medzi negatívne prejavy vysokej koncentrácie kadmia na rastliny patrí podľa Makovníkovej et al. (2006) :

- zníženie fotosyntetickej aktivity, pri súčasnom zvýšení respiračných procesov
- poškodenie membránových systémov
- chloróza a nekróza listov
- celkový pokles hmotnosti biomasy s potenciálnym znížením výnosov o 5 – 22%.

Prijem kadmia je tiež závislý od rastlinného druhu, pričom niektoré rastliny sú veľmi citlivé na jeho príjem, ďalšie už menej. Rastliny ako napríklad cirok metlový, láskavec, konopa siata, kukurica, peniažtek roľný, vodné rastliny a tabak bývajú často označované za hyperakumulátory kadmia (Vollmannová, 2006). Zemiaky pestované na pôdach zaťažených kontamináciou kadmia vykazovali zníženú koncentráciu vitamínu C aj kyseliny chlorogénovej (polyfenolická látka) oproti zemiakom pestovaným na nekontaminovanej pôde (Halajsová et al., 2005).

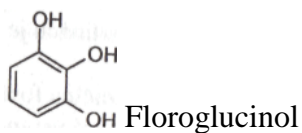
2.7 Polyfenolické látky

Rastlinná ríša produkuje obrovské a značne odlišné množstvá organických látok – sekundárnych metabolitov, ktoré nemajú síce charakter esenciálnych látok potrebných pre prežitie samotného organizmu, ale majú zásadný význam pre prežitie biologického druhu, a tým i pre fylogenetický vývoj v prírode (Harmatha, 2002) Polyfenolické látky si vytvárajú rastliny na svoju obranu proti škodcom a chorobám, pretože mnohé z nich majú značnú fungicídnu, baktericídnu aj virocídnu účinnosť, chránia embryo klíčku pred škodlivými vlnovými dĺžkami ultrafialového žiarenia.. Medzi neesenciálne sekundárne metabolity s potenciálnym antioxidantným pôsobením patrí aj skupina fenolických a polyfenolických látok (Timoracká et al., 2009).

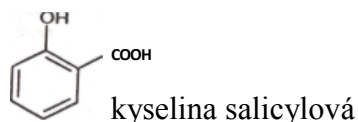
Rastlinné polyfenoly sú látky rozšírené takmer vo všetkých rastlinách, prevažne v listoch, kvetoch, semenách, plodoch, v patologických útvaroch, a tiež v produktoch rastlinného pôvodu, napríklad med, propolis a víno. Skupina polyfenolov zahŕňa rozsiahlu a rôznorodú škálu zlúčenín – od jednoduchých fenolických kyselín až po vysoko polymerizované taníny (Timoracká et al. 2009). Obsah a typ polyfenolických látok v rastlinnom materiáli je pomerne variabilný v závislosti od jednotlivých druhov plodín. Obsah polyfenolov je podmienený geneticky a tiež ovplyvňovaný pedoklimatickými, agronomickými alebo enviromentálnymi podmienkami. Zmeny obsahu fenolických látok v materiáli do značnej miery indukuje aj klíčenie, stupeň zrelosti, ale i technologické spracovanie a skladovanie rastlinných produktov (Drewnowsky, Gomez, 2000). Doteraz je známych viac ako 8000 fenolických látok, ale len niekoľko sto je ich identifikovaných v jedlých častiach rastlín (Timoracká et al. 2009). Flavonoidy (prevažne anthokyanidíny, flavonoly, flavony, katechíny, flavanoly, flavanonoly a flavanony), izoflavonoidy a ostatné polyfenoly (fenolkarboxylové kyseliny, ligniny, resp. dusík obsahujúce betalaíny a i.) sú silnými antioxidantmi, ktoré zachytávajú voľné radikály.

2.7.1 Základná štruktúra fenolických zlúčenín

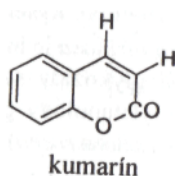
Jednoduché fenoly: majú aromatický kruh (benzénové jadro) s jednou alebo viacerými –OH (hydroxylovými) skupinami. Okrem toho môže tento aromatický systém niesť ďalšie substituenty, najmä –CH₃ (metylové) skupiny (Hess, 1983).



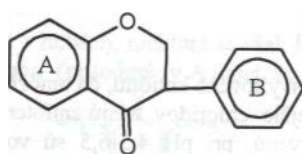
Fenolkarboxylové kyseliny: sú jednoduché fenolické látky s jednou karboxylovou (-COOH) skupinou.



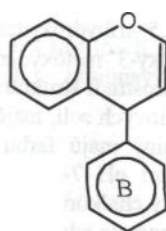
Fenylpropanové deriváty: majú uhlíkový skelet fenypropánu, t. j. aromatický systém s pripojeným postranným reťazcom tvoreným tromi atómami C. Sem patria napríklad kyselina škoricová, (kyselina p-kumárová, kávová, ferulová, sinapová) (Hess, 1983).



Flavanové deriváty (Flavonoidy): sú charakterizované flavanovým skeletom, ktorý je vytvorený z jedného aromatického kruhu A, jedného aromatického kruhu B a zo stredného heterocyklu s kyslíkom (Hess, 1983). Podľa oxidačného stavu tohto heterocyklu sa rozlišuje niekoľko tried flavonoidov (Masarovičová 2002). Tieto triedy sú flavanóny, flavonoly, antokyanidíny, flavan-3,4-dioly, katechíny, flavanonoly, flavány a flavóny (Hudec et al., 2002)



izoflavonoid

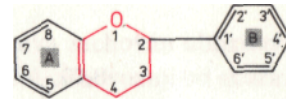


neoflavonoid

Všetky tieto zlúčeniny vystupujú väčšinou ako glykozidy alebo cukorné estery.

2.7.2 Flavanové deriváty

Flavanové deriváty inak povedané aj flavonoidy predstavujú najrozsiahljšiu skupinu fenolických látok (polyfenolov) (Masarovičová et al., 2002). Názov je odvodený z latinského flavus = žltý (Hess, 1983). Pre žltú farbu množstva zlúčenín s obdobnou štruktúrou ako základný flaván:



Skupinu je možné rozdeliť podľa oxidačného stavu stredového heterocyklu na niekoľko podskupín. Najčastejšie sú flavonoidy v rastlinách zastúpené vo forme glykozidov.

Chalkony síce nie sú pravé flavanové deriváty, pretože nemajú uzatvorený prostredný heterocyklus (Masarovičová et al., 2002) Veľmi ľahko však prechádzajú na pravé flavanové deriváty – flavanóny, najmä v kyslom prostredí (Hess, 1983). Pri syntéze flavanových derivátov majú ústredné postavenie. Vo forme glykozidov sa vyskytujú v žltých kvetoch zástupcov čeľadí *Asteraceae* a *Viaceae* (Hess, 1983).

Flavóny majú v stredovom heterocykle o jednu nenasýtenú (dvojitú) väzbu viac ako flavanóny. Príkladom sú flavón a jeho deriváty apigenín a kvercetín (Hudec et al., 2002).

Flavonoly vznikajú naviazaním jednej hydroxylovej skupiny na stredový heterocyklus v polohe 3. Vďaka flavonolovým glykozidom majú kvety belavé až bledožlté sfarbenie. Vyskytujú sa však v celom rastlinnom tele čo svedčí o ich určitých metabolických funkciách. Zúčastňujú sa regulácie hormonálneho metabolizmu rastlín (Masarovičová et al., 2002).

Flavan-3-oly (známejšie ako katechíny) a flavan-3,4-dioly (leukoantokyanidíny) sú prekursorami skupiny trieslovín. Polymerizujú sa na takzvané kondenzované taníny (Hess, 1983). Katechíny sú v rastlinnej ríši pomerne rozšírené, rovnako tak aj flavan-3,4-dioly. Dajú sa síce ľahko previesť na anthokyanidíny, avšak s ich syntézou to nemá súvis (Hess, 1983).

Antokyanidíny sú bezcukorné antokyány. Antokyán = antokyanidín + cukorná zložka. V rastlinách sa anthokyanidíny vyskytujú takmer vždy vo forme glykozidov. Glykozidácia prebieha na hydroxylovej skupine 3. atómu uhlíka. Rozdiel medzi jednotlivými anthokyanidínmi spočíva hlavne v odlišných substituentoch v polohách 3-5 na B kruhu základnej molekuly (Hess, 1983).. Izolované anthokyanidíny majú modrú až červenú farbu a sú jedným zo signálov využívaných pri lákaní opeľovačov (Masarovičová et al., 2002). Cukornú zložku najčastejšie predstavuje glukóza, rhamnóza, kyselina glukurónová, galaktóza alebo iný sacharid (Slanina, 2004).

2.7.3 Obsah polyfenolických látok v rastlinách

Za posledných desať rokov výrazne stúpol počet výskumov venujúcich sa problematike polyfenolických látok. Hlavným dôvodom je spoznanie antioxidantných vlastností polyfenolov a ich úloha v prevencii rôznych ochorení spojených s oxidačným stresom ako sú rakovina, kardiovaskulárne a neurodegeneratívne ochorenia (Juríková et al., 2009). Podľa Kaur a Geetha (2006) pravidelný prívod antioxidantov zabezpečí ochranu proti škodlivým účinkom voľných radikálov.

Výskum, ktorý vykonávali Baloghová, Paulovicsová a Turianica (2006) poukázal na synergické pôsobenie látok s antiradikálovým účinkom. Ich výskum sa zameriaval na stanovenie obsahu antokyánov (skupina polyfenolických látok), vitamínu C a antiradikálovej aktivity rôznych rastlinných materiálov. Konkrétne to boli čierne, červené a biele ríbezle, baza čierna, dve odrody mrkvy, žltá a zelená cuketa. Zistili, že všetky nimi sledované druhy ovocia a zeleniny, vrátane druhov s nižším obsahom vitamínu C a aj bez prítomnosti antokyánových farbív, sa vyznačujú pomerne významnou antiradikálovou aktivitou (mrkva a cuketa). Najvyšším antiradikálovým účinkom sa však vyznačujú rastliny obsahujúce aj vitamín C a aj antokyánové farbivo (červené, biele a čierne ríbezle). Tieto ich zistenia dokumentuje aj tabuľka č. 2

Tabuľka č. 2. (prevzaté z [www. agroporadenstvo. sk](http://www.agroporadenstvo.sk))

Obsah vitamínu C, antokyánov a antiradikálová aktivita sledovaných vzoriek

Vzorky	Obsah vitamínu C (mg/100g)	Obsah antokyánov (g/kg ⁻¹)	Antiradikálová aktivita EC ₅₀ (g)
Červené ríbezle (<i>Ribes rubrum L.</i>) Odroda Johnkeer Van Tets	41,71 ± 6,57	0,5245 ± 0,0044	0,4347 ± 0,292
Biele ríbezle (<i>Ribes vulgare L.</i>) Odroda blanka	33,72 ± 1,93	0,1175 ± 0,0044	0,5773 ± 0,013
Čierne ríbezle (<i>Ribes nigrum</i>)	57,74 ± 1,74	3,4283 ± 0,0088	0,7189 ± 0,0948
Baza čierna (<i>Sambucus nigra</i>)	376,2 ± 3,96	8,9637 ± 0,0715	0,8262 ± 0,0015

Cuketa zelená (<i>Cucurbita pepo</i> L. convar. <i>Girumontina</i> Greb.)	16,08 ± 0,96		0,9632 ± 0,1472
Cuketa žltá (<i>Cucurbita pepo</i> L. convar. <i>Girumontina</i> Greb.)	16,63 ± 6,01		0,845 ± 0,007
Mrkva (<i>Daucus carota</i> L.) Odroda Rubina	24,17 ± 0,81		0,7819 ± 0,0332
Mrkva (<i>Daucus carota</i> L.) Odroda Kalina	21,75 ± 0,67		0,8419 ± 0,0274

poznámka : EC₅₀ znamená množstvo antioxidantu potrebného na zníženie počiatkovej koncentrácie radikálu DPPH o 50%.

Podrobný výskum obsahu celkových polyfenolov a ich antioxidačnej aktivity v hľuzách zemiakov uskutočnil Lachman et al (2006).

Jednu z najrozšírenejších skupín antioxidantov predstavujú fenolové látky, z ktorých v zemiakoch je najviac zastúpená kyselina chlorogénová a jej izoméry a kyselina kávová (Lachman et al., 2006). Flavonoidy a pri farebných odrodách aj antokyány, sú zastúpené hlavne v bunkových vakuolách peridermu (Lachman et al., 2006). Antokyány sú prítomné buď ako neacylované glykozidy alebo ako glykozidy acylované prevažne kyselinou *p*-kumárovou (Eichhorn, 2005). Bola nájdená pozitívna korelácia medzi antioxidačnou aktivitou a obsahom celkových polyfenolov a antokyánov s záverom, že predovšetkým tieto látky hrajú podstatnú úlohu v antioxidačnej kapacite zemiakov (Reyes et al. 2005). K celkovej antioxidačnej aktivite prispievajú aj karotenoidy, pričom ich obsah je omnoho vyšší pri červeno a fialovo sfarbenej dužine ako pri bielej respektíve žltej dužine (Lachman et al., 2006). Celkový obsah polyfenolických látok je rozdielny v rôznych štádiách zrelosti, je ovplyvnený enviromentálnymi podmienkami alebo aj spôsobom a dávkami hnojiva (Lachman et al., 2006). Z poľných pokusov, ktoré vykonali Lachman et al. (2006) vyplýva, že vplyv stanovišťa na obsah celkových polyfenolov a s tým súvisiaca aj antioxidačná antiradikálová aktivita je len minimálny. Mierne zvýšený obsah celkových polyfenolov sa vyskytoval pri

zemiakoch pestovaných v ťažších pôdnoklimatických podmienkach, oproti tým z priaznivejšími podmienkami.

Vplyv hnojenia sa nebol štatisticky významným faktorom, len u varianty s zvýšenou dávkou draslíka a horčika bol zaznamenaný pokles obsahu celkových polyfenolov.

Najvýznamnejší vplyv na obsah celkových polyfenolov mala odroda. Pričom odrody s fialovo sfarbenou dužinou dosiahly preukázateľne vyšší obsah celkových polyfenolov oproti odrodám s žltou sfarbenou dužinou. Odrody s fialovou dužinou obsahovali v priemere oproti odrodám s žltou dužinou o 58% viac celkových polyfenolov (Lachman et al., 2006). Takisto aj antioxidačná antiradikálová aktivita vykazovala pri odrodách s žltou dužinou pokles o 57,9 až 65% oproti tým s fialovou dužinou (Violette a Valfi). To súvisí práve s obsahom celkových polyfenolov (Lachman et al., 2006).

Na bobuľovité ovocie konkrétne na plody zimolezu jedlého (*Lonicera caerulea L*), ako perspektívny zdroj fytochemikálií sa vo svojom výskume zamerali Jan Heinrich a kol. Podľa, ktorých je bobuľovité ovocie bohatým zdrojom kyseliny askorbovej (vit. C) a fenolových zlúčenín obzvlášť fenolových kyselín, anthokyánov a proantokyanídnov. Tieto zlúčeniny poskytujú ovociu typické sfarbenie zároveň vykazujú priaznivý účinok na ľudský organizmus. Ich biologická aktivita môže znížiť riziko vzniku niektorých nádorových a kardiovaskulárnych ochorení. Boli takisto dokázané ich protinádorové, antimikrobiálne, protizápalové a antimutagénne vlastnosti (Gross, 1999). Antokyány a proantokyanídy vykazujú antibakteriálne vlastnosti a schopnosť inhybovať adhéziu baktérií na stenách močových ciest (Howell, 2002). Antokyány bobuľovitého ovocia tiež udržiavajú priepustnosť ciev a znižujú agregáciu krvných doštičiek, schopnosť regulovať priepustnosť (permeabilitu) cievnych kapilár bola základom ich definície ako vitamínu P (Heinrich et al., 2008). Extrakty bobuľovitého ovocia bohatého na antokyány sú spájané s zlepšením symptómov neurologických ochorení v starobe a zvýšením rezistencie červených krviniek proti oxidačnému stresu *in vitro* (Rechner, 2002). Bolo preukázané zníženie oxidačného poškodenia ľudských lipoproteínov vyvolaného mednatými iónmi fenolovou frakciou izolovanou práve z *Lonicera caerulea* (Heinrich et al., 2008). Všetky tieto priaznivé vplyvy polyfenolických látok sú podporené ich vysokým obsahom v plodoch drobného ovocia od 2850 mg (muchovník *Amelanchier ovalis*) po 5420 mg. kg⁻¹ (zimolez jedlý) (Heinrich et al., 2008). Najpočetnejšie zastúpenými fenolickými látkami v plodoch zimolezu sú kys. *m* – kumárová a z antokyanídnov to je kyanidín – 3 – glukosid (Heinrich et al., 2008).

Pri popise rastlinných polyfenolických látok nemožno opomenúť známy príklad „francúzskeho paradoxu“, teda pri relatívne vysokom obsahu tukov v potrave sa vykazuje

nízka mortalita na kardiovaskulárne ochorenia vo Francúzsku. Kde sa ako jedno z pravdepodobných vysvetlení tohto javu spomína zvýšený príjem červeného vína, ktoré je zvlášť bohaté na obsah polyfenolov (Slanina, 2004).

Ako sme už uvádzali hlavnými zdrojmi polyfenolických látok sú prevažne ovocie a zelenina, ale zdrojom polyfenolických látok sú aj potraviny a nápoje (rastlinného pôvodu). Orientačný obsah polyfenolických látok v bežne konzumovaných potravinách uvádzame v tabuľke č. 3.

Tabuľka č. 3 (prevzaté z Slanina, 2004)

Potravina	Množstvo potraviny	Obsah polyfenolov		Hlavné polyfenoly
		HPLC	Folinovo činidlo	
Zemiaky	200 g	30 mg	60 mg	Kys. chlorogenová
Paradajky	100 g	10 mg	40 mg	Fenolové kyseliny
Jablká	200 g	240 mg	460 mg	Proantokyanidíny
Višne	50 g	280 mg	280 mg	Antokyány
Pšeničná múka	100 g	75 mg	75 mg	Ferulová kys.
Horká čokoláda	20 g	100 mg	170 mg	Proantokyanidíny
Červené víno	100 ml	100 mg	200 mg	Proantokyanidíny
Káva	200 ml	150 mg	180 mg	Kys. chlorogenová
Čierny čaj	200 ml	140 mg	200 mg	katechíny

2.7.4 Negatívne vplyvy polyfenolických látok

Značná rozmanitosť chemických štruktúr týchto látok je prirodzene dôvodom, pre ktorý nemožno považovať absolútne všetky polyfenolické látky len za všeobecne prospešné. Biodostupnosť a biotransformácia sú faktory, ktoré významnou mierou limitujú fyziologické účinky rastlinných polyfenolov (Slanina, 2004). Takisto aj dlhodobý efekt a bezpečnosť rastlinných polyfenolov v dávkach, ktoré prevyšujú obsah v strave (napr. rôzne potravinové doplnky), nie je známa (Skibola, 2000). Reakcie polyfenolov s bielkovinami majú okrem iného za následok napríklad vznik nežiadúcich komplexov v pive, čo znižuje koloidnú stabilitu piva (Karabín et al., 2006).

Niektoré polyfenolické látky vykazujú vo vysokých koncentráciách rad nepriaznivých účinkov, napríklad preoxidačný, mutagénny a genotoxická aktivita (Slanina, 2004).

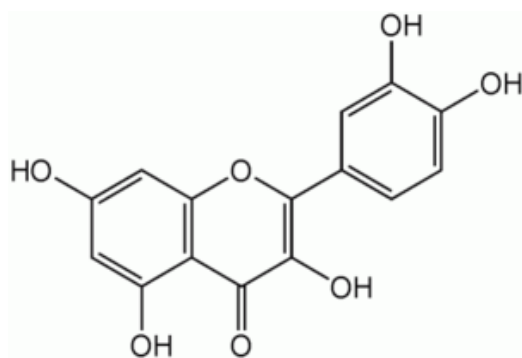
2. 7. 5 Antioxidačný účinok flavonoidov

Flavonoidy sú pomerne širokou skupinou sekundárnych metabolitov rastlín s mnohými biologickými účinkami (Dlugošová, et. Pšenáková, 2004). Sú to exogénne nízkomolekulové zlúčeniny, ktorých chemická povaha závisí od štruktúry, stupňa hydroxylácie, ďalších substitúcií a konjugácií a od stupňa polymerizácie (Aherne a O' Brien, 2002). Flavonoidy majú antioxidačný účinok silnejší ako vitamín C a E (Prior a Cao, 2000). Ovplyvňujú účinok reaktívnych kyslíkových radikálov na rôznych úrovniach (Dlugošová, et. Pšenáková, 2004) :

- 1) ako účinné lapače alebo zhášače voľných radikálov inhibujú lipidovú peroxidáciu.
- 2) majú chelatačné účinky, tvoria komplexy s kovmi, ktoré by vo voľnej forme mohli viesť k zvýšenej tvorbe reaktívnych foriem kyslíka
- 3) inhibujú enzýmy kaskády kyseliny arachidónovej a aj týmto spôsobom znižujú tvorbu reaktívnych foriem kyslíka
- 4) spolupracujú s antioxidačnými vitamínmi a karoténmi (A, E, β -karotén), zvyšujú ich účinok a znižujú ich degradáciu.

2. 8 Najvýznamnejšie polyfenolické látky v Láskevci a Slničnici

Kvercetin :

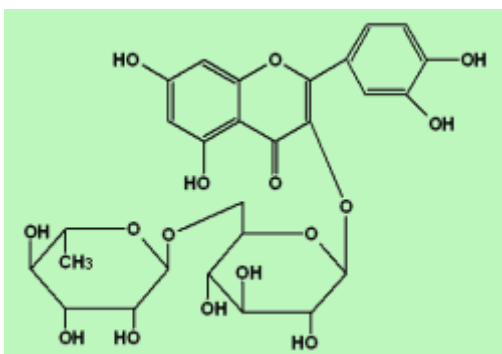


Chemická štruktúra - molekulová hmotnosť 302.236 g / mol - molekulový vzorec $C_{15}H_{10}O_7$

Je to štruktúrou aglykón, to znamená že v molekule neobsahuje cukornú zložku. Bol spolu s rutínom objavený v citrusových plodov a cibuli. Kvercetin tvorí s glykozidmy rutín, podielajú sa na tom kvercitrín spoločne s ramnózou a rutinózou, resp. glukózou.

O kvercetine sa zistilo, že je v laboratórnych podmienkach najaktívnejší z flavonoidov, a množstvo liečivých rastlín vďaka za veľa z ich liečivej aktivity práve vysokému obsahu kvercetinu. Kvercetin preukázal významnú protizápalovú aktivitu, pretože priamo inhibuje niekoľko počiatočných zápalových procesov. Napríklad obmedzuje, tak produkciu a uvoľňovanie histamínu ako aj iných alergických respektíve zápalových mediátorov. Okrem toho pôsobí silne antioxidantne. Zároveň zvyšuje aktivitu a aj chráni vitamín C. Kvercetin môže mať pozitívny vplyv aj tým, že pomáha predchádzať rakovine prostaty, srdcovým ochoreniam, šedému zákalu, alergiám a zápalom a ochoreniam dýchacích ciest ako je bronchitída a astma. Taktiež má antidepresívne vlastnosti. Znižuje výskyt lipoproteínov s nízkou hustotou (LDL) ako aj ich následnú oxidáciu (Kumar et. al., 2009), kvercetin v kombinácii s ďalšími flavonoidmi brzdí množstvo enzýmov, ako je bradykinín, tyrozín kináza, a 5'-nukleotidázy (Kumar et. al., 2009). Rutin a kvercetin ukázali regulačnú činnosť hormónov, ako aj vplyv na transport, metabolizmus a činnosť hormónov štítnej žľazy (Kumar et. al., 2009).

Rutin:



Rutín je bioflavonoid. Čistý rutín je žltý alebo žlto-zelenej farby. Vytvára kryštál v tvare ihly. Rutín je glykozid flavonoidov skladá z kvercetinu a disacharidu rutinózy (prípadne ramnózy a glukózy). Rutín bol nájdený v mnohých druhoch ovocia a zeleniny. Jeho najbohatším zdrojom je pohánka. Rutín bol tiež nájdený v citrusových plodoch, čiernom čaji a jablkových šupkách. Počas trávenia sa veľa rutínu metabolizuje na jeho aglykón kvercetin. Rutín

má silné antioxidačné vlastnosti. Rutín má tiež vlastnosť chelatacie kovových iónov ako je železo, čím sa zníži Fentonovareakcia (produkcia škodlivých kyslíkových radikálov). Rutín prispieva k stabilizácii vitamínu C. Ak sa rutín užíva spolu s vitamínom C, bude činnosť kyseliny askorbovej intenzívnejšia. Rutín posilňuje cievne kapiláry a môže pomáhať ľuďom, ktorí majú modriny, alebo ľahké krvácanie. Štúdie preukázali, že rutín môže pomôcť zastaviť žilový edém, ktorý je prvou známkou chronických ochorení žilových končatín.

Rutín má antizrážanlivý efekt. Existujú náznaky, že rutín môže inhibovať niektoré rakovinové podmienky. Ako aj podmienky vedúce ku vzniku rakoviny.

Rutín môže pomôcť zabrániť ateroskleroze a znížiť cytotoxicitu oxidovaného LDL - cholesterolu (<http://www.phytochemicals.info/phytochemicals/rutin.php>)

3 Cieľ práce

- zosumarizovať poznatky o ťažkých kovoch a ich pôsobení na biotické systémy, so zameraním sa na kadmium
- zosumarizovať poznatky o vstupoch kadmia do rastlín a možných prienikoch do potravného reťazca
- zosumarizovať poznatky o polyfenolických látkach a ich pôsobení v rastlinách, respektíve v potravinách
- vyhodnotiť vplyv kadmia na obsah celkových polyfenolických látok v láskavci chvostnatom a slnečnici ročnej

4 Materiál a metódy

4.1 Forma experimentu

Pre náš experiment sme zvolili formu nádobového pokusu. V pokusných nádobách bola umiestnená vzorka stredne ťažkej pôdy odobratá z okolia obce Výčapy opatovce, do ktorej boli zasadené skúmané plodiny (*Amaranthus caudatus*, *Helliantus annus* L). Časť z odobranej pôdy sme podrobili chemickému rozboru. Pôda v pokusných nádobách bola zmiešaná s pieskom (5 kg pôdy + 1 kg kremičitého piesku), hnojená superfosfátom (NPK) 22 g, tak aby boli vysoké obsahy N,P,K v pokusnej pôde. Ďalej KCl (60 %) 4,9 g a močovinou 4,2g. Pôdu sme postupne zaťažovali rôznymi množstvami kadmia vo forme vo vode rozpustnej soli dihemihydrát chloridu kademnatého $\text{CdCl}_2 \cdot 2 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ (vo variante B : 4,6 mg Cd . kg⁻¹, vo variante C : 9,1 mg Cd . kg⁻¹, vo variante D : 13,5 mg Cd . kg⁻¹), účinky ktorého sme sledovali na pestovaných plodinách.

4. 1. 1 Nádobový pokus, pôda z lokality Výčapy (5 kg + 1 kg piesku)

Hnojenie v nád. : močovina – 4,2 g

Superfosfát – 22 g

K⁺ soľ 60 % - 4,9 g

Plodiny : 1, slnečnica Alzan

2, amarant

Tab.č 4. Varianty použitej kontaminácie pôdy kadmikom

variant	Hnojenie/Cd	Plodina (čísla nádob)	
		Slnečnica 10 ks semien	Amarant 1 cm ³ semien
A	NPK	1 – 4	17 - 20
B	NPK + 4,6 mg Cd. kg ⁻¹	5 – 8	21 – 24
C	NPK + 9,1 mg Cd.kg ⁻¹	9 – 12	25 – 28
D	NPK + 13,5 mg Cd. kg ⁻¹	13 - 16	29 – 32

4.2 Chemické analýzy pôdy

4. 2. 1 Agrochemická charakteristika pôdy

Na začiatku sme odobrali vzorky pôdy, ktorú sme následne použili na nádobové pokusy v ktorých sme pestovali rastliny. Pôdu sme odobrali v lokalite Výčapy a stanovili sme v nej základné agrochemické charakteristiky. Pôdne vzorky sme podľa potrieb homogenizovali a upravovali ešte pred samotnou analýzou. Úprava pôdy začala jej vysušením a následným pomletím na pôdnom mlyne VEB Thurm ZG1 nemeckej výroby na úroveň jemnozeme I. (sitá s priemerom ôk 2 mm) a úroveň jemnozeme II. (sitá s priemerom ôk 0,125 mm). Pre stanovenie pôdnych vlastností si jednotlivé analýzy vyžadovali rôznu zrnitosť pôdy. Jemnozeme II. Sme použili na stanovenie ťažkých kovov vo výluhu lúčavky kráľovskej, ďalej na stanovenie humusu a obsahu organického uhlíka. Na ostatné analýzy sme použili zrnitosť jemnozeme I.

Tab. č 5 Nádobový pokus hodnotenie makroelementov (mg.kg^{-1}) a percentuálny podiel organického C a Humusu

Vzorka	K	Ca	Mg	P	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	pH_{KCl}	N	C_{ox}	HUMUS
Výčapy	212,5	1495,5	265	19,86	5,98	4,36	2975	1,527	2,633

Obsah prítomných makroelementov stanovených metódou Mehlich II podľa ÚKSUP Bratislava – Zvolen 1995 sme vyhodnotili nasledovne: obsah prístupného draslíka je hodnotený ako dobrý; obsah prístupného horčíka ako vysoký; a obsah prístupného fosforu ako malý. Ďalej sme hodnotili aj obsah humusu podľa kódexu správnej poľnohospodárskej praxe SR 1994 MP SR, tak že jeho hodnota je stredná a pH pôdnej reakcie ako pH_{KCl} bolo extrémne kyslé.

4. 2.2 Stanovenie aktívnej pôdnej reakcie (pH/H₂O)

Z vopred pripravenej jemnozeme I. sme odobrali 20 g, ktoré sme použili na stanovenie aktívnej pôdnej reakcie, pričom sme k pôde pridali 50 cm² redestilovanej vody. Túto suspenziu sme nechali trepať na trepačke HS 250 *basic nemeckej firmy IKA LABORATORTECHNIK*, použitá frekvencia 180 kmitov za minútu. Po pretrepaní a následnom usadení suspenzie sme vo filtráte merali reakciu na pH metri MATREHORM 691 švajčiarskej výroby. PH meter sme pred použitím nakalibrovali na dva tlmivé roztoky z rôznou úrovňou pH v závislosti od predpokladanej hodnoty s pH 4 a 7 alebo pH 7 a 9. Hodnoty sme odčítali z displeja pH metra s presnosťou na 2 desatinné miesta.

4. 2. 3 Stanovenie výmennej pôdnej reakcie (pH/KCl)

Pôdnu vzorku, ktorá slúžila na zistenie výmennej pôdnej reakcie (pH/KCl) sme pripravili obdobným postupom ako pri stanovení aktívnej pôdnej reakcie. Rozdiel spočíval v roztoku, ktorý sme použili na zaliatie pôdy. Na zalievanie sme použili roztok KCl ($c = 1 \text{ mol. Dm}^{-3}$). Reakcia prípravy KCl je endotermická, čiže dochádza k ochladzovaniu roztoku a preto je ho potrebné nechať vytemperovať na laboratórnu teplotu, tak aby bolo možné pripraviť roztok s presnou koncentráciou. Po zaliatí je postup obdobný ako pri zisťovaní aktívnej pôdnej reakcie.

4. 2. 4 Extrakcia pôd roztokom HNO₃

Do uzavretých plastových nádobiek o objeme 100 cm³ sme navážili 5 g jemnozeme I. Po pridaní 50 cm³ HNO₃ ($c = 2 \text{ mol/dm}^3$) sme nádobu premiešali a uzatvorili. Vzniknutú suspenziu sme nechali 2 hodiny trepať. Po extrakcii sme pôdnu suspenziu prefiltrovali cez filtračný papier (stredná pórovitosť) do suchej odmernej banky 100 cm³. Prvý podiel filtrátu sme vyliali. Súbežne sme robili aj slepý pokus. Vzorky sme potom zmerali na prístroji AAS. Táto metodika bola platná do roku 2004. Vykonali sme ju z dôvodu určenia podielu potenciálne prístupných foriem z celkového obsahu určených v pôde.

Tab č. 6. Limitné hodnoty pre niektoré rizikové látky v pôdach (MP SR č. 531/1994 – 50) v pôdnom extrakte HNO_3

Prvok	Cr	Cu	Pb	Cd
A_1 (mg/kg)	10	20	30	0,3

4. 2. 5 Stanovenie „rastlinám prístupného“ pôdneho fosforu, draslíka, horčíka a mobilnej formy pôdneho vápnika v pôdnom výluhu MEHLICH II

4. 2. 5. 1 Príprava výluhu MEHLICH II.

Do odmernej banky (1000 cm^3) sme za stáleho miešania pridávali kyselinu octovú $11,5 \text{ cm}^3$, chlorid amónny $10,7 \text{ g}$, fluorid amónny $0,56 \text{ g}$ a 1 cm^3 koncentrovanej HCl . Odmernú banku sme doplnili po značku destilovanou vodou.

Pracovný postup

5 g jemnozeme I. sme navážili do uzatvárateľných PE nádobiek o objeme 100 cm^3 . Pridali sme výluh MEHLICH II. nádobku uzavreli a premiešali. Po 10 min extrakcie sme pôdnu suspenziu filtrovali cez filtračný papier FILTRAK 390, prvý podiel filtrátu odstránili a súbežne so vzorkami robili i slepý pokus. Vzhľadom k prítomnosti fluoridového iónu bolo nutné stanoviť vo filtráte minimálne do 24 hod fosfor a najneskôr na druhý deň ostatné makroelementy. Pred vlastným stanovením draslíka, horčíka a vápnika sme výluh riedili (2 cm^3 do 50 cm^3 odmernej banky) a doplnili destilovanou vodou po značku. Vzorky sme zmerali metódou AAS na prístroji VARIAN AA 240 FS.

4. 2. 6 Stanovenie obsahu ťažkých kovov vo výluhu lúčavkou kráľovskou

Limitné hodnoty pre obsah rizikových ťažkých kovov sme v použitej pôde určili v pôdnom výluhu lúčavky kráľovskej. Lúčavka kráľovská ($\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HCl}$ v pomere 1:4) je extrakčné činidlo schopné z pôdnej vzorky vyextrahovať takmer všetky ťažké kovy. Nie je však schopná rozrušiť silikátové a alumosilikátové mriežky pôdnych častíc a preto kovy, obsiahnuté v týchto pôdnych štruktúrach do výluhu neprechádzajú.

Pracovný postup

1 g jemnozeme II. sme kvantitatívne preniesli do varných baniek a pridali 2-3 cm³ destilovanej vody, následne lúčavku kráľovskú. Zmes sme nechali 24 hod. postáť. Suspenzia sa 2 hod. extrahovala pri vare. Potom sa pôdna vzorka prefiltrovala cez filtračný papier ovlhčený 10 % HNO₃. Filtrát sme doplnili na objem 100 cm³ a v roztoku stanovili obsah ťažkých kovov pomocou metódy AAS na prístroji VARIAN AA 240 FS.

4. 2. 7 Stanovenie C org. a humusu v pôde podľa Ľurina v modifikácii podľa Nikitina

Pôdny organický uhlík je oxidovaný kyslíkom z chrómsírovej zmesi. Množstvo spotrebovaného kyslíka na oxidáciu je stanovené na základe rozdielu v spotrebovanej a nespotrebovanej chrómsírovej zmesi. 0,1 g pôdy jemnozeme II. sme navážili do Erlenmayerovej banky (ďalej len EMB). Pridali sme k nej 0,1 g Ag₂SO₄ a 10 cm³ pripravenej chrómsírovej zmesi (K₂Cr₂O₇ + H₂SO₄) pomocou automatickej pipety. Obsah banky sme opatrne premiešali, tak aby sa vzorka zeminy nemohla prilepiť na steny EMB. Súčasne sme robili 3 slepé pokusy. EMB sme potom vložili na 20 minút do termostatu WTC binder pri teplote 150 °C. Po vybratí z termostatu a ochladení vzoriek by mal mať ich obsah hnedú až oranžovo žltú farbu. V prípade zelenej farby to nasvedčovalo na nedostatok chrómsírovej zmesi. Po ochladení sme vzorky titrovali Móhrovou soľou. Móhrova soľ je 0,1 mol.dm⁻³ roztok (NH₄)₂SO₄ a FeSO₄ x 6 H₂O. Ako indikátor sme použili difenylamín 5 kvapiek.

Získanú hodnotu dosadíme do vzorca na výpočet obsahu % C_{ox}.. Obsah humusu získame výpočtom podľa vzorca.

$$\% C_{ox} = \frac{(a-b) \cdot 0,03 \cdot 1,17 \cdot f_{Mohr}}{n}$$

Kde:

- (a-b): je rozdiel medzi vzorkou a slepým pokusom,
- f_{Mohr}: je zried'ovací faktor Móhrovej soli,
- n: je navážka vzorky pôdy.

$$\% \text{ Humusu} = \% C_{\text{ox}} \cdot 1,724$$

Kde:

- $\% C_{\text{ox}}$ je percentuálny obsah oxidovateľného uhlíka,
- 1,724 je prepočtový koeficient na obsah humusu vo vzorke pôdy.

4. 2. 8 Stanovenie percentuálneho podielu sušiny

Obsah sušiny v rastlinnom materiály sme stanovili použitím prístroja ULTRA X využívajúcom infračervené žiarenie.

4. 2. 9 Stanovenie obsahu celkových polyfenolov

Obsah celkových polyfenolov vo vzorkách sme stanovovali spektrofotometrickou metódou podľa Lachmanna (2003). Do odmernej banky (50 cm^3) sme napipetovali $0,05 \text{ cm}^3$ extraktu a vzorku zriedili destilovanou vodou. Pridali sme $2,5 \text{ cm}^3$ Folin-Ciocalteuovho činidla. Nechali 3 min. stáť a pridali $7,5 \text{ cm}^3$ 20 %-tného vodného roztoku Na_2CO_3 . Odmernú banku sme doplnili po risku destilovanou vodou. O 2 hod. sa následne tvoril farebný komplex a zároveň so vzorkou sme pripravili aj kalibračnú krivku za použitia štandardných roztokov kyseliny galovej. Absorbanciu modrosfarbených roztokov sme merali pri $\lambda 765 \text{ nm}$ oproti slepému pokusu na spektrofotometrii Shimadzu UV/VIS – 1240. Výsledky sme prepočítali a vyjadrili ako mg kyseliny galovej na kg čerstvého rastlinného materiálu (Lachmann, 2003).

4. 2. 10 Atómová absorpčná spektrofotometria

Táto metóda je založená na meraní absorbcie monochromatického žiarenia atómov prvkov v základnom stave. Výhodou AAS je to, že v vzbuđenom stave je veľmi málo atómov a v nevzbuđenom stave veľa atómov. Pri atomizácii sa využívajú relatívne nízke teploty. Látky najviac absorbujú žiarenie tej vlnovej dĺžky, ktoré sú schopné vyžarovať. Vlnová dĺžka žiarenia, ktoré sa absorbuje voľnými atómami je pre daný prvok charakteristická.

4.3 Charakteristika plodín

4.3.1 Slničnica ročná (lat. *Helianthus annuus*)

Je jednoročná rastlina pôvodom zo Severnej Ameriky patriaca do čeľade astrovité (*Asteraceae*) s veľkým súkvetím. Stonka môže dorásť až do výšky 3 metrov, súkvetie (úbor) môže dosiahnuť priemer 30 cm s veľkými semenkami. *Koreňový systém* slnečnice je mohutný, bohato rozkonárený, hlavný kolový koreň preniká do hĺbky 1,5 m a viac, čo umožňuje rastline prijímať vodu a živiny z hlbších vrstiev pôdy a dobre odolávať suchu. Postranné korene rastú spočiatku paralelne s povrchom pôdy, neskôr sa asi vo vzdialenosti 100-400 mm od hlavného koreňa geotropicky ohýbajú smerom dolu. Prevažná časť koreňov sa rozprestiera v hĺbke 0,2-0,3 m pod povrchom pôdy. Vysokú výživnú hodnotu má najmä pre vysoký obsah esenciálnej kyseliny linolovej (až 70 %), obsah lyzínu a metionínu v bielkovinách a pre prítomnosť karotenoidov. Repkový olej obsahuje asi 25 % a sójový 45 až 50 % kyseliny linolovej, ktorá má v ľudskom organizme antikarcinogénne účinky, znižuje hladinu cholesterolu v krvi. Pri pokuse s rôznymi druhmi olejnín sa zistilo, že najviac Kadmia prijíma do zrna práve slnečnica (Harangozo et. al., 2008)

4.3.2 Láskevca (*Amaranthus*)

Amaranthus viridis Linn, patrí do rodiny *Amaranthaceae* a je tradične používaný pre liečbu zápchy, zápal, ekzémy, zápal priedušiek, chudokrvnosť, a malomocenstvo (Kumar et. al., 2009). Obsahuje veľké množstvo polyfenolov, z ktorých sa množstvo využíva v medicíne na zachovanie kapilárnej integrity (Kumar et. al., 2009). Najmä však rutín a kvercetín. Listy laskavca obsahujú významné množstvo vitamínu C, karotenoidných látok a rutínu. Láskevca obsahuje i ďalšie fyziologicky účinné látky ako sú napr. kvercetín, betalaín, saponíny, glykoalkaloidy a chlorofylové farbivá. Z listov laskavca je možné izolovať dokonca i pektín (Musilová et. al., 2008). Pri sledovaní obsahu flavonoidov v jednotlivých orgánoch rastliny bolo zistené, že najvyšší obsah je v listoch (0,2-0,75 %), menej je v kvetoch (0,05- 0,3 %) a v stonkách (okolo 0,2 %). V koreňoch sa flavonoidy nachádzajú len v stopových množstvách (Hozová, Moravčíková, 2005).

4. 4 Štatistické spracovanie výsledkov

Na popísanie základných štatistických charakteristík sme použili program excel. Kde sme vyhodnotili maximum, minimum, medián a smerodajnú odchýlku.

5 Výsledky práce

5.1 Obsah rizikových kovov v pôdnom extrakte lúčavkou kráľovskou

Tab. č. 7. Obsah vybraných ťažkých kovov v pôdnom extrakte lúčavkou kráľovskou ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Vzorka	Cr	Cu	Cd	Pb
Výčapy	31,8	45,8	0,9	22,2

Podľa z. č. 220/2004 Z.z. sme hodnotili takzvané pseudototálne obsahy nasledovných ťažkých kovov v pôde (v extrakte sa nenachádzajú formy viazané v silikátových štruktúrach). Použitý pôdny druh bol piesočnato-hlinitá, hlinitá pôda. Obsah chrómu, medi a olova neprekročil dané limitné hodnoty. Obsah kadmia (Cd) je 1,28 násobne prekročený pre jeho danú limitnú hodnotu v tomto type pôdy.

5.2 Obsah rizikových kovov v pôdnom extrakte HNO_3 ($c = 2 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)

Tab. č. 8. Obsah vybraných ťažkých kovov v pôdnom extrakte kyseliny dusičnej 2M HNO_3 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Vzorka	Cr	Cu	Cd	Pb
Výčapy	1,92	9,12	0,22	8,88

Podľa prílohy č. 1. rozhodnutia MP SR č. 531/1994 – 540 (stará legislatíva) o limitných hodnotách rizikových látok, kde sa jedná o potenciálne prístupné formy rizikových látok. Sme zistili že všetky nami sledované obsahy ťažkých kovov sú pod limitnými hodnotami, podľa tejto vyhlášky.

5. 3 Obsah vybraných ťažkých kovov v slnečnici ročnej

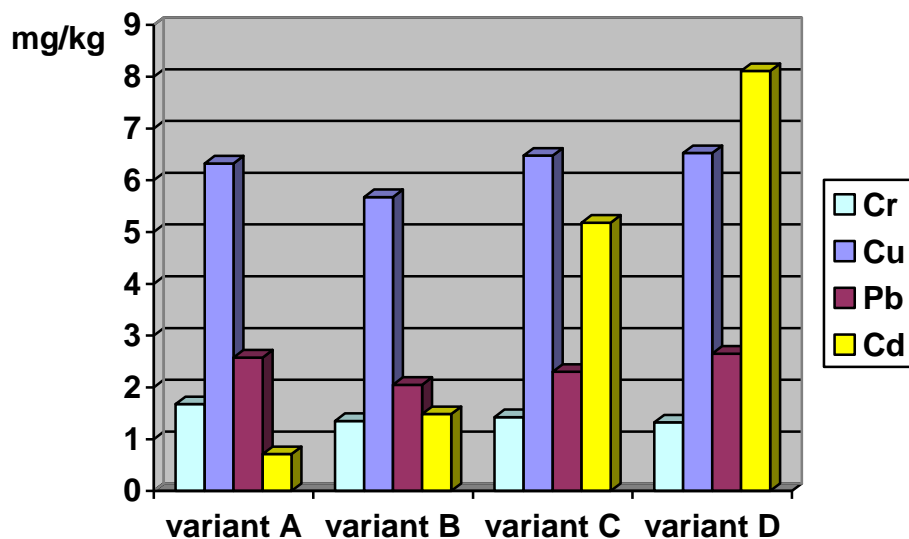
Tab.č. 9 Obsahy vybraných ťažkých kovov v slame slnečnice ročnej

(mg/kg)

Nádoba	Variant	Cr	Cu	Pb	Cd
1	A	1,7	6,6	3,0	0,86
2		1,9	7,6	2,9	0,57
3		1,4	5,2	2,2	0,66
4		1,7	5,9	2,2	0,76
5	B	1,3	5,8	1,9	1,58
6		1,2	5,9	2,2	1,42
7		1,4	5,3	2,2	1,45
8		1,5	5,7	1,9	1,49
9	C	1,5	5,8	2,5	5,3
10		1,3	5,1	2,6	6,42
11		1,5	8,1	2,4	4,11
12		1,4	6,9	1,7	4,89
13	D	1,1	6,6	2,5	7,32
14		1,2	6,4	2,7	10,90
15		1,4	6,9	2,7	8,02
16		1,6	6,2	2,7	6,20

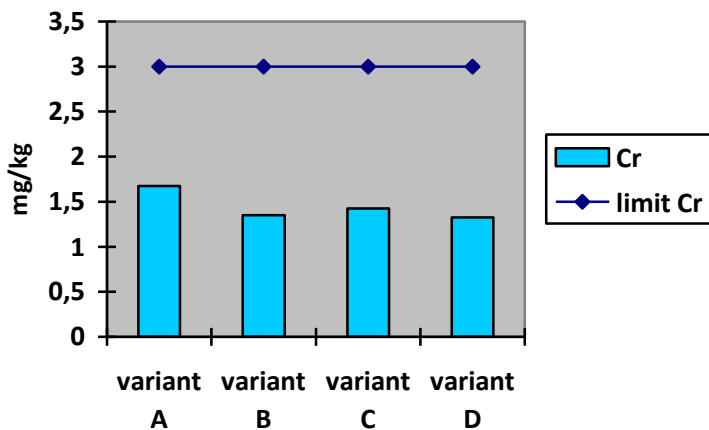
Podľa nariadenia vlády SR z.č. 220/2006 z 21. 6. 2006 o nežiadúcich látkach v krmovinách a iných ukazovateľoch bezpečnosti a použiteľnosti krmovín sme porovnali nami zistené hodnoty obsahu ťažkých kovov v slame slnečnice, a uviedli sme ich v tejto tabuľke č. 9. Rovnako sme ich porovnali aj s výsledkami ku ktorým dospel Vojtěšek et al.2009.

Graf č. 1 : Priemerné obsahy vybraných ťažkých kovov v slame slnečnice ročnej (mg/kg)



Synergický vplyv stúpajúceho obsahu kadmia na obsah ostatných ťažkých kovov, tu nie je pozorovateľný. Obsah kadmia v slame slnečnice stúpa úmerne k zvyšujúcej sa záťaži v pôde, najvyššiu priemernú hodnotu dosiahlo vo variante D.

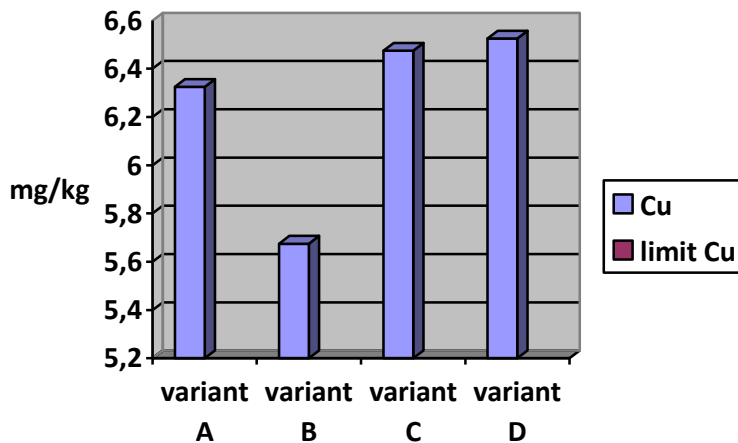
Graf č. 2 Zhodnotenie priemerných obsahov chrómu v slame slnečnice (mg/kg)



Podľa nariadenia vlády SR z.č. 220/2006 z 21. 6. 2006 o nežiadúcich látkach v krmovinách a iných ukazovateľoch bezpečnosti a použiteľnosti krmovín sme porovnali nami zistené hodnoty obsahu ťažkých kovov v slame slnečnice. A to nasledovne, zistili sme, že chróm v svojich priemerných hodnotách zodpovedal vo všetkých variantoch pokusu limitným hygienickým hodnotám. Jeho maximum bolo vo variante A (1,9 mg/kg sušiny), minimum

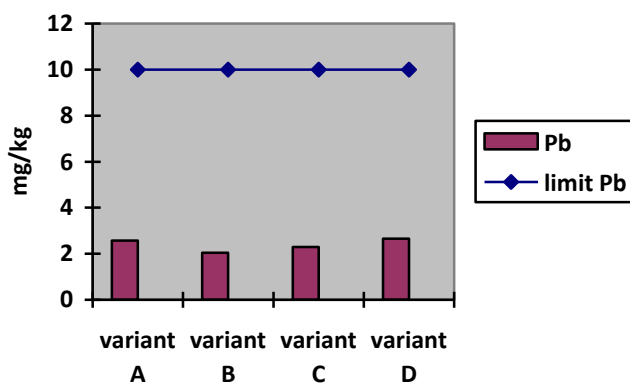
dosiahol vo variante D (1,1 mg/kg sušiny), stredná hodnota v rámci pokusu bola 1,44 mg/kg. A treba ešte povedať že jeho hodnoty neboli zaťažené výraznou chybou.

Graf č. 3. Zhodnotenie priemerných hodnôt medi v slame slnečnice (mg/kg sušiny)



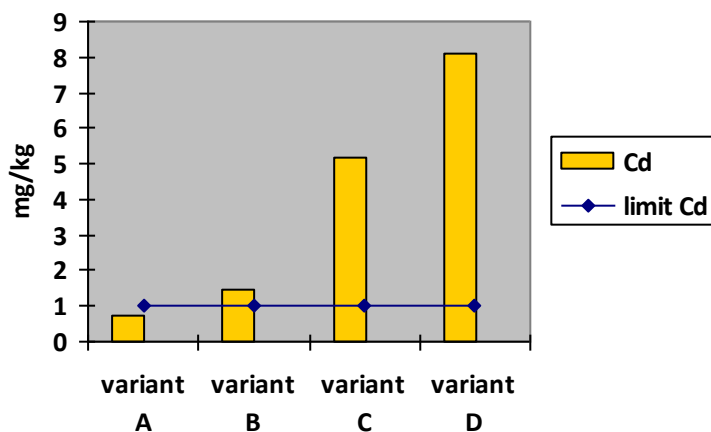
Podľa nariadenia vlády SR z.č. 220/2006 z 21. 6. 2006 o nežiadúcich látkach v krmovinách a iných ukazovateľoch bezpečnosti a použiteľnosti krmovín sme porovnali nami zistené hodnoty obsahu ťažkých kovov v slame slnečnice. Hygienická hodnota priemerných obsahov medi nie je podľa tohto zákona určená; respektíve svoje maximum dosiahla vo variante C (8,1 mg/kg), minimum takisto vo variante C (5,1 mg/kg), stredná hodnota v rámci pokusu dosiahla hodnotu 6,25 mg/kg a variant C bol zaťažený najväčšou chybou, určenou podľa smerodajnej odchýlky a to 1,31 bodu.

Graf č. 4. Zhodnotenie priemerných hodnôt olova v slame slnečnice (mg/kg sušiny)



Podľa nariadenia vlády SR z.č. 220/2006 z 21. 6. 2006 o nežiadúcich látkach v krmovinách a iných ukazovateľoch bezpečnosti a použiteľnosti krmovín sme porovnali nami zistené hodnoty obsahu ťažkých kovov v slame slnečnice. Priemerné obsahy olova spĺňali vo všetkých variantoch pokusu hygienické limity, respektíve jeho maximum bolo vo variante A (3,0 mg/kg), minimum vo variante C (1,7 mg/kg), stredná hodnota v rámci pokusu predstavovala hodnotu 2,39 mg/kg. A hodnoty neboli zaťažené výraznou chybou v žiadnom variante.

Graf č. 5 Zhodnotenie priemerných obsahov kadmia v slame slnečnice (mg/kg sušiny)



Podľa nariadenia vlády SR z.č. 220/2006 z 21. 6. 2006 o nežiadúcich látkach v krmovinách a iných ukazovateľoch bezpečnosti a použiteľnosti krmovín sme porovnali nami zistené hodnoty obsahu ťažkých kovov v slame slnečnice. Priemerné obsahy kadmia spĺňali pochopiteľne hygienickú normu len v rámci variantu A, inak boli jeho hygienické hodnoty prekročené nasledovne : variant B 1,485 násobne, variant C 5,18 násobne a variant D 8,11 násobne. Maximálnu hodnotu dosiahlo vo variante D (10,9 mg/kg), minimum vo variante A (0,57 mg/kg), stredná hodnota Cd pre celý pokus je 3,87 mg/kg. A iba variant D bol zaťažený výraznejšou chybou, určenou podľa smerodajnej odchýlky a to 2,0 bodu. Ku podobným výsledkom dospel aj Vojtěšek et al.2009.

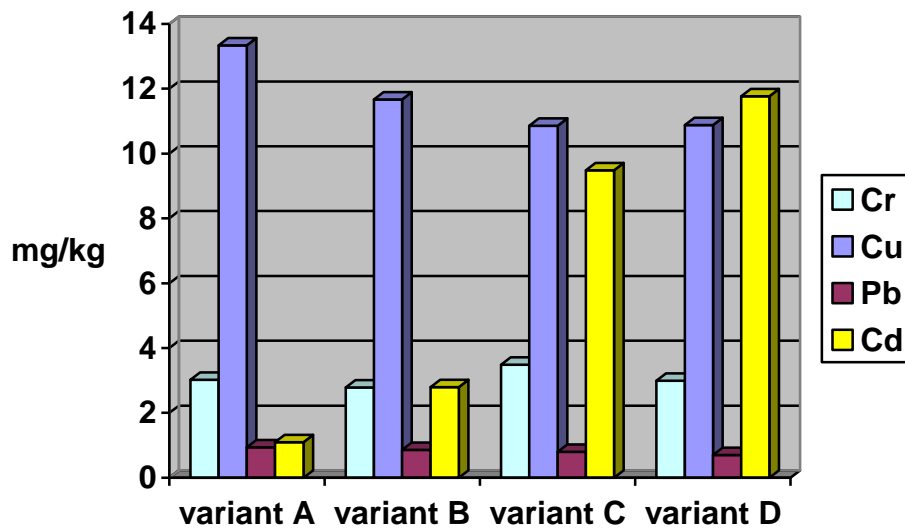
Tab. č. 10 Obsahy vybraných ťažkých kovov v zrne slnečnice ročnej

(mg/kg)

Nádoba	Variant	Cr	Cu	Pb	Cd
1	A	4,34	15,73	0,90	1,0
2		3,25	15,85	0,85	0,875
3		2,4	10,79	1,05	1,535
4		2,1	10,99	0,95	0,985
5	B	2,15	11,28	0,70	2,465
6		3,15	11,80	0,75	2,975
7		2,80	12,45	0,95	2,88
8		3,04	11,14	1,05	2,87
9	C	3,30	11,20	0,65	10,085
10		4,24	11,14	0,75	11,075
11		3,05	10,84	0,85	7,70
12		3,35	10,25	0,95	9,085
13	D	3,30	11,54	0,6	12,25
14		3,95	10,95	0,8	14,605
15		2,54	10,34	0,65	10,21
16		2,19	10,69	0,75	10,01

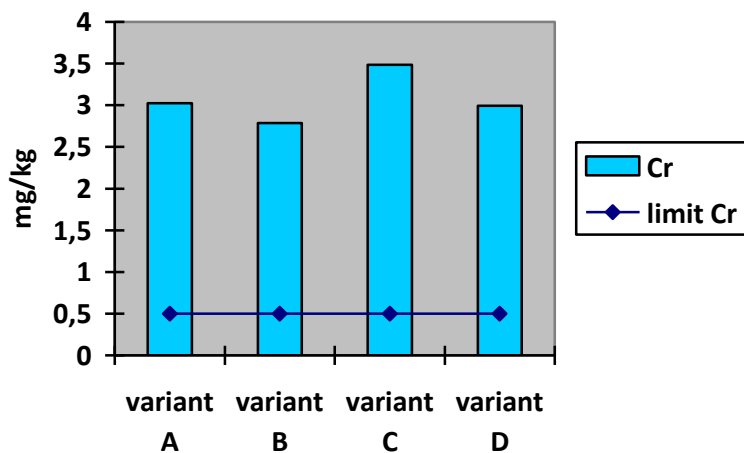
Limitné hodnoty pre zrno olejnín podľa Potravinového kódexu SR sme porovnali s nami zistenými údajmi, ktoré sme uviedli v tejto tabuľke č.10. Naše výsledky sme porovnali aj s výsledkami ku ktorým dospel Harangozo et. al 2008

Graf č. 6 : Priemerné obsahy vybraných ťažkých kovov v zrne slnečnice ročnej (mg/kg)



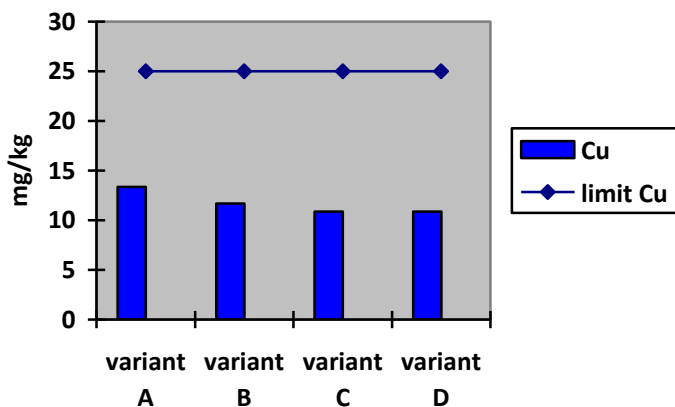
Priemerné hodnoty obsahu medi mierne klesali, vzhľadom na zvyšujúci sa obsah kadmia v pôde aj zrne slnečnice (viď. Tab. č. 10), to sa dá vysvetliť tým že kadmium vytesňovalo meď zo zrna slnečnice. Pri priemerných hodnotách olova a chrómu zrejme nemôžeme hovoriť o synergických vplyvoch, keďže ich hodnoty sa vzhľadom ku koncentrácii kadmia výraznejšie nemenia. Koncentrácia kadmia stúpala v zrne slnečnice úmerne k zvyšujúcim sa dávkam jeho soli do pôdy, najvyššiu hodnotu dosiahla vo variante D.

Graf č. 7 Zhodnotenie priemerných obsahov chrómu v zrne slnečnice (mg/kg sušiny)



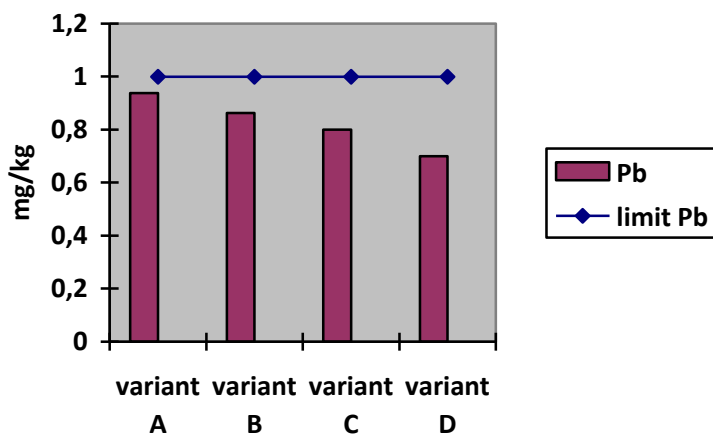
Limitné hodnoty pre zrno olejnín podľa Potravinového kódexu SR sme porovnali s nami zistenými údajmi, pričom sme ich zhodnotili nasledovne. Priemerné hodnoty chrómu prekračujú daný limit vo všetkých variantoch pokusu nasledovne : variant A 6,045 násobne, variant B 5,57 násobne, variant C 6,97 násobne a variant D 5,99 násobne. Jeho maximum bolo vo variante A (4,34 mg/kg sušiny), minimum takisto vo variante A (2,1 mg/kg), stredná hodnota v rámci celého pokusu bola 3,07 mg/kg sušiny. Najvyššia smerodajná odchýlka bola vo variante A 1,0 bodu.

Graf č. 8 Zhodnotenie priemerných obsahov medi v zrne slnečnice (mg/kg sušiny)



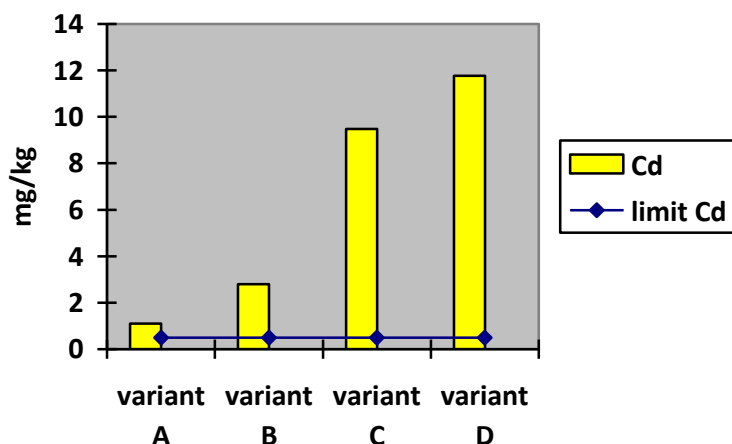
Limitné hodnoty pre zrna olejnín podľa Potravinového kódexu SR sme porovnali s nami zistenými údajmi, pričom sme ich zhodnotili nasledovne. Priemerný obsah medi zodpovedal daným hygienickým normám vo všetkých variantoch pokusu, jej maximum bolo vo variante A (15,85 mg/kg sušiny), minimum vo variante C (10,25 mg/kg), stredná hodnota v rámci pokusu bola 11,68 mg/kg sušiny. Výraznejšou chybou boli zaťažené iba hodnoty variantu A – smerodajná odchýlka tu bola 2,83 bodu.

Graf č. 9. Zhodnotenie priemerných obsahov olova v zrne slnečnice (mg/kg sušiny)



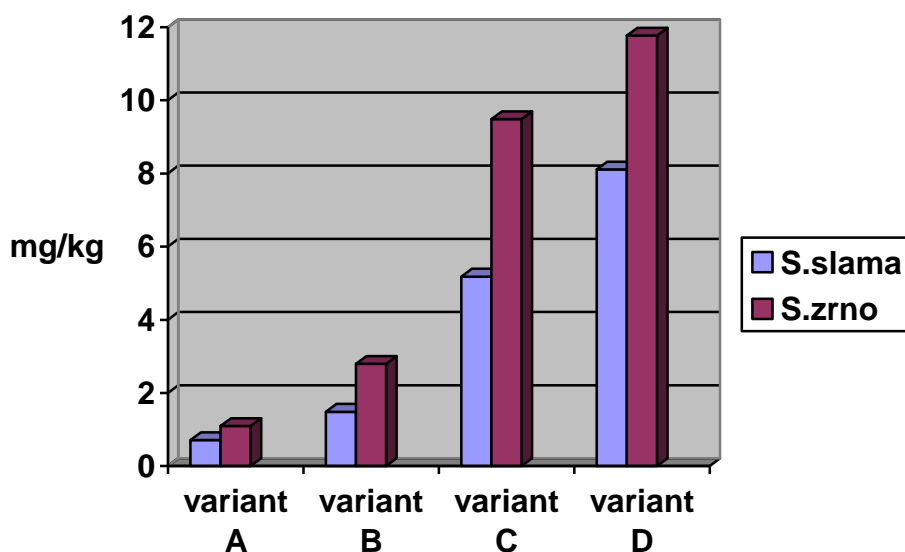
Limitné hodnoty pre zrna olejnín podľa Potravinového kódexu SR sme porovnali s nami zistenými údajmi, pričom sme ich zhodnotili nasledovne. Priemerné obsahy olova sú pod hygienickými limitmi v rámci celého pokusu, jeho maximum sme zaznamenali vo variantoch A aj B (1,05 mg/kg sušiny), minimum vo variante D (0,6 mg/kg), stredná hodnota v rámci pokusu bola 0,825 mg/kg sušiny. Jeho hodnoty neboli zaťažené výraznejšou chybou v žiadnom variante pokusu.

Graf č. 10. Zhodnotenie priemerných obsahov kadmia v zrne slnečnice (mg/kg sušiny)



Limitné hodnoty pre zrna olejnín podľa Potravinového kódexu SR sme porovnali s nami zistenými údajmi, pričom sme ich zhodnotili nasledovne. Priemerné obsahy kadmia prekročili dané limitné hodnoty nasledovne : variant A 2, 19 násobne, variant B 5, 59 násobne, variant C 18, 97 násobne a variant D 23, 53 násobne. Maximum dosiahlo vo variante D (14,605 mg/kg sušiny), minimum vo variante A (0,875 mg/kg sušiny), stredná hodnota v pokuse mala hodnotu 6,28 mg/kg sušiny. Hodnoty variantu C boli zaťažené chybou - smerodajná odchýlka bola 1,44 bodu a variant D – smerodajná odchýlka 2,14 bodu. Ku podobným výsledkom dospel aj Vojtěšek et al.2009.

Graf č. 11 porovnanie kumulácie kadmia slamou a zrnom slnečnice ročne(mg/kg sušiny)



S. slama = koncentrácia kadmia v slame slnečnice (mg/kg sušiny)

S. zrno = koncentrácia kadmia v zrne slnečnice (mg/kg sušiny)

Pri porovnaní miery kumulácie kadmia slamou a zrnom slnečnice je zrejmé, že slnečnica výraznejšie kumuluje kadmium vo svojom zrne oproti slame.

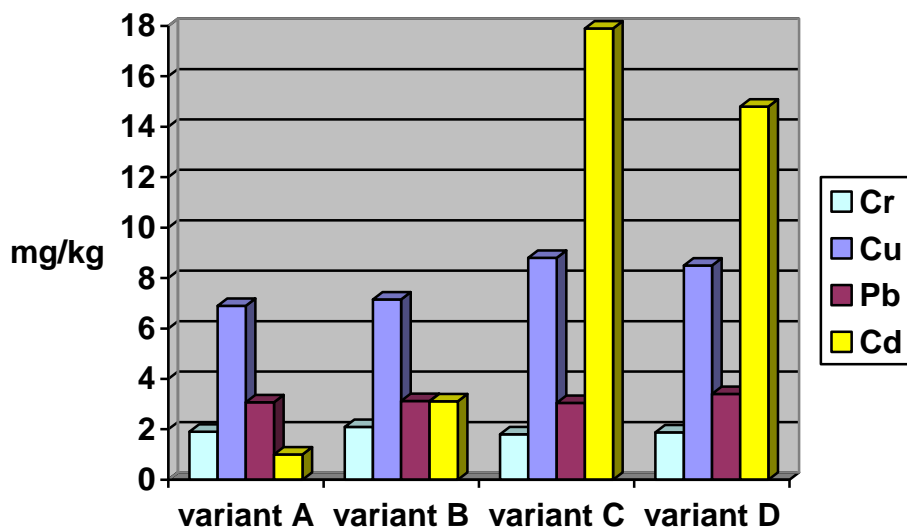
5.4 Obsahy vybraných ťažkých kovov v láskavci chvostnatom

Tab. č 10 Obsahy vybraných ťažkých kovov v slame láskavca chvostnatého (mg/kg sušiny)

Nádoba	Variant	Cr	Cu	Pb	Cd
1	A	1,8	5,0	2,4	0,96
2		1,9	8,7	3,4	0,99
3		1,8	6,3	2,6	0,77
4		2,1	7,6	3,9	1,27
5	B	2,3	7,5	2,9	3,47
6		2,0	6,6	3,4	2,48
7		1,9	7,6	3,3	3,26
8		2,2	6,9	2,9	3,23
9	C	1,9	9,3	3,2	18,35
10		1,4	7,6	2,7	11,07
11		1,7	8,7	3,1	19,24
12		2,2	9,6	3,2	22,92
13	D	1,7	7,3	3,6	11,43
14		1,7	9,0	3,3	13,11
15		1,9	10,3	3,1	20,93
16		2,2	7,4	3,6	13,71

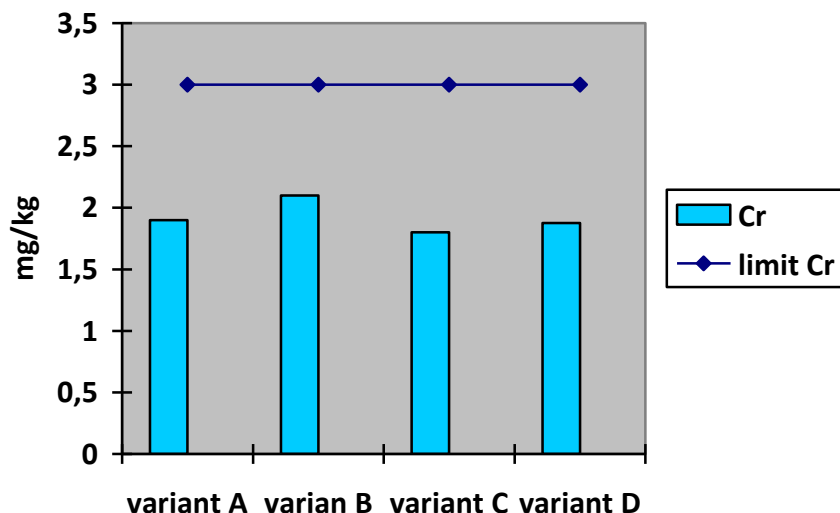
Nami zistené údaje obsahov vybraných ťažkých kovov v slame láskavca sme porovnali s údajmi uvedenými v prílohe zákona č. 220/2006 Z.z. o nežiadúcich látkach v krmovinách a iných ukazovateľoch bezpečnosti a použiteľnosti krmovín a uviedli v tejto tabuľke č. 10. Ku podobným výsledkom dospela aj Chreneková et. al 1994.

Graf č. 12 : Priemerné obsahy vybraných ťažkých kovov v slame láskavca chvostnatého [mg/kg]



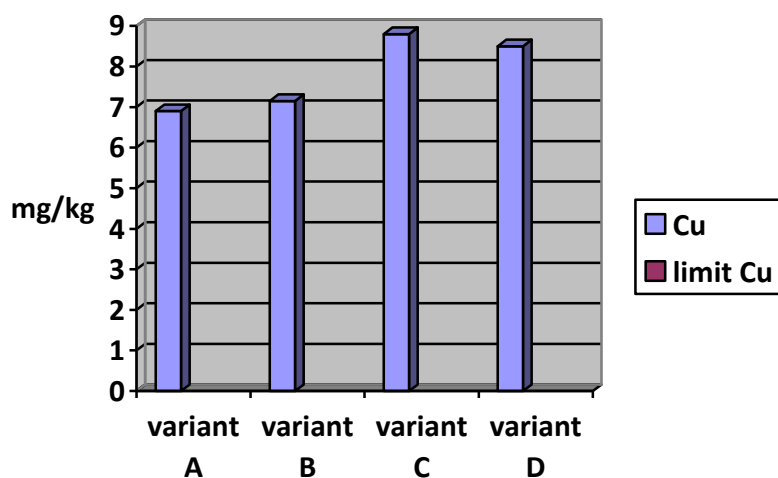
Priemerný obsah medi v slame láskavca mierne stúpol, oproti kontrolnej vzorke, v ostatných variantoch, čo by sa mohlo vysvetliť synergickým vplyvom kadmia. Pri priemerných obsahoch olova a chrómu nepozorujeme výraznejšie zmeny ich koncentrácie v slame láskavca. A obsah kadmia stúpal v slame láskavca oproti kontrole, najvýraznejšie vo variante C. Pri záťaži kadmiumom vo variante D už ale jeho obsah začal klesať, to sa môže vysvetliť neschopnosťou láskavca vysporiadať sa s toxickým vplyvom kadmia a ustávaním jeho metabolickej aktivity a následne aj schopnosti kumulovať toxické kadmium vo svojej slame. Rastliny už takisto strácali vitalitu a postupne odumierali, respektíve sa nedokázali ani plnohodnotne vyvinúť. Nami zistené údaje sa dajú porovnať s údajmi ku ktorým dospela aj Musilová et. al 2008.

Graf č.13 Obsahy vybraných ťažkých kovov v slame láskavca chvostnatého [mg/kg]



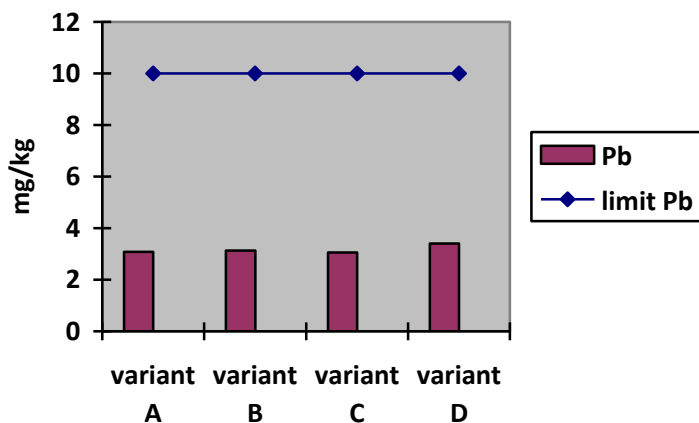
Nami zistené údaje obsahov vybraných ťažkých kovov v slame láskavca sme porovnali s údajmi uvedenými v prílohe zákona č. 220/2006 Z.z. o nežiadúcich látkach v krmovinách a iných ukazovateľoch bezpečnosti a použiteľnosti krmovín, pričom sme zistili tieto skutočnosti : Priemerné obsahy chrómu zodpovedali daným hygienickým limitom vo všetkých variantoch pokusu, maximum obsahu dosiahol vo variante B (2,3 mg/kg sušiny), minimum obsahu vo variante C (1,4 mg/kg sušiny), stredná hodnota v rámci pokusu predstavovala hodnotu 1,91 mg/kg sušiny. Pokus nebol zaťažený výraznejšou chybou v žiadnom variante, týkajúcom sa hodnôt chrómu.

Gaf č. 14. Obsahy vybraných ťažkých kovov v slame láskavca chvostnatého [mg/kg]



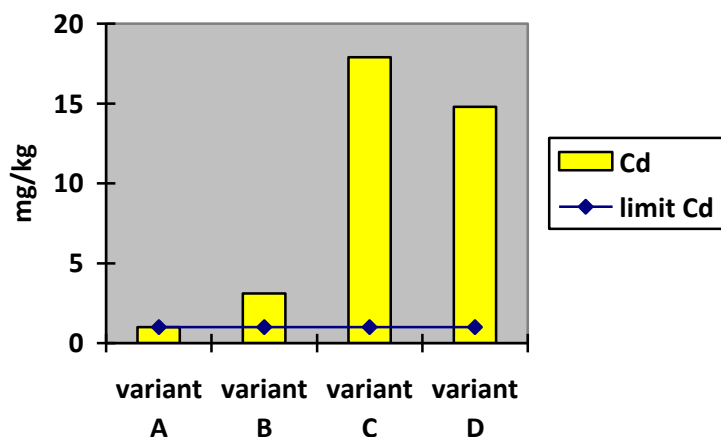
Nami zistené údaje obsahov vybraných ťažkých kovov v slame láskavca sme porovnali s údajmi uvedenými v prílohe zákona č. 220/2006 Z.z. o nežiadúcich látkach v krmovinách a iných ukazovateľoch bezpečnosti a použiteľnosti krmovín. Priemerné koncentrácie medi v slame láskavca nie sú daným nariadením limitované. Jej maximum sme zaznamenali vo variante D (10,3 mg/kg sušiny), minimum vo variante A (5,0 mg/kg). Stredná hodnota obsahu medi bola v rámci pokusu 7,83 mg/kg sušiny. Výraznejšiu chybu sme zaznamenali vo variante A – smerodajná odchýlka 1,6 bodu a variante D – 1,43 bodu

Graf č. 15. Obsahy vybraných ťažkých kovov v slame láskavca chvostnatého [mg/kg]



Nami zistené údaje obsahov vybraných ťažkých kovov v slame láskavca sme porovnali s údajmi uvedenými v prílohe zákona č. 220/2006 Z.z. o nežiadúcich látkach v krmovinách a iných ukazovateľoch bezpečnosti a použiteľnosti krmovín.. Čo sa týka priemerných hodnôt olova sme skonštatovali, že neprekročili limitné hodnoty v žiadnom z variantov pokusu. Respektíve svoje maximum dosiahli vo variante A (3,9 mg/kg sušiny), minimum taktiež vo variante A (2,4 mg/kg sušiny), stredná hodnota v rámci pokusu bola 3, 16 mg/kg sušiny. Hodnoty olova neboli pritom zaťažené výraznejšou chybou v celom pokuse so slamou láskavca.

Graf č. 16. Obsahy vybraných ťažkých kovov v slame láskavca chvostnatého [mg/kg]



Kadmium respektíve jeho priemerné hodnoty splňovali dané limity len v prípade variantu A, vo variante B prekročili danú limitnú hodnotu 3,11 krát, vo variante C to bolo už 17, 895 krát a vo variante D 14, 795 krát. Maximum koncentrácie dosiahol vo variante C (22,92 mg/kg sušiny), minimum vo variante A (0,96 mg/kg sušiny), stredná hodnota v rámci pokusu dosiahla hodnotu 9,19 mg/kg sušiny. Vo variantoch C a D sme zaznamenali najvyššiu chybu hodnôt určenú podľa smerodajnej odchýlky a to 4,95 resp. 4,2 bodu, vzhľadom k tomu by bolo vhodné tieto varianty v budúcnosti zopakovať s väčším počtom rastlín láskavca pri daných podmienkach. Ku podobným výsledkom dospela aj Chrenková et. al 1994.

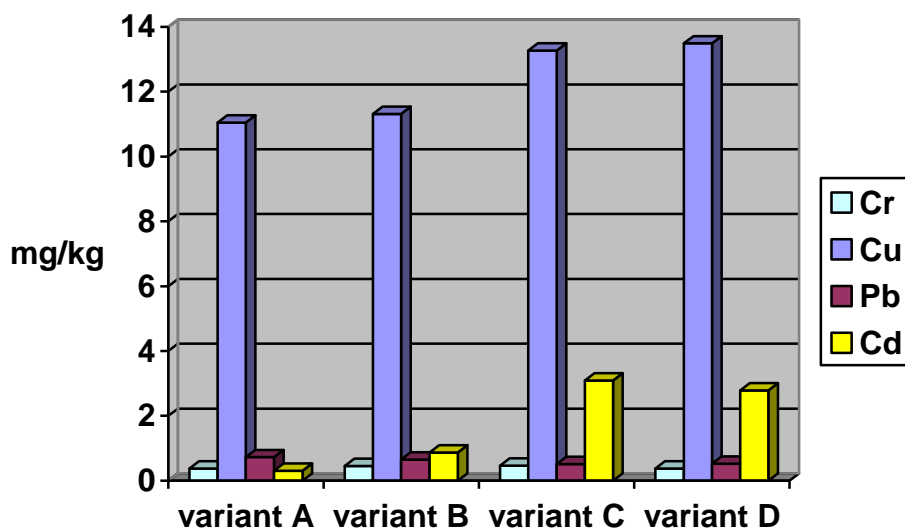
Tab. č. 11 Obsahy vybraných ťažkých kovov v zrne laskavca chvostnatého

(mg/kg)

Nádoba	Variant	Cr	Cu	Pb	Cd
1	A	0,40	10,29	0,50	0,24
2		0,25	13,40	0,65	0,29
3		0,35	10,10	0,55	0,33
4		0,50	10,40	1,20	0,345
5	B	0,35	11,50	0,55	0,85
6		0,50	10,30	0,70	0,685
7		0,50	11,75	0,65	0,97
8		0,45	11,70	0,70	0,98
9	C	0,60	13,75	0,50	3,065
10		0,40	14,00	0,55	2,675
11		0,50	12,14	0,55	3,23
12		0,35	13,20	0,45	3,40
13	D	0,35	12,69	0,50	1,925
14		0,30	12,44	0,65	2,00
15		0,45	15,10	0,55	3,585
16		0,40	13,74	0,40	3,635

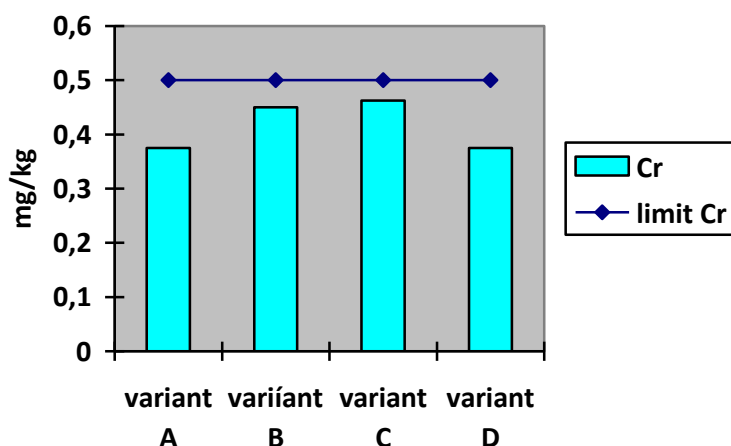
Pri porovnaní nami zistených údajov s údajmi uvedenými v Potravinovom kódexe SR, pre zno laskavca. Nami zistené údaje sme uviedli v tabuľke č 11.

Graf č. 17 : Priemerné obsahy vybraných ťažkých kovov v zrne laskavca chvostnatého (mg/kg)



Priemerný obsah medi stúpala vo všetkých variantoch pokusu, so zvyšujúcou sa kontamináciou zrna láskavca kadmiumom čo by mohlo byť spôsobené ich vzájomným synergickým vplyvom. Respektíve jej obsah bol zo všetkých sledovaných ťažkých kovov najvyšší. Priemerný obsah olova a chrómu sa výraznejšie nemenil. Priemerný obsah kadmia stúpala oproti kontrolnej vzorke, najmä vo variante záťaže C, vo variante D už ale jeho obsah začal klesať, to sa môže vysvetliť neschopnosťou láskavca vysporiadať sa s toxickým vplyvom kadmia a ustávaním jeho metabolickej aktivity a následne aj schopnosti kumulovať toxické kadmium vo svojej slame. Rastliny už takisto strácali vitalitu a postupne odumierali, respektíve sa nedokázali ani plnohodnotne vyvinúť.

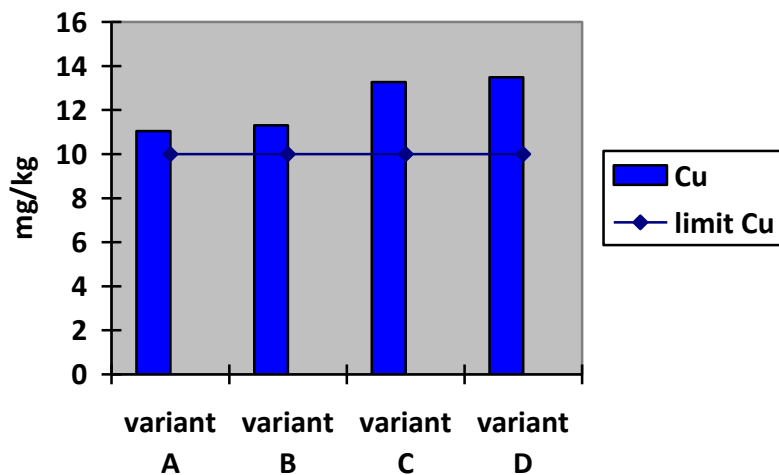
Graf č. 18. Obsahy vybraných ťažkých kovov v zrne láskavca chvostnatého (mg/kg)



Pri porovnaní nami zistených údajov s údajmi uvedenými v Potravinovom kódexe SR, pre zrna láskavca. Pri porovnaní nami zistených údajov s údajmi uvedenými v potravinovom kódexe, pre zrna láskavca, sme zistili, že obsah chrómu spĺňal limitné hodnoty podľa daného nariadenia vo všetkých variantoch. Svoje maximum obsahu dosiahol vo variante C (0,60 mg/kg), minimum obsahu vo variante A (0,25 mg/kg), stredná hodnota v rámci pokusu mala hodnotu 0,41 mg/kg sušiny. Výsledky neboli v tomto prípade zatážené výraznejšou chybou.

Graf č. 19 . Obsahy vybraných ťažkých kovov v zrne laskavca chvostnatého

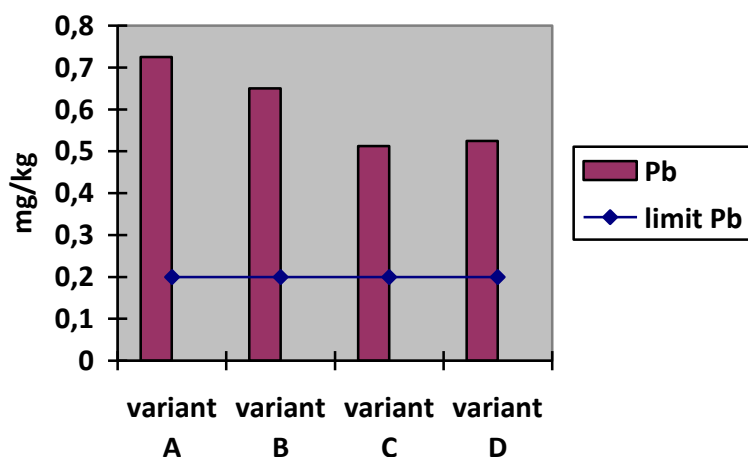
(mg/kg)



Pri porovnaní nami zistených údajov s údajmi uvedenými v Potravinovom kódexe SR, pre zno laskavca. Priemerné obsahy medi prekročovali normy nasledovne variant A 1,1 násobne (veľmi tesne), variant B 1,13 násobne (takisto tesne), variant C 1,32 násobne a variant D 1,34 násobne. Maximum jej hodnôt sme zaznamenali vo variante D (15,10 mg/kg sušiny), minimum jej hodnôt sme zaznamenali vo variante A (10, 10 mg/kg sušiny). Jej stredná hodnota predstavovala v rámci pokusu hodnotu 12, 28 mg/kg sušiny. Hodnoty variantu A sú zaťažené určitou chybou reprezentovanou hodnotou smerodajnej odchýlky 1,57 bodu.

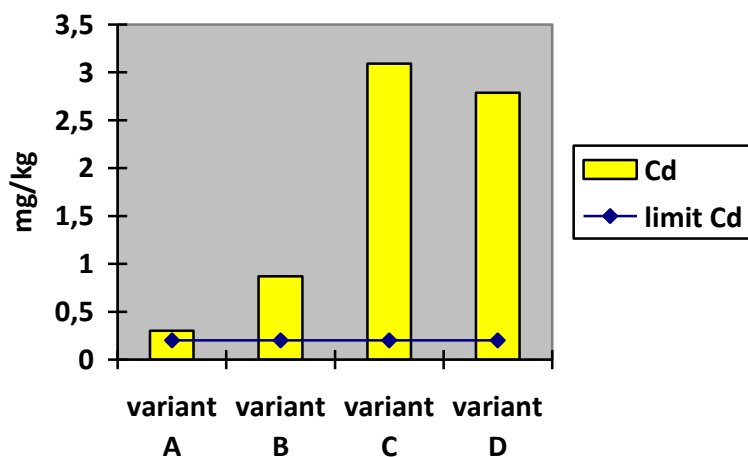
Graf č. 20 Obsahy vybraných ťažkých kovov v zrne laskavca chvostnatého

(mg/kg)



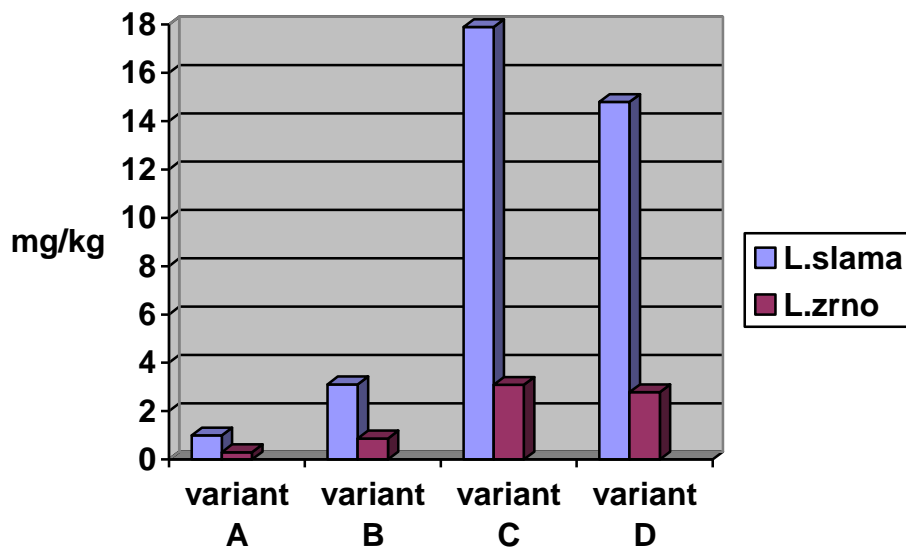
Pri porovnaní nami zistených údajov s údajmi uvedenými v Potravinovom kódexe SR, pre zrnno laskavca. Olovo respektíve jeho priemerné hodnoty boli prekročené oproti povoleným hodnotám z potravinového kódexu. Vo variante A 3,62 násobne, variant B 3, 25 násobne, variant C 2,56 násobne a variant D 2, 62 násobne. Maximum dosiahla hodnota olova v zrne laskavca vo variante A (1,2 mg/kg sušiny), minimum vo variante D (0,4 mg/kg sušiny). Stredná hodnota predstavovala 0, 60 mg/kg sušiny. A hodnoty neboli zaťažené výraznejšou chybou.

Graf č. 21 Obsahy vybraných ťažkých kovov v zrne laskavca chvostnatého (mg/kg)



Pri porovnaní nami zistených údajov s údajmi uvedenými v Potravinovom kódexe SR, pre zrnno laskavca. Priemerné obsahy Kadmia takisto prekročilo dané limitné hodnoty, konkrétne vo variante A 1,5 násobne, vo variante B 4,35 násobne, vo variante C už 15,5 násobne a vo variante D 13,93 násobne. Maximum dosiahla jeho hodnota vo variante D (3, 635 mg/kg sušiny), minimum vo variante A (0,24 mg/kg sušiny). Stredná hodnota v rámci pokusu bola 1,75 mg/kg sušiny. Smerodajná odchýlky bola najvyššia vo variante D 0,95 bodu.

Graf č. 22 Porovnanie kumulácie kadmia slamou a zrnom ľaskavca chvostnatého

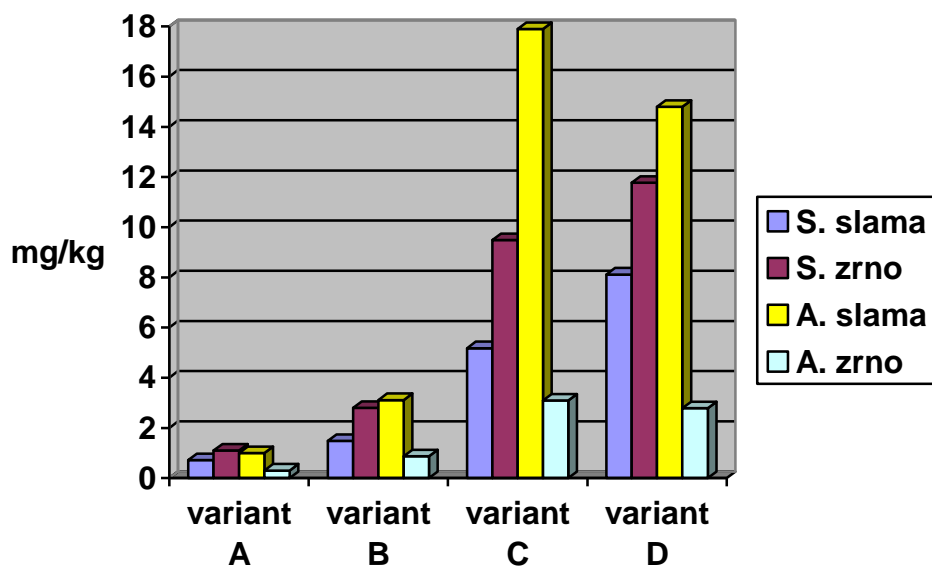


L. slama = koncentrácia kadmia v slame ľaskavca (mg/kg sušiny)

L. zrno = koncentrácia kadmia v zrne ľaskavca (mg/kg sušiny)

Pri porovnaní miery kumulácie kadmia slamou a zrnom ľaskavca je zrejmé, že ľaskavec výraznejšie kumuluje kadmium vo svojej slame oproti zrnú. Pre ďalší popis viď. Grafy č. 16 a č. 21.

Graf č. 23 Porovnanie kumulácie kadmia slamou a zrnom ľaskavca a snečnice



Pozn. S. slama = slnečnica slama

S. zrno = slnečnica zrno

A. slama = amarantus slama

A. zrno = amarantus zrno

Najvyššiu kumuláciu kadmia pozorujeme v slame láskavca pri zaťažení pôdy kadmikom vo variante C, druhá najvyššia miera kumulácie je vo variante D takisto slamou láskavca, nasleduje zrno slnečnice vo variante D a potom C.

5.5 Obsahy celkových polyfenolických látok v slnečnici ročnej a láskavci chvoštenatom

Tab. č. 12 Obsah celkových polyfenolov v zrne slnečnice ročnej vyjadrený ako mg kys. galovej na kg⁻¹ vzorky.

variant	vzorky	výsledok	Kyselina galová
A	28,08	14040	
	22,057	11028,5	
	20,346	10173	
	24,453	12226,5	
	22,604	11302	
	25,616	12808	
B	20,927	10463,5	
	26,164	13082	
	22,981	11490,5	
	25,455	12727,5	
	22,912	11456	
	26,164	13082	
C	24,932	12466	
	24,589	12294	
	24,521	12260,5	
	28,08	14040	
	23,528	11764	
	20,482	10241	
D	23,768	11884	
	21,92	10960	
	25,308	12654	
	22,365	11182,5	
	29,689	14844,5	
	22,981	11490,5	
SP	0		

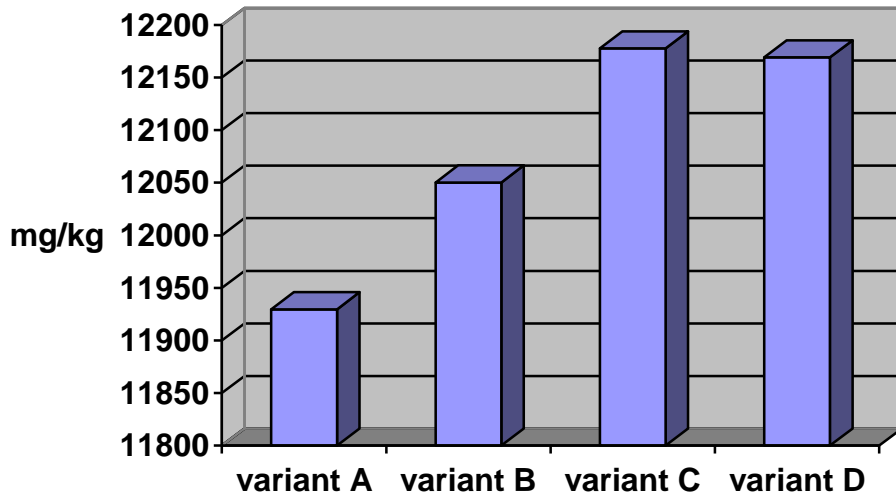
Obsahy celkových polyfenolov v zrne slnečnice ročnej zhodnotíme z štatistického hľadiska. Maximálna hodnota je tu 14844,5 mg kys. galovej. kg⁻¹ sušiny vo variante D. Minimálna hodnota je 10 173 mg kys. galovej. kg⁻¹ sušiny vo variante A. Stredná hodnota je 12081,69 mg kys. galovej. kg⁻¹ sušiny. Smerodajná odchýlka je 1206,618. Podobné hodnoty zaznamenal aj Heinrich, 2008.

Tab. č. 13 Obsah celkových polyfenolov v zrne láskavca chvostnatého vyjadrený ako mg kys. galovej na kg⁻¹ vzorky.

variant	vzorky	výsledok	Kyselina galová
A	0,3901	487,625	
	0,5293	661,625	
	0,6756	844,5	
	0,3796	474,5	
	0,3948	493,5	
	0,4248	531	
B	0,4346	543,25	
	0,5715	714,375	
	0,7224	903	
	0,7364	920,5	
	0,4919	614,875	
	0,4966	620,75	
C	0,6639	829,875	
	0,4369	546,125	
	0,5211	651,375	
	0,7037	879,625	
	0,5103	637,875	
	0,6346	793,25	
D	0,6674	834,25	
	0,4474	559,25	
	0,458	572,5	
	0,5788	723,5	
	0,5024	628	
	0,4603	575,375	
SP	0		

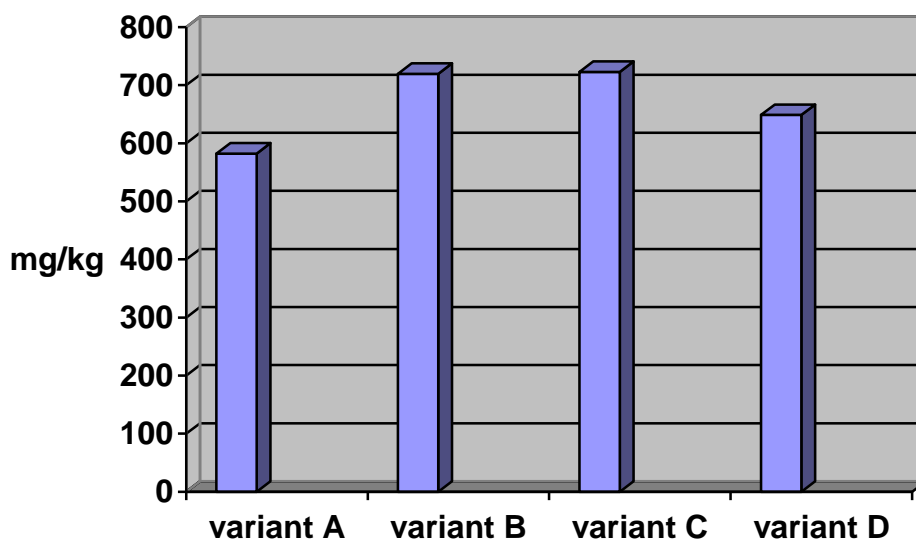
Obsahy celkových polyfenolov v zrne láskavca chvostnatého zhodnotíme z štatistického hľadiska. Maximálna hodnota je tu 920,5 mg kys. galovej. kg⁻¹ sušiny vo variante B. Minimálna hodnota je 474,5 mg kys. galovej. kg⁻¹ sušiny vo variante A. Stredná hodnota je 668,3542 mg kys. galovej. kg⁻¹ sušiny. Smerodajná odchýlka je 140,9124.

Graf č. 24. : Obsah celkových polyfenolov v slnečnici ročnej meraných podľa štandardu kyseliny galovej mg/kg vzorky.



Priemerný obsah celkových polyfenolov stúpala v zrne slnečnice ročnej v závislosti od zvyšujúcej sa koncentrácie kadmia v pôde. Najvyššiu úroveň dosiahla vo variante C, vo variante D zasa mierne poklesol čo však nemusí znamenať nič závažné vzhľadom k hodnote smerodajnej odchýlky, prípadne by sme mohli uvažovať o klesajúcej metabolickej aktivite slnečnice ročnej vzhľadom k toxickému vplyvu kadmia pri jeho najvyššej koncentrácii.

Graf č. 25. Obsah celkových polyfenolov v láskavci chvostnatom meraných podľa štandardu kyseliny galovej



Láskavec chvostnatý tvoril najväčšie množstvo polyfenolických látok pri zaťažení pôdy kadmiumom vo variante C a B, kedy bol zároveň aj najvyšší obsah kadmia v jeho zrne (viď. graf. č. 21.) Pri zaťažení vo variante D pozorujeme zníženie obsahu celkových polyfenolov v zrne láskavca chvostnatého, zrejme toxickým vplyvom kadmia na rastlinu, to malo za následok zníženie vitality a metabolickej aktivity rastliny.

Návrh na využitie výsledkov

Rastlinné polyfenoly v bežne konzumovaných potravinách a bežných dávkach vykazujú viaceré pozitívne vplyvy na ľudský organizmus, napríklad antiradikálová antioxidačná aktivita, priaznivý vplyv na kardiovaskulárny systém atď. Dajú sa považovať za perspektívnu skupinu ochranných látok proti viacerým ochoreniam. Bolo by však žiadané podrobnejšie preskúmať ich metabolizmus a možné biotransformácie v organizme, pre účinnejšie využitie ich potenciálu. Výsledky predkladanej práce možno využiť pre zvýšenie záujmu konzumentov o prírodné zdroje fytochemikálii, ktorých bohatým zdrojom je okrem iných aj práve slnečnica ročná a laskavec. Pre racionálnu výživu sú tieto prirodzené chemoprotektívne látky s antioxidačným účinkom vhodnejšie ako synteticky vyrobené, pričom ich konzumáciou možno prispieť k prevencii a pozitívnemu vplyvu při liečbe moderných civilizačných ochorení. Ďalšou možnosťou využitia je aj potravinársky priemysel, ktorý v súčasnosti hľadá nové prírodné zdroje na výrobu tzv. funkčných potravín, teda potravinových výrobkov s preukázateľným benefitom na ľudské zdravie. Zároveň je však veľmi dôležitý monitoring kontaminácie kadmium, ako sa ukázalo slnečnica kumuluje nadlimitné hodnoty tohoto toxického kovu už aj z bežnej poľnohospodárskej pôdy a to najmä v zrne. A práve zrno je najvyužívanejšou časťou slnečnice. Laskavec vzhľadom na svoju vysokú produkciu biomasy a takisto vysokú kumuláciu kadmia v biomase by mohol byť použitý pri moderných postupoch fytoremediácii v enviromentálnych biotechnológiách.

Záver

Hoci rastlinné polyfenolické látky vykazujú celú paletu už viackrát zmieňovaných pozitívnych vlastností, sú súčasťou rastlinných pletív. A ako také aj buď priamo konzumované alebo spracovávané. Treba mať vždy na pamäti, že ťažké kovy ako kadmium, nikel, berýlium a chróm (Cr^{6+}), potenciálne aj olovo sú karcinogénne a prijímané rastlinami. Následne sú v rastlinách akumulované v rôznych častiach a bez ohľadu či je ich obsah vyšší vo využívanej alebo nevyžívanej časti konkrétnej rastliny, predstavujú zdravotné riziko, ktoré nemožno podceňovať. Preto je nutné študovať aj interakcie polyfenolických látok s ťažkými kovmi, respektíve ich vzťahy priamo v rastline v pokusných (poľných) podmienkach. Polyfenolické látky sa v rastlinách tvoria ako reakcia na poškodenie vonkajšími faktormi, akými sú aj stres vyvolaný práve zvýšenými koncentraciami rizikových prvkov. Vo vysokých koncentráciách môžu polyfenoly reagovať s bielkovinami, sacharidmi aj minerálmi. Vo vysokých koncentráciách môžu polyfenoly reagovať s bielkovinami, sacharidmi aj minerálmi. V súčasnej dobe nemožno konštatovať, ktorá konkrétna fenolická zlúčenina je najužitočnejšia, respektíve ktorá rastlina je najvhodnejšia na konzumáciu v súvislosti s protektívnymi vlastnosťami týchto zlúčenín. Prejavuje sa však synergizmus ich pôsobenia, a tak drobné ovocie, jablká, koreňová zelenina, červené víno, čaj, ale určite aj slnečnica a laskavec, predstavujú skupinu potravín rastlinného pôvodu s priaznivým vplyvom na ľudský organizmus. Na druhej strane sa aj ľudský organizmus líši od jedinca k jedincovi a tak prípadná znížená resorpcia bielkovín môže predstavovať problém u konkrétnych osôb. Z našich výsledkov možno konštatovať, že zvyšujúci sa obsah kadmia v slnečnici ročne spôsobuje úmerné zvýšenie množstva celkových polyfenolov v zrne slnečnice. V prípade laskavca chvostnatého, konštatujeme takisto zvýšenie obsahu celkových polyfenolov v zrne, až po mieru kontaminácie kadmium, ktorú je rastlina schopná znášať.

Zoznam použitej literatúry

- 1) AHERNE, S.A., O BRIEN, N.M.: Dietary flavonols : chemistry, food content and metabolism. *Nutrition*, 18, 2002, p. 75 – 81.
- 2) ALVAREZ, F. F., RODRIGUEZ, M. T., ESPINOSA, A. J. F., DABAN, A. G. 2004. *Anal. Chim. Acta* 524, 33
- 3) BALOGHOVÁ, M., PAULOVICSOVÁ, B., TURIANICA, I. 2006 Niektoré vlastnosti rastlinných materiálov vo vzťahu k ich protektívnej hodnote. In *agroporadenstvo* [online]. 2006, [cit. 2011 – 3 – 15], p. 22 – 26. Dostupné na internete <http://www.agroporadenstvo.sk/potravinz/clankz/vlastnosti_rast_mat.paf>.
- 4) BIELEK, P. 1994, Kódex správnej poľnohospodárskej praxe SR 1994 MP SR, VÚPU Bratislava, ISBN 80 – 85361 – 21 – 3.
- 5) BLUME, H. P. 1990. Clasification of soils in urban agglomerations. *Catena* 16, 275 s.
- 6) BRUNEKREEF, B., HOLGATE, S. T. 2002. *Lancet* 360, 1233
- 7) DANKO, J., PETŘVALSKÝ, V., PORHAJAŠOVÁ, J. 2004. Základy biológie. Nitra : SPU v Nitre, 2004. 45s. , ISBN 80 – 8069 – 444 – 3.
- 8) DLUGOŠOVÁ, K., PŠENÁKOVÁ, I. 2004. Antioxidačné účinky vybraných sekundárnych metabolitov. In *Nova Biotechnologica*. 2004, s. 185 – 197.
- 9) DULKA, J. J., RISBY, T. H. 1976. *Anal. Chem.* 48, 640 A
- 10) EICHHORN, S., WINTERHALTER, P.: *Food Res. Int.* 38, 943, 2005.
- 11) FAJNOR, V., SCHVENDT, P. 2001. Všeobecná a anorganická chémia. Bratislava : vydavateľstvo UK, 2001. 260 s., ISBN 80 – 223 – 1609 – 1.
- 12) FERNANDEZ, A. J., TERNERO, M., BARRGAN, F. J., JIMENEZ, J. C. 2000.. *Chemosphere – global Change Science* 2, 123
- 13) GAWEL, J. E., AHNER, B. A., FRIEDLAND, A. J., MOREL, F. M. M. 1996. *Nature* 381, 64

- 14) GROSS, G. G., HEMINGWAY, R. W., YOSHIDA, T.: *Plant polyphenols 2*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 1999.
- 15) HALAJSOVÁ, J. et al. 2005. Quality of organically and conventionally grown potatoes : four year study of micronutrients, metals, secondary metabolites, enzymic browning and organoleptic properties. In : *Food – Additives – and contaminants*, vol . 22, 2005, č. 6, s. 514 – 534.
- 16) HARANGOZO, Ľ., VOLLMANNOVÁ, A., TREBICHALSKÝ, P., STANOVIČ, R. Vplyv kadmia na celkovú antioxidačnú aktivitu v olejninách. In *Chemické Listy*, 2008, roč. 102, s. 105.
- 17) HEINRICH, J., ŠVARCOVÁ, I., VALENTOVÁ, K.: Plody *Lonicera caerulea* : Perspektivní funkční potravina a zdroj biologicky aktivních látek. In *Chem. Listy*. roč. 102, 2008, s. 245 – 254.
- 18) HUDEC, J., TÓTH, J., TOMÁŠ, J., HEGEDŮSOVÁ, A. 2002. Organická chémia. Nitra : SPU v Nitre, 2002. 186 s., ISBN 80 – 7137 – 975 – 1.
- 19) HOZOVÁ, B., MORAVČÍKOVÁ, P. Vlákna v našej výžive, In *Výživa a Zdravie*, roč. 3, 2005, s. 10-11.
- 20) HOWELL, A. B.: Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 42, 273, 2002.
- 21) CHRENEKOVÁ, E., ŠEVELOVÁ, A., ĽAHUČKÝ, L. : Fytotoxicita pôdnych obsahov niektorých ťažkých kovov a hygienická závadnosť dopestovaných plodín. In : Zatížení půd těžkými kovy, ČSVTS, České Budejovice, 1994, s. 88 – 96.
- 22) JURÍKOVÁ, T., MATUŠKOVIČ, J., GAZDÍ, Z. 2009. Polyfenolické látky jedlých zemolezov a ich vzťah k neurodegeneratívnym ochoreniam [online]. Nitra > UKF X. vedecká konferencia doktorandov a mladých vedeckých pracovníkov, 2009 [cit. 2009 – 4 – 29]. Dostupné na internete : http://konferencie.ukf.sk/phdkonf2009/index.php?id=paper_details&paper=82
- 23) KAUR, IP, GETHA, T. 2006. Screening methods for antioxidants-a review. In *Mini Rev. Med. Chem.* Vol6 (3), Mar. 2006, p. 305 – 12. (PubMed – indexed for Medline).
- 24) KARABÍN, M., DOSTÁLEK, P., HOFTA, P. 2006. Přehled metod pro stanovení antioxidační aktivity v pivovarství. In *Chem. Listy*, roč. 100, 2006, s. 184 – 189.

- 25) LACHMAN, J., HAMOUZ, K., ČEPL, J., PIVEC, V., ŠULC, M., DVOŘÁK, P. 2006. Vliv vybraných faktorů na obsah polyfenolů a antioxidační aktivitu hlíz brambor. In. *Chem. Listy*, roč. 100, 2006, s. 522 – 527.
- 26) LARCHER, W. 1998 Fyziologická ekologie rostlin. Praha : Academia, nakladatelství ČSAV, 1998. s.101.
- 27) LEDOUX, F., COURCOT, L., COURCOT, D., ABOUKAIS, A., PUSKARIC, E. 2006. *Atmos. Res.* 82. 82, 633
- 28) MAKOVNÍKOVÁ, J. et. Al. 2006. Anorganické kontaminanty v pôdnom ekosystéme. In. *Chemické Listy*, č. 100, 2006, s. 424 – 432.
- 29) MASAROVIČOVÁ, E., REPČÁK, M. a kol. 2002. Fyziológia rastlín. Bratislava : UK v Bratislave, 2002. s. 303., ISBN 80 – 223 – 1615 – 6.
- 30) MOFAT, A. S. 1995. *Science* 269 : 302
- 31) MORAWSKA, L., ZHANG, J. J. 2002. *Chemosphere* 49, 1045
- 32) MUSILOVÁ, J., TIMORACKÁ, M., PELTZNEROVÁ, L., ČÉRY, J. Obsah kadmia vo vodorozpustných a nerozpustných sacharidoch ľulka zemiakového. In *Chemické Listy*, 2008, roč. 102, s 751-759.
- 33) POLÁČEK, Š., BUJDOŠ, G., PUŠKÁŠ, J. 1999. Všeobecná a anorganická chémia pre poľnohospodárov, Nitra : SPU v Nitre, 2003, ISBN 80 – 7137 – 632 – 9.
- 34) POLÁČEK, Š., KULICH, J., TOMÁŠ, J., VOLLMANNOVÁ, A. 2003. Anorganická chémia. Nitra : SPU v Nitre, 2003. ISBN 80 – 8069 – 137 – 1.
- 35) PRASAD, M. N. V. 1995. *Photosynthetica* 31 : 635.
- 36) PRIOR, R. L., CAO, G.: Analysis of botanicals and dietary supplements for antioxidants capacity : a review. *J AOAC International* 83, 2000, s. 950 – 956.
- 37) PROCHÁZKA, S., MACHÁČKOVÁ, I., KREKULE, J., ŠEBÁNKA, J., a kol. 2003. Fyziologie rostlin. Praha : Academia NAVČR, 1998, dotlač 2003. ISBN 80 – 200 – 0586 – 2.

- 38) RECHNER, A. R., KUHNLE, G., HU, H. L., ROEDIG-PENMAN, A., Van Den BRAAK, M. H., MOORE, K. P., RICE-EVANS, C. A. : Free Radical Res. 36, 1229, 2002.
- 39) REYES, L. F., MILLER, J. C., CISNEROS-ZEVALLOS, L : Am J. Pot. Res. 82, 271, 2005.
- 40) RITCHIE, G. S. P. 1995. In : Date R. A. et. Al. : Plant Soils Interactions at Low. pH. Kluwer Acad. Publ, Dordrecht 23
- 41) SKIBOLA, C. F., SMITH, M. T.: Free Radical Biol. Med. 29, 375, 2000.
- 42) SLANINA, J., TÁBORSKÁ, E. 2004. Příjem, biologická dostupnost a metabolismus rostlinných polyfenolů u člověka. In.: *Chemické Listy*, roč. 98, 2004, s. 239 – 245.
- 43) SNOPEKOVÁ, M. 2001. In: *Poľovníctvo a rybárstvo*, apríl 2001, roč. 53, 38
- 44) SOKOL, J. et al. 1998. Kadmium a jeho výskyt v organizmoch. Nitra. 1998, s 116, ISBN 80 – 7148 – 022 – 3.
- 45) STRÁŇAI, I., ANDREJI, J. 2001. In : *Poľovníctvo a rybárstvo*, apríl 2001, ročník 53, s. 36 – 38.
- 46) TIMORACKÁ, M., VOLLMANNOVÁ, A., BAJČAN, D. 2009. In : *Food Quality – Kvalita potravín*, ročník 8, číslo 2, jún 2008. ISSN 1213 – 6859.
- 47) VOJTĚŠEK, M., MIKUŠKA, P., VEČEŘA, Z. 2009. In : *Chemické Listy*, roč. 103. číslo 2, s. 136 – 144, ISSN 0009 – 2770.
- 48) VOLLMANNOVÁ, A., TÓTH, T., LAHUČKÝ, L., MUSILOVÁ, J., JOMOVÁ, K. : 2006. Kumulácia medi a kadmia alternatívnymi plodinami. In: *Chemické Listy*, 100, 2006, s. 720 – 721.
- 49) WANG, Y., ZHUANG, G., XU C, AN Z. 2007. Atmos Environ. 41, p. 417.
- 50) ZAUJEC, A. Cudzorodé látky a hygiena pôd. Nitra : VES SPU, 1999. s. 103. ISBN 80 – 7137 – 567 – 5.
- 51) ZAUJEC, A. a kol. 2003. Pedológia. Nitra : SPU v Nitre, 2003. ISBN 80 – 8069 – 261 – 0.

52) ZIMA, M. a kol. 2002. Fyziológia rastlín. Nitra : SPU v Nitre, 2002. ISBN 80 – 8069 – 011 – 1.

53) PHYTOCHEMICALS [cit.2011 apríl] dostupné na internete
<<http://www.phytochemicals.info/phytochemicals/rutin.php>>

Prílohy

Tab č. 14 Štatistické vyhodnotenie obsahu ťažkých kovov v slame slnečnice ročnej

	Cr	Cu	Pb	Cd
Min	1,1	5,3	1,7	0,59
Maximum	1,9	8,1	3	10,9
Medián	1,4	6,05	2,45	2,845
Smerodajná odchýlka(najväčšia)	± 0,2217356	± 1,31244	± 0,434933	± 2,005359

Tab č 15 Štatistické vyhodnotenie obsahu ťažkých kovov v zrne slnečnice ročnej

	Cr	Cu	Pb	Cd
Min	2,1	10,25	0,6	0,875
Maximum	4,34	15,85	1,05	14,605
Medián	3,1	11,14	0,825	5,3375
Smerodajná odchýlka	± 1,004336	± 2,830618	± 0,165202	± 2,144669

Tab. č 16 Štatistické vyhodnotenie obsahu ťažkých kovov v slame láskavca chvostnatého

	Cr	Cu	Pb	Cd
Min	1,4	5	2,6	0,77
Maximum	2,3	10,3	3,9	22,92
Medián	1,9	7,6	3,2	7,27
Smerodajná odchýlka	± 0,3366502	± 1,602082	± 0,699405	± 4,961428

Tab. č 17 Štatistické vyhodnotenie obsahu ťažkých kovov v zrne láskavca chvostnatého

	Cr	Cu	Pb	Cd
Min	0,25	10,1	0,4	0,24
Maximum	0,6	15,1	1,2	3,635
Medián	0,4	12,29	0,55	1,4525
Smerodajná odchýlka	± 0,110868	± 1,573221	± 0,322749	± 0,951896

Tab. 18 Štatistické vyhodnotenie obsahu celkových polyfenolov v zrne slnečnice ročnej

min	maximum	medián	Smerodajná odchýlka
10173	14844,5	12055,25	± 1206,618

Tab. č 19 Štatistické vyhodnotenie obsahu celkových polyfenolov v zrne láskavca chvostnatého

min	maximum	medián	Smerodajná odchýlka
474,5	920,5	632,9375	± 140,9124