

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH
ZDROJOV**

1131300

**ZMENY V METABOLIZME RASTLÍN PRI STRESE
NAJRIZIKOVEJŠÍCH ŤAŽKÝCH KOVOV**

2011

Jana Jánošíková

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V
NITRE
FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH
ZDROJOV**

**ZMENY V METABOLIZME RASTLÍN PRI STRESE
NAJRIZIKOVEJŠÍCH ŤAŽKÝCH KOVOV
(Bakalárska práca)**

Študijný program:	Výživa ľudí
Študijný odbor:	4188700
Školiace pracovisko:	Katedra fyziológie rastlín
Školiteľ:	Filová Angelika Ing., PhD.

Nitra 2011

Jana Jánošíková

Čestné vyhlásenie

Podpísaná Jana Jánošíková vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „ Zmeny v metabolizme rastlín pri strese najrizikovejších ťažkých kovov “ vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry.

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

V Nitre 13.mája 2011

Pod'akovanie

Touto cestou vyslovujem pod'akovanie pani Ing. Angelike Filovej, PhD. za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej bakalárskej práce. Ďakujem aj svojim rodičom za poskytnutú morálnu pomoc.

V Nitre 13.mája 2011

Abstrakt

V práci sa poukazuje na vplyv ťažkých kovov na životné prostredie, živé organizmy, ľudí a rastliny. Je zameraná na zmeny rastlín vyvolané ťažkými kovmi, fytotoxicitu ťažkých kovov a to arzén, kadmia, olova a ortuť, dopad na rastliny a živočíchy a v neposlednom rade aj na človeka. Prienik ťažkých kovov do ekosystému je sprevádzaný zaťažením ovzdušia, vody, pôdy a v neposlednom rade i kultúrnych rastlín, odkiaľ ich cesta pokračuje do sféry potravín. Cieľom bakalárskej práce je komplexné spracovanie poznatkov z vedeckých a odborných publikácií týkajúcich sa problematiky ťažkých kovov (arzén, kadmium, olovo a ortuť) a ich vplyv na rastliny, zvieratá a upriamiť pozornosť na zdravie človeka. Pre naplnenie cieľa práce boli použité knižné publikácie učebnicového charakteru, monografické diela, vedecké a odborné časopisy domácej a zahraničnej proveniencie. Vzhľadom k aktualizácii údajov boli použité aj materiály uvedené na internetových stránkach.

Kľúčové slová : ťažké kovy, fytotoxicita, olovo, kadmium, arzén a ortuť

Abstract

The work highlights the impact of heavy metals on the environment, living organisms, humans and plants. It focuses on changes in plants caused by heavy metals, phytotoxicity of heavy metals and arsenic, cadmium, lead and mercury, the impact on plants and animals and, finally, to humans. Penetration of heavy metals into the ecosystem is accompanied by a load of air, water, soil, and not least, cultural products, from their journey continues into the realm of food. Goal of this work is a complex process of scientific knowledge and professional publications on the problems of heavy metals (arsenic, cadmium, lead and mercury) and their effects on plants, animals and draw attention to human health. To fulfill the objective of the work were used textbook nature of book publications, monographic works, scientific and technical journals domestic and foreign origin. Due to the updating of data were used and materials placed on the website.

Key words: heavy metals, phytotoxicity, lead, cadmium, arsenic and mercury

Obsah

ZOZNAM ILUSTRÁCIÍ	8
ZOZNAM TABULIEK	9
ZOZNAM SKRATIEK A ZNAČIEK.....	10
ÚVOD.....	11
1 PREHĽAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY	12
1.1 Znečistenie životného prostredia	12
1.1.1 Atmosféra.....	15
1.1.2 Hydrosféra	15
1.1.3 Pedosféra	16
1.2 Ťažké kovy a ich charakteristika.....	19
1.2.1 Zdroje ťažkých kovov	20
1.2.2 Toxické účinky ťažkých kovov na živé organizmy	22
1.2.3 Fytotoxicita ťažkých kovov a odolnosť rastlín	24
1.2.3.1 Vstup ťažkých kovov do rastlín.....	26
1.3 Vplyv ťažkých kovov na fyziologické procesy.....	28
1.3.1 Vplyv ťažkých kovov na aktivitu enzýmov a metabolických procesov	28
1.3.2 Vplyv ťažkých kovov na fotosyntézu	28
1.3.3 Vplyv ťažkých kovov na respiráciu rastlín	28
1.3.4 Vplyv ťažkých kovov na vodný režim rastlín.....	29
1.3.5 Vplyv ťažkých kovov na rast rastlín.....	29
1.4 Arzén.....	30
1.4.1 Zdroje arzénu v životnom prostredí	30
1.4.2 Arzén v rastlinách a jeho fytotoxicita	31
1.4.3 Symptómy toxicity arzénu	32
1.4.4 Vplyv arzénu na ľudský organizmus	32
1.5 Kadmium.....	34
1.5.1 Zdroje kadmia v životnom prostredí	34
1.5.2 Kadmium v rastlinách a jeho fytotoxicita	35
1.5.3 Symptómy toxicity kadmia	36
1.5.4 Vplyv kadmia na ľudský organizmus	37
1.6 Olovo.....	39
1.6.1 Zdroje Olova v životnom prostredí	39
1.6.2 Olovo v rastlinách a jeho fytotoxicita	39

1.6.3	Symptómy toxicity olova	40
1.6.4	Vplyv olova na ľudský organizmus	41
1.7	Ortuť	43
1.7.1	Zdroje ortuti v životnom prostredí	43
1.7.2	Ortuť v rastlinách a jeho fytotoxicita	43
1.7.3	Symptómy toxicity ortuti	44
1.7.4	Vplyv ortute na ľudský organizmus	44
2	CIEĽ PRÁCE	47
3	MATERIÁL A METÓDY SPRACOVANIA.....	48
	ZÁVER	49
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	51

Zoznam ilustrácií

Obr. 1	[Znečistenie ťažkými kovmi]	13
Obr. 2	[Kolobeh ťažkých kovov]	18
Obr. 3	[Prehľad kontaminantov pôd a podzemných vôd v Európe]	20
Obr. 4	[Spôsob vstupu kovov do organizmu]	23
Obr. 5	[Cesty kontaminujúcich látok od zdroja do ľudského organizmu]	23
Obr. 6	[Cyklus arzénu]	31
Obr. 7	[Prejavy intoxikácie arzénom zmenou farby kože]	32
Obr. 8	[Prejavy intoxikácie arzénom zmenou farby kože]	32
Obr. 9	[Zdroje a vstupy arzénu do organizmu]	33
Obr. 10	[Chloróza listov]	35
Obr. 11	[Skrievanie kostí pri ochorení Itai – Itai]	38
Obr. č. 12	[Zdroje a vstupy kadmia do organizmu]	38
Obr. č. 13	[Účinok olova na ľudský organizmus]	42
Obr. č. 14	[Cesty olova do organizmu]	42
Obr. č. 15	[Poškodenie nervového systému metylortuťou]	45
Obr. č. 16	[Zdroje a vstupy ortuti do organizmu]	46

Zoznam tabuliek

Tab.1	[Nebezpečenstvo ťažkých kovov pre zložky Životného prostredia]	14
Tab.2	[Zdroje kontaminácie životného prostredia rizikovými prvkami]	21
Tab.3	[Biochemický účinok nadmernej koncentrácie ťažkých kovov]	27
Tab.4	[Následky dlhodobého pôsobenia vyšších dávok arzénu na zdravie]	33
Tab.5	[Príznaky otravy najrizikovejších ťažkých kovov]	46

Zoznam skratiek a značiek

As.....	arzén
B.....	bór
Cd.....	kadmium
Cl.....	chlór
Cr.....	chróm
Cu.....	meď
Fe.....	železo
Hg.....	ortuť
K.....	draslík
Mn.....	mangán
Mo.....	molybdén
Pb.....	olovo
Zn.....	zinok
ADP.....	adenozíndifosfát
ATP.....	adenozíntrifosfát
CNS.....	centrálne nervová sústava
CO ²	oxid uhličitý
NADH.....	nikotínamidnukleotid
PVC.....	polyvinylchlorid

Úvod

Pojem ťažké kovy v chápaní každodenného človeka nadobudol negatívny prívlastok, s týmto termínom je spojená predstava o niečom toxickom, nebezpečnom pre živé organizmy. Poznatky o ťažkých kovoch sa stále prehlbujú a s nimi i neustále varovania a monitorovania.

Ťažké kovy patria medzi základné skupiny znečisťujúcich látok, ktoré sa sledujú v rôznych zložkách životného prostredia. Ide pomerne rozsiahlu skupinu kontaminantov, ktoré sa vyznačujú rozdielnymi vlastnosťami, účinkami i zdrojmi svojho pôvodu. Predmetom svetového monitoringu sú prvky: ortuť - Hg, kadmium - Cd, chróm - Cr a olovo - Pb. Tieto 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 ešte toxickéjšie. Sú to prvky nachádzajúce sa v živých organizmoch v malých množstvách – mikroelementy: Fe, Mn, Mo, Cu, B, Zn, As, Cu, Ni a ďalšie.

Rastlinné druhy majú rôznu citlivosť na toxické kovy. Mnohé druhy dobre prosperujú na pôdach obsahujúcich toxické koncentrácie ťažkých kovov, iné sú výrazne poškodzované. Pravú toleranciu predstavujú druhy akumulujúce toxické kovy v množstvách, ktoré by boli pre citlivé druhy toxické. Jedným z mechanizmov tolerancie voči toxickým prvkom je ich zabudovanie do organických molekúl (biotransformácia). Mnohé rastliny zase syntetizujú fytochelatíny, špecifické polypeptidy schopné inaktivovať ťažké (toxické) kovy väzbou do chelátových komplexov.

Ak sa z prostredia odstráni dnes veľmi sledované kadmium, má to za následok zhoršenie podmienok rastu niektorých húb. Pri takýchto pohľadoch je rozhodujúca úloha analýzy, ktorá pri ťažkých kovoch bude spojená s prognózou a kvantifikáciou prítomnosti anorganických látok (v pôde), organických látok (v živých sústavách) a tým aj možných zlúčenín a ich fytotoxicity.

Prienik ťažkých kovov do ekosystému je sprevádzaný zaťažením ovzdušia, vody, pôdy a v neposlednom rade i kultúrnych rastlín, odkiaľ ich cesta pokračuje do sféry potravín. Vzhľadom k charakteristike ťažkých kovov, z ktorých mnohé sú živým organizmom úplne cudzie a zvýšená hladina aj stopových prvkov tiež nie je prospešná, môžeme vysloviť úvahu, že pri zvýšenej expozícii ťažkých kovov dochádza už na úrovni pôda – rastlina k akútnym, ale i chronickým otravám, čo má za následok retardáciu rastu a vývinu, ale i depresiú úrod so znížením parametrov jej technologickej, alebo priamo úžitkovej hodnoty.

1 PREHLAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

1.1 Znečistenie životného prostredia

Životné prostredie je všetko, čo vytvára prirodzené podmienky existencie organizmov vrátane človeka a je predpokladom ich ďalšieho vývoja. Jeho zložkami sú najmä

- ovzdušie
- voda
- horniny
- pôda
- organizmy

Ústava Slovenskej republiky zakotvuje právo každého z nás na priaznivé životné prostredie, ale zároveň aj povinnosť životné prostredie chrániť a zveľaďovať ho [URL 8].

Znečistenie životného prostredia ťažkými kovmi je závažným environmentálnym problémom súčasnosti a vzhľadom na ich akumuláciu a nedegradovateľnosť, aj budúcnosti. Agroekosystémy aktívne reagujú na vstupy znečisťujúcich látok. Aktivizujú sa ich pufrčné, filtračné a akumulčné funkcie, kontaminanty sú zapájané do kolobehu a toku látok [URL 1].

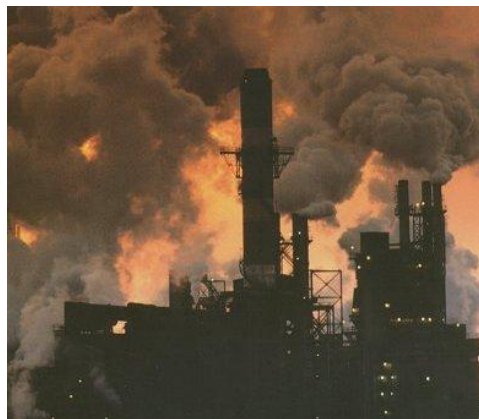
Vzhľadom k širokému a stúpajúcemu využitiu kovov a ich zlúčenín v priemysle narastá aj ich hromadenie v prírode. Jedným z dôvodom je aj to, že tvoria nedegradovateľný odpad s vysokým bioakumulčným potenciálom. Poznáme však aj kovy ktoré sú dôležité pre živé organizmy, pretože sú súčasťou metaloenzýmov (laktáza, kataláza, peroxidáza, karboxyláza). Kovy sa prejavujú ako prospešné pre biochemické reakcie v organizmoch no vyvolávajú aj veľmi vážne ochorenia, či poškodenia orgánov (Bakalová, 2008).

Celý rad činností človeka spôsobuje nežiaduce zmeny v životnom prostredí, spôsobuje nadmernú produkciu škodlivín ovplyvňujúcu zloženie vzduchu, vody, pôdy. Vznikajú problémy s likvidáciou odpadov, nadmerným hlukom, či poškodením ozónovej vrstvy Zeme. [URL 8].

Ťažké kovy sa do životného dostávajú cestou prírodných a antropogénnych procesov. Antropogénne zdroje súvisia s ľudskou činnosťou, predovšetkým so spaľovaním fosílnych palív, priemyselnými procesmi a prevádzkou motorových vozidiel (Violová, Magulová, 1995). Prostredníctvom poľnohospodárstva, priemyslu, urbanizácie a dopravy ľudia ovplyvňujú globálny život na zemi. Činnosťou človeka sú znečisťované povrchové i podzemné vody a atmosféra, je znehodnocovaná pôda, a sú zásadne ovplyvnené prirodzené ekosystémy (Gábriš, 1998).

Toxický účinok kovov na organizmus závisí od niekoľkých faktorov:

- Spôsobu jeho kontaktu s organizmom
- Použitej dávky
- Času pôsobenia
- Spôsobu adsorpcie
- Bioakumulácie
- Charakteru samotného exponovaného organizmu
- Vlastností samotného prvku a jeho bioprístupnosti [URL 5].



Obr.č. 1 Znečistenie ťažkými kovmi [URL 14]

Výskyt ťažkých kovov v určitom prostredí z hľadiska ich toxického pôsobenia neznamená len ich fyzickú prítomnosť, ale aj spôsob väzby, ktorý často toto pôsobenie výrazne ovplyvňuje. Ine účinky možno očakávať od ťažkého kovu viazaného v štruktúre horninotvorných minerálov, iné v rudných mineráloch, napríklad v sulfidoch a pôd. Jednou z veľmi dôležitých podmienok toxického pôsobenia ťažkých kovov je spôsob a forma, ako sa dostávajú k živému organizmu, k jeho orgánom. Môže to byť elementárna forma,

zlúčeniny, jednoduché i komplexné ióny. Ich prenos sa môže uskutočňovať v tuhom i plynnom skupenstve, v rôznych typoch roztokov, prvky môžu byť sorbované alebo adsorbované na rôzne nositele, biologicky viazane na rastlinne alebo živočíšne orgány, a tak môžu najmä v potravinovom reťazci prekonávať zložitý transport k človeku [URL 4].

S rozvojom modernej techniky veľmi rýchle rastie produkcia a spotreba kovov a metaloidov. Rastie tiež produkcia klasických farebných kovov, ktoré postupne nachádzajú i nové druhy uplatnenia. Platí to najmä pre hliník, olovo, ortuť, chróm. Zvyšovanie koncentrácie vyššie uvedených kovov v životnom prostredí človeka, v ovzduší, vode, pôde a požívatinách – je vážny hygienický problém, pretože rozsah neustále narastá. Pri zvyšovaní obsahu toxických kovov v pôde, sa v mnohých prípadoch zvyšuje ich obsah v požívatinách rastlinného pôvodu i v živočíšnych produktoch, čo môže mať pre človeka nepriaznivé následky (Bencko, Cíkr, Lener, 1995).

Tab. č. 1 Nebezpečenstvo ťažkých kovov pre zložky Životného prostredia [URL 12]

znižujú:	<ul style="list-style-type: none"> - produktivitu a úrodový potenciál pôd - produktivitu rastlín určených pre výživu ľudí a zvierat - hygienickú kvalitu prostredia človeka, rastlín, zvierat
menia:	<ul style="list-style-type: none"> - agrochemické procesy v pôdach - skladbu fytoocenóz (napr. ubúdajú d'atelinoviny na úkor burín)
vyvolávajú:	<ul style="list-style-type: none"> - deštrukciu asimilačného potenciálu fytohmoty - špecifické zmeny u rastlín a systematických skupín
ohrozujú:	<ul style="list-style-type: none"> - fytozdravotný stav pôd - kvalitu vôd, ovzdušia - zdravie ľudí, zvierat, rastlín - výrobu zdravotne nezávadných produktov a surovín
špeciálne nebezpečenstvo	<ul style="list-style-type: none"> - pôdy a vyššie rastliny môžu v mnohých prípadoch bez akýchkoľvek príznakov hromadiť vysoké (nadlimitné) hodnoty ťažkých kovov nebezpečné pre ľudí a zvierat

1.1.1 Atmosféra

Škodlivé účinky znečisťovania ovzdušia na človeka sa prejavujú bezprostredne na jednotlivca a v širších súvislostiach na celú spoločnosť. Zvieratá sú na znečisťovanie ovzdušia citlivé viac ako človek, ich zdravotné problémy môžu vznikáť nielen následkom vdychovania, ale aj od potravy kontaminovanej z ovzdušia [URL 10].

Podľa Bakalovej (2008), zdrojom znečistenia atmosféry toxickými kovmi sú najmä priemyselné centrá, spaľovacie procesy, doprava, hutnícky priemysel.

Negatívne účinky znečisteného ovzdušia na človeka, živočíchy a rastlinstvo delíme na :

- a) chronické – následok dlhodobého pôsobenia škodlivých látok v ovzduší s nízkou koncentráciou alebo hladinou toxicity
- b) akútne – krátkodobé pôsobenie toxických látok s vysokou koncentráciou alebo účinnosťou

Typy znečisťovania atmosféry :

- lokálne – predstavuje prevažne plochu do 100 km². Vzniká prevažne okolo veľkých priemyselných podnikov a mestských aglomerácií a rozhodujúce látky sú tie, ktoré sú v najväčšom počte
- regionálne – rozsah znečistenia 100 – 1000 km². predstavuje regióny, až svetadiely a rozhodujúce látky sú tie, ktoré vydržia v ovzduší niekoľko dní až týždňov
- globálne – predstavuje znečistenie celej atmosféry Zeme, a rozhodujú tie látky, ktoré pretrvávajú v atmosfére niekoľko rokov [URL 10].

1.1.2 Hydrosféra

Voda je najrozšírenejšou látkou na Zemi. Je podstatou biosféry a má popri pôde prvoradý význam pre zabezpečenie výživy ľudstva. Je základnou zložkou biomasy a hlavný prostriedok transportu živín. Pre mnohé živočíchy je voda životným prostredím. Každý živočíšny druh je prispôsobený určitému zloženiu vody. Človek (ako aj zviera) bez kyslíka vydrží niekoľko minút, bez vody niekoľko dní, bez potravy aj niekoľko týždňov. Voda ako jeden zo základných zdrojov biosféry plní pre ľudskú spoločnosť mnoho funkcií.

Človek ju využíva na osobnú potrebu a spotrebu, na poľnohospodársku a priemyselnú výrobu, rekreáciu, na premenu energetického potenciálu (vodné elektrárne) a na dopravu. [URL 9].

Látky znečisťujúce vodu môžu byť toxické (ťažké kovy, kyanidy, pesticídy), tiež látky ovplyvňujúce kyslíkovú bilanciu vo vodách, alebo interné, anorganické, rozpustné a nerozpustné, netoxickej povahy [URL 10].

Podľa Bakalovej (2008), sú hlavným zdrojom znečistenia hydrosféry odpadové vody pri ťažbe a spracovaní rúd, taktiež atmosférické zrážky, znečistenie exhaláciami, tvorené pri spaľovaní fosílnych palív a výfukovými plynmi motorových vozidiel. Kovy sú vo vode prítomné vo viacerých podobách, a to ako anióny, katióny, alebo vo forme zlúčenín, ktoré sú spravidla menej toxické, ako samotné ióny.

Zdrojom znečistenia vôd môžu byť odpadové vody :

- z ťažby a spracovania rúd z hút
- z povrchovej úpravy kovov
- z chemického, textilného, kožiarskeho priemyslu
- z poľnohospodárstva [URL 12].

1.1.3 Pedosféra

Vnášanie škodlivín do pôdy prostredníctvom vzduchu (exhaláty, atmosférické zrážky), vody (kvapalné odpady) a tuhých odpadov dosiahlo také rozmery, že v súčasnosti nemožno nájsť neovplyvnené pôdy. Pôda sa pri znečisťovaní správa ako prírodný sorbent – tvorí sa z nej stály rezervoár znečistenín, ktoré potom čerpajú a hromadia v sebe rastliny. 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. [URL 6].

Zmeny v prirodzenom zložení zemského povrchu významne ovplyvňujú prirodzené biochemické cykly a prirodzenú rovnováhu prvkov v prírodnom prostredí. Účinky ťažkých kovov sa prejavujú aj na pôdach, v ktorých dochádza ku zhoršovaniu fyzikálnych, chemických a biologických vlastností. Vysoká toxicita ťažkých kovov súvisí s ich dlhodobým pôsobením v pôde. Vplyvom kyslých dažďov dochádza k uvoľňovaniu

ťažkých kovov z kryštalickej mriežky, prechádzajú do rozpustnej formy a zvyšujú riziko ich negatívneho pôsobenia (Violová, Magulová, 1995).

Znečistenie pôdy má oproti znečisteniu ovzdušia a vody určité špecifikum v tom, že ho nemôžeme pozorovať okamžite. Prejavuje sa skryte a preto začiatkové štádiá znečistenia pôdy sa dajú len ťažko kontrolovať. Prejavuje sa zvyčajne nepriamo znížením produkcie alebo zhoršením kvality produkcie. Niektoré druhy znečistenia dokáže pôda likvidovať chemickými a biologickými procesmi (napr. znečistenie pôdy zlúčeninami síry a dusíka), iné druhy znečistenia dokáže len čiastočne eliminovať (ťažké kovy, arzén) [URL 6].

Podľa Gábriša (1987), v kontaminácii pôdy, ovzdušia a vody sú značné rozdiely. Zatiaľ čo voda a vzduch majú možnosť pohybu, prúdenia i miešania, ako spôsobov znižovania koncentrácie, pôda kontaminovaná cudzorodými látkami túto možnosť nemá. Rizikové prvky môžu znehodnotiť pôdu s prechodným, alebo trvalým účinkom. Zdrojom týchto rizikových prvkov je hlavne energetika.

Znečistenie pôdy ťažkými kovmi je výsledkom pôsobenia mnohých zdrojov, a to najmä priemyslu, ale aj poľnohospodárstva, energetiky a dopravy. Väčšina týchto kovov sa hromadí v pôde, pričom negatívne pôsobí najmä pri nižších hodnotách pH pôdy. Výskyt ťažkých kovov v pôde je hrozbou pre rastliny a cez ne aj pre zvieratá a ľudí (Bielek, 1998).

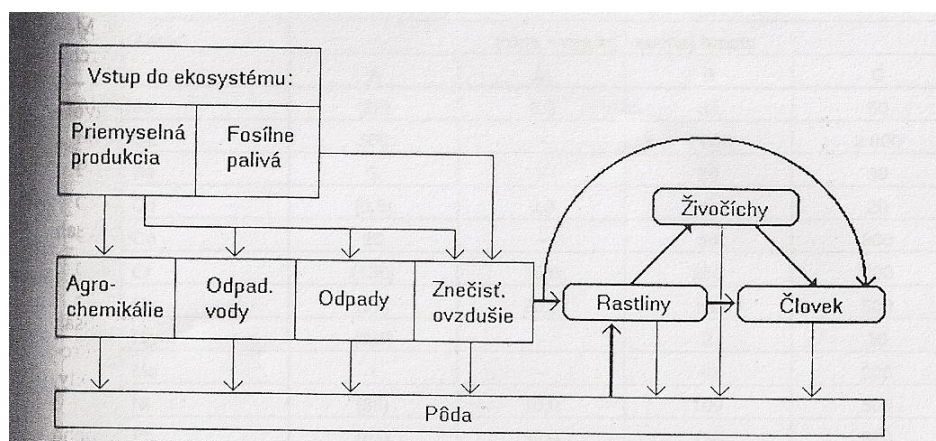
Na zvyšujúcu prístupnosť toxických kovov do rastliny majú účinok aj kyslé dažde. Pôda má proti vzduchu a vode nevýhodu v tom, že i po odstránení zdroje znečistenia, zostáva zdrojom niektorých toxických kovov ešte veľa rokov, pretože sa hromadia v povrchových vrstvách pôdy a usadeninách tokov (Bakalová, 2008). Pôda je často kontaminovaná ťažkými kovmi priemyselnou činnosťou človeka, ale tiež vplyvom rozvíjajúcej sa automobilovej a leteckej dopravy. Okrem toho, človek aj svojou poľnohospodárskou činnosťou, najmä používaním nekvalitných priemyselných hnojív, dodával do pôdy s hnojivami aj ťažké kovy (napr. fosforečné hnojivá obsahujúce kadmium) (Gábriš, 1987).

Pôda v tomto kolobehu zohráva významnú úlohu najmä svojou filtračnou, pufrácnou a akumulácnou funkciou. Časť ťažkých kovov sa absorbuje, pevnejšími či labilnejšími väzbami na pôdne komponenty, časť je transportovaná do podzemných vôd, časť prijímaná rastlinami a to v závislosti od hygienického stavu konkrétnej pôdy. Aj "zdravá pôda" je však zraniteľná a je schopná zabezpečovať svoju hygienickú funkciu len do určitej hranice.

Po prekročení limitných hodnôt indikátorov zraniteľnosti pôdy dochádza k narušeniu jej funkcií a následne k prieniku znečisťujúcich látok do biomasy a do podzemných vôd [URL 1].

Charakteristické vplyvy ťažkých kovov v pôdach podľa Zaujeca (1999)

1. ich toxický vplyv v pôde sa neprejavuje okamžite vizuálne, ale len postupným zvyšovaním ich obsahu dochádza k nepriamym zmenám v pôdach, ktoré majú za následok zníženie celkovej pôdnej úrodnosti
2. doba zotrvania ťažkých kovov v pôdach je značne dlhšia než v atmosfére i hydrosfére, pretože polčasy rozpadov niektorých prvkov sú dlhodobé a tým i stupeň premývania a príjem rastlinami je pomalý
3. pri porovnaní s hydrosférou a atmosférou je detoxikácia pôdy technickými prostriedkami veľmi obmedzená
4. samočistiaca schopnosť pôdy je nižšia ako vzduchu a vody
5. žiadne dávky ťažkých kovov, pokiaľ majú karcinogénne účinky, nemôžu byť považované za bezpečné
6. toxicita ťažkých kovov nie je stálou funkciou, pretože pri vstupe ťažkých prvkov do pôdy dochádza k fyzikálno – chemickým zmenám a prvok sa zapája do biogeochemického kolobehu. V dôsledku toho vzniká alebo zaniká celý rad látok, ktoré zvyšujú alebo znižujú toxicitu daného prvku v prostredí.
7. každý ťažký prvok má rozdielny fyziologický význam, a tým i rôzny stupeň biotoxicity



Obr.č. 2 Kolobeh ťažkých kovov (Tomáš et al. 2007)

1.2 Ťažké kovy a ich charakteristika

Kontaminácia životného prostredia sa v poslednej dobe stala jedným z hlavných spoločenských problémov. Jednou z najzávažnejších skupín rizikových látok v životnom prostredí sú ťažké kovy. Ide o pomerne rozsiahlu skupinu kontaminantov, ktoré sa vyznačujú variabilnými vlastnosťami, účinkami i zdrojmi svojho pôvodu a v mnohých prípadoch aj meniacimi sa prístupmi a názormi odbornej verejnosti na ich nebezpečie pre človeka. (Lahučký, Árvay, Bystrická, Čéry, 2009). Ťažké kovy patria medzi základné skupiny kontaminujúcich látok, ktoré sa sledujú v rôznych zložkách životného prostredia. (Ďurža, Khun, 2002).

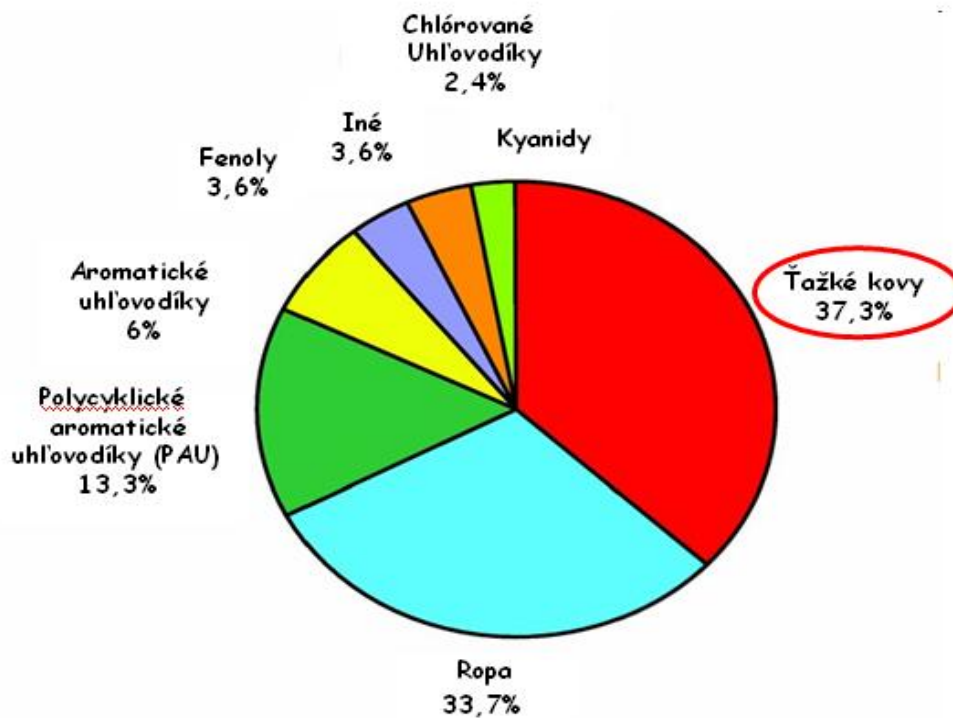
Používanie termínu ťažké kovy nie je jednoznačné. Niekedy sa nahrádza termínom toxické prvky alebo stopové prvky. Toxické prvky je však pojem použiteľný len pre neesenciálne prvky, ako Pb, Cd, Hg, či As. Termín stopové prvky nemá také široké uplatnenie. Termín ťažké kovy je všeobecne najznámejší a najviac používaný názov (Ilavský, 2010).

Označenie ťažké kovy bolo prevzaté z metalurgie. Používa sa na označenie 37 prvkov periodickej sústavy prvkov, ktoré mali atómovú hustotu vyššiu ako 5 g.cm^{-3} . Z environmentálneho a toxikologického hľadiska sa pojem ťažké kovy obyčajne spája s kovovými prvkami, ktoré spôsobujú nežiaduce toxické účinky a znečisťujú životné prostredie (Ducsay, Kočík, Kulich, 2009).

Niektoré ťažké kovy sú nevyhnutné pre normálny rast rastlín a živočíchov avšak len vo veľmi nízkych koncentráciách. Označujú ako mikroprvky. Avšak pri prekročení určitej kritickej koncentrácie pôsobia toxicky (Ďurečková, 2004). Kovy na jednej strane v malých množstvách katalyzujú dôležité biochemické reakcie v organizmoch, na druhej strane vyvolávajú vážne ochorenia a poškodenie rôznych orgánov (Gábriš, 1998). Ťažké kovy sa definujú aj ako cudzorodé látky, ktoré nie sú prirodzenou zložkou požívateľín a nie sú ani potravinárskymi prísadami, pričom ich prítomnosť môže mať vplyv na zdravie človeka (Gréserová, Holíková, 1995).

Z hľadiska účinnosti určitého kovu na organizmus je dôležité prijímané množstvo, fyziologický účinok kovu, schopnosť akumulácie a prirodzená odolnosť organizmu vzhľadom k prijatému ťažkému kovu (Makovníková, 2000).

Ťažké kovy predstavujú nebezpečenstvo najmä z dlhodobého hľadiska, pretože sa postupne akumulujú a ich samoregulačný mechanizmus v prírode neexistuje (Slováková, Mystrík, 2007).



Obr. č. 3 Prehľad kontaminantov pôd a podzemných vôd v Európe [URL 13]

1.2.1 Zdroje ťažkých kovov

Hlavné zdroje ťažkých kovov sú:

1. Priemyselné, energetické a dopravné emisie, ktoré sa v konečnej fáze dostávajú do pôdy, vody a sedimentov.
2. Akcesorické súčasti niektorých priemyselných hnojív (kadmium vo fosf. hnojivách) a niektorých pesticídov.
3. Priemyselne vyrábané komposty z domových a priemyselných odpadov
4. Závlahové vody, do ktorých sa dostávajú eróznym zmyvom alebo inou depozičnou cestou (havárie)
5. Horniny a minerály, ktorých zvetrávaním sa vytvorila pôda
6. Kontaminanty alebo produkty sopečnej činnosti, erózie a produkty jadrových zbraní a havárií jadrových zariadení [URL 10]

Podľa pôvodu môžeme vyčleniť dva zdroje ťažkých kovov :

- prírodné
- antropogénne (Slováková, Mystrík, 2007)

Prírodné zahŕňajú zvetrávacie procesy, atmosférickú depozíciu kovov a vulkanické erupcie, rozklad rastlinnej a živočíšnej hmoty, veterná erózia, lesné požiare, produkty rastlín, oceánsky aerosól (Ilavský, 2010).

Ťažké kovy tvoria prirodzenú súčasť zloženia zemského povrchu a z toho dôvodu sa v rozličných koncentráciách vyskytujú všade. V dôsledku ľudskej činnosti sa však prirodzená rovnováha prvkov v horných vrstvách zemskej kôry narušila. Ťažké kovy ako chemické prvky nepodliehajú rozkladu a postupne dochádza k ich neprirodzenému hromadeniu v prírodnom prostredí (Violová, Magulová, 1995).

Vo všeobecnosti antropogénne zdroje toxických kovov presahujú prírodné zdroje. Dôraz sa kladie na baníctvo, ako na hlavný zdroj kontaminácie, no nemožno zanedbať ani ďalšie zdroje, napr. vypúšťané odpadové vody, priesaky zo skládok a pod. Vypúšťanie priemyselne znečistených vôd a nesprávne zaobchádzanie s kalmi a sedimentmi sú častým zdrojom ťažkých kovov vo vodách. Ide najmä o odpady z garbiarskeho, farbiarskeho, kožiarskeho, sklárskeho, rudného, strojárskeho, chemického, farmaceutického, či elektronického priemyslu. Domové odpadové vody obsahujú kovy z metabolického rozkladu, prania, zo spotrebných výrobkov a z rozpúšťania kovových rúr (Ilavský, 2010).

Tab. č. 2 Zdroje kontaminácie životného prostredia rizikovými prvkami podľa (Ducsay, Kočík, Kulich, 2009)

Rizikový prvok	Zdroj kontaminácie
Arzén	Spracovanie rúd, hnojivá, fajčenie, liečivá pre veterinárnu medicínu, ochranné prostriedky na drevo
Kadmium	Fosforečné hnojivá, pigmenty pre farby a plasty, batérie, fajčenie,
Olovo	Chemický priemysel, akumulátory, olovnaté sklo, hnojivá, insekticídy, spaľovanie fosílnych palív, používanie olovnatého benzínu
Ortuť	Spracovanie rúd, herbicídy, batérie, liekárstvo (zubné amalgámy)

1.2.2 Toxické účinky ťažkých kovov na živé organizmy

Jednotlivým ťažkým kovom sú prisudzované rôzne hodnoty a rôzne následky ich pôsobenia na živý organizmus (Ďurža, Khun, 2002). Väčšina z nich je pre organizmus škodlivá. Mnohé sú značne toxické pre človeka, pre zvieratá, ale aj rastliny (Kováčik, 2006). Kovy všeobecne predstavujú vážne znečisteniny a už vo veľmi nízkych koncentráciách môžu vyvolať poškodenie a ochorenie organizmu (Gábriš, 1998).

Hoci v určitom kolobehu existujú priame atmosférické vstupy do rastlín, vstup týchto látok do pôdy, s následným transférom do rastliny, je pre väčšinu ťažkých kovov hlavnou cestou vstupu do živých tkanív rastlín, živočíchov a ľudí (Zaujec, 1999).

Účinok na živé organizmy môže byť metabolický, karcinogénny a mutagénny, a závisí od niekoľkých faktorov :

- vlastnosti samotného prvku
- spôsobu jeho kontaktu s organizmom
- použitej dávky
- času pôsobenia
- bioakumulácie
- charakteru samotného exponovaného organizmu (Ďurža, Khun, 2002).

Najčastejšími príznakmi pri otrave ťažkými kovmi je nevoľnosť a zvracanie, ochorenie pľúcneho laloku, obličkové ochorenia, rakovina, ochorenie nervového systému, mozgové poruchy a poruchy reprodukčného systému a iné (Ilavský, 2010).

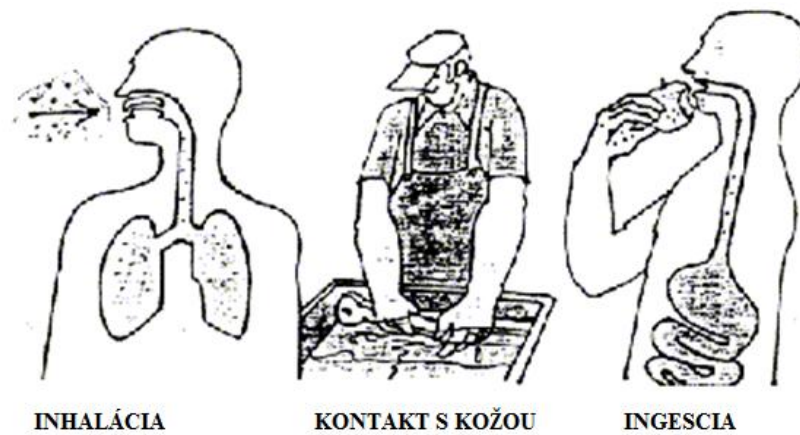
Zvieratá, podobne ako človek, sú citlivé na znečistené ovzdušie a v niektorých prípadoch sú ešte citlivejšie. Znečistené ovzdušie vyvoláva u nich nechúť k potrave, zažívacie poruchy, chudnutie, poškodzovanie srsti, neplodnosť, pokles úžitkovosti a pod. produkty zvierat ako mäso, mlieko, vajcia, med sú súčasťou potravného reťazca a veľmi často významným zdrojom kontaminácie ľudskej potravy. (Noskovič a kol. 2005).

Spôsoby vstupu kovov do organizmu:

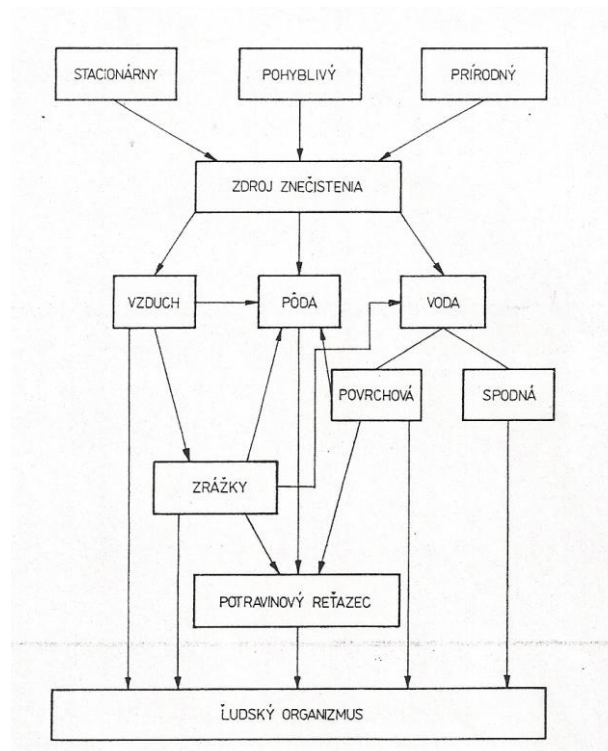
- Inhaláciou (vdýchnutím) – z hľadiska toxikologického najdôležitejšia cesta vstupu
- Transdermálne (kožou) – transdermálne vstrebávanie pár a plynov väčšinou nepostačuje na vyvolanie vážnej otravy; kontakt s kvapalinou môže mať vážnejšie

dôsledky; uvádza sa, že neporušenou pokožkou prenikajú chemikálie ťažšie ako inými cestami, ale nemusí to tak byť vždy (rozhodujú o tom vlastnosti chemikálie atď.); dermálne vstrebávanie sa radikálne mení pri mechanickom alebo chemickom porušení pokožky (popálenie, poleptanie, rôzne ochorenia, porezanie, odreniny)

- Intravenózne (injekčne alebo poranením)
- Perorálne (ústami) – látky vstrebané v rámci gastrointestinálneho traktu (okrem tučného čreva a konečníku) podliehajú biotransformácii v pečeni pred vstupom do veľkého krvného obehu → rozdiel v toxicite látok podaných ústami alebo inou cestou [URL 5].



Obr. č. 4 Spôsob vstupu kovov do organizmu [URL 13]



Obr. č. 5 Cesty kontaminujúcich látok od zdroja do ľudského organizmu (Rosival L. et al. 1983)

Rizikovosť ťažkých kovov spočíva v ich stresovom účinku na rastliny (Kováčik, 2000). Tento vyvoláva fyziologické procesy, ktoré sa môžu prejaviť :

- zabrzdnením rastu a vývinu
- trvalými zmenami latkového metabolizmu, ktorých výsledkom je merateľný úbytok úrody
- zánikom rastliny (Kováčik, 2000; Gabriš, 1998).

1.2.3 Fytotoxicita ťažkých kovov a odolnosť rastlín

Ťažké kovy môžu byť prijímané rastlinami pasívne, alebo aktívne koreňovými bunkami. Ióny v pôdnom roztoku sa dostávajú na povrch koreňov a prenikajú do koreňových buniek. Predpokladá sa, že rastliny majú vytvorený špeciálny mechanizmus na detoxikáciu kovu. Rastliny ukladajú kovy v bunkových stenách, alebo vakuolách, prípadne premenia anorganickú formu kovu vo vnútri bunky na menej škodlivú formu, najčastejšie organický komplex. Pravdepodobne peptidické látky - fytochelatíny, ktoré sa vyskytujú v rastlinách rastúcich pri vysokých koncentráciách kovov, chránia rastlinné bunky pred poškodením [URL 11].

Fytotoxické účinky závisia predovšetkým od :

- koncentrácie a množstva prístupnej formy prvku v pôdnom roztoku,
- od rýchlosti prechodu prvku z pevnej fázy do kvapalného roztoku,
- od fyzikálno-chemických vlastností pôdy
- od druhu pestovaných plodín (Ducsay, Kočík, Kulich, 2009)

Rastliny môžu hromadiť ťažké kovy v tkanivách, alebo na svojom povrchu, v dôsledku veľkej schopnosti adaptovať sa na zmeny chemických vlastností prostredia. Preto sa rastliny považujú za určitý rezervoár, cez ktorý ťažké kovy prechádzajú z pôdy a čiastočne aj z vody a vzduchu do živočíšnych organizmov (Violová, Magulová, 1995).

Rastliny resorbujú ťažké kovy z pôdneho roztoku, ale sú schopné i kontaktného príjmu z tuhých častíc pôdy. Množstvo rastlinou resorbovaného ťažkého kovu v daných podmienkach závisí väčšinou od jeho koncentrácie v pôde. Väčšina ťažkých kovov sa kumuluje v koreňovom systéme (Chreneková, 1983).

Ťažké kovy pôsobia na rastliny ako stresový faktor. Vyvolávajú zmeny až zániky spoločenstiev. Rozbor rôznych častí ukázal, že všeobecne najviac kovov obsahujú korene, potom listy a stonky a najmenej semená, plody, hľuzy a bulvy. (Ďurža, Khun, 2002).

Nadmerná koncentrácia esenciálnych a neesenciálnych kovov spôsobuje narušenie metabolických dejov a pôsobí fytotoxicky (Kováčik, 2000).

Mechanizmy zabraňujúce nárastu ťažkých kovov v rastlinách sú rozličné. Toleranciu rastlín voči ťažkým kovom možno definovať ako schopnosť prežiť v pôde, ktorá je pre ostatné rastliny toxická (Slováková, Mystrík, 2007).

Genetické analýzy však naznačujú aj možnú dedičnú rezistenciu niektorých rastlín ku príjmu a akumulácii ťažkých kovov. Ekologické štúdie odhalili existenciu špecifických spoločenstiev rastlín, ktoré sa vyskytujú na pôdach so zvýšenými koncentraciami ťažkých kovov a napriek tomu nevykazujú symptómy toxicity (Makovníková, 2000).

Rastliny, ktoré sú odolné voči ťažkým kovom sú tzv. chemoekotypy. Poznáme aj rastliny ktoré dokážu akumulovať extrémne vysoké hladiny toxických ťažkých kovov a môžu sa stať indikátory prostredia zamoreného ťažkými kovmi. Tieto rastliny sa nazývajú metalofyty. Neobmedzujú rast ani pri zvýšenej akumulácii ťažkých kovov. Tie ktoré rastú na pôdach s prirodzene vysokou koncentráciou ťažkých kovov si vytvorili adaptačné mechanizmy. Jedným zo spôsobov zneškodnenia ťažkých kovov je ich zabudovanie do bunkovej steny alebo ich väzba na chemické komplexy (Bláha, Hnilička, Hniličková a i., 2003).

Faktory ovplyvňujúce množstvo absorbovaného kovu rastlinou sú :

- Koncentrácia a forma výskytu kovu v pôdnom roztoku
- Pohyb kovu z pôdy na povrch koreňového systému
- Transport kovu z povrchových častí do vnútorných častí koreňov
- Translokácia kovu z koreňa do výhonkov (Ďurža, Khun, 2002).

Jedným z možných mechanizmov odolnosti rastlín k vysokým koncentraciám ťažkých kovov je transportná blokáda, t.j. obmedzenie ich príjmu alebo transportu do ich nadzemných častí (Makovníková, 2000).

Je známe, že rastliny, ktoré hromadia ťažké kovy vo vakuolách a membránach vakuol, chránia ostatný bunkový obsah pred toxickým efektom ťažkých kovov spôsobom podobným membránam buniek ľudskej pečene. Rastlina sa na jednej strane sama bráni

toxickým účinkom ťažkých kovov, ale na druhej strane, existuje zaujímavý predpoklad, že niektoré rastliny vedia využiť tento stresujúci faktor vo svoj prospech. Do svojho tela, akumulujú veľké množstvo ťažkých kovov a tým sa stávajú menej chutnými pre byľinožravce (Bláha, Hnilička, Hniličková a i., 2003). Pre správne pochopenie metabolizmu a funkcie jednotlivých stopových prvkov v rastlinách je potrebné poznať ich príjem a transport vo vnútri rastlín, enzymatické procesy, obsahy či formy, v ktorých sa v rastlinách vyskytujú. Existujú značné rozdiely v príjme stopových prvkov medzi rastlinami, ale takisto aj medzi druhmi a odrodami (Ducsay, Kočík, Kulich, 2009).

Rastliny sa všeobecne rozdeľujú podľa foriem odolnosti voči toxicite rôznych kovov na dve skupiny. Do prvej patria rastliny so schopnosťou zabrániť vstupu toxických kovov do bunky a označujú sa ako „vylučovače“ a do druhej skupiny zaraďujeme rastliny, ktoré tolerujú vysoký obsah kovov v bunke a označujeme ich ako „akumulátory“ (Bláha, Hnilička, Hniličková a i., 2003).

1.2.3.1 Vstup ťažkých kovov do rastlín

Princíp vstupu ťažkých kovov do rastliny spočíva v ich absorpcii z pôdneho roztoku na povrch koreňov a následnom transporte z povrchu do vnútra koreňov z kadiaľ sa translokujú do výhonkov rastliny. Rizikové prvky sa do rastliny nedostávajú len cez jej koreňový systém, ale pomerne významná je aj ich bioprístupnosť z atmosférického depozitu cez listy. Veľmi dôležitý je fakt, že sa môže uskutočňovať aj napriek koncentračným gradientom (Ján Styk, 2001).

Ťažké kovy sa môžu do rastlín dostať z pôdy, v ktorej sa vyskytujú vo zvýšenom množstve buď v dôsledku ich zvýšeného obsahu v materských horninách, alebo z naakumulovaných obsahov rôznych antropogénnych činností (Ďurža, Khun, 2002).

Ťažké kovy sa z hľadiska ich vplyvu na normálny rast rastlín rozdeľujú na :

- a) esenciálne, t.j. tvoriace prirodzenú súčasť zloženia rastlín
- b) neesenciálne, t.j. škodlivé

Po prekročení hraničnej hodnoty sa však všetky ťažké kovy stávajú pre rastliny škodlivé (Violová, Magulová, 1995). Zvýšenie koncentrácie esenciálnych, alebo neesenciálnych kovov v pôde môže zapríčiniť rôzne symptómy toxicity, ako aj inhibovať rast mnohých rastlín. Toxické viditeľné symptómy rastlín pri vyšších koncentráciách

Ťažkých kovov môžu spôsobiť rôzne interakcie na bunkovej i molekulárnej úrovni. Korene rastlín, konkrétne bunkové steny koreňových buniek, prichádzajú ako prvé do kontaktu s iónmi ťažkých kovov v pôde. Schopnosť akumulácie ťažkých kovov v organizmoch závisí od ich formy a povahy samotného organizmu (Slováková, Mystrík, 2007).

K hlavným faktorom, ktoré vplývajú na vstup ťažkých kovov z pôdy do rastliny patrí :

- pôdna reakcia
- zrnitosť
- obsah a kvalita organickej hmoty
- redox potenciál
- hnojenie
- prítomnosť iných prvkov (synergizmus alebo antagonizmus)
- druh a odroda rastliny
- spôsob kultivácie
- selektivity rastlín,
- od ich rastovej a vývojovej fázy
- distribúcie v jednotlivých častiach, zvlášť v produktívnych (Makovníková, 2000; Tomáš, Hronec a kol. 2007)

Tab. č. 3. Biochemický účinok nadmernej koncentrácie ťažkých kovov (Kováčik, 2000).

PRVKY	VPLYV NA BIOCHEMICKÉ PROCESY
Ag, Au, Cd, Hg, Pb, F, I, U	Zmeny v priepustnosti bunkových membrán
Hg	Inhibícia syntézy proteínov
Ag, Hg, Pb, Cd, Tl, As (III)	Viazanie na -SH skupiny
As, Sb, Se, Te, W, F	Konkurencia o väzbové miesto s esenciálnymi metabolitmi
Väčšina ťažkých kovov, Al,	Inhibícia enzýmov
Tl, Pb, Cd	Respirácia
Cd Pb,	Fotosyntéza
Cd Pb, Hg, Tl, Zn	Transpirácia
Cd Pb, Hg, Tl, As	Chloróza
Cd Co, Cr, F, Hg, Mn,	
Al, Cu, Fe, Pb, Rb	

1.3 Vplyv ťažkých kovov na fyziologické procesy

1.3.1 Vplyv ťažkých kovov na aktivitu enzýmov a metabolických procesov

Väčšina rastlín je citlivá na ťažké kovy. Ak sa aj objavia na toxickom stanovišti, rastú s menším či väčším poškodením. Na obsah ťažkých kovov reagujú poruchami funkcie prieduchov, potlačením fotosyntézy, narušenou respiráciou a činnosti enzýmov, čo sa prejavuje zabrzdnením rastu až uhynutím. Preto možno nájsť na substrátoch bohatých na ťažké kovy takéto abnormálnosti:

- zakrpatené rastliny, tzv. nanizmy
- chloróza – porucha metabolizmu chlorofylu
- zníženie bohatosti druhov rastlín (čím je vyšší obsah kovov v pôde tým je menší počet druhov [URL 11]).

Ťažké kovy majú účinok na aktivitu enzýmov a metabolické procesy, napr. na pentózo-fosfátový cyklus, mitochondriálnu respiráciu, fotosyntézu, syntézu chlorofylu a ATP. Výskyt kovov v prostredí a neskôr v rastline má za následok zníženú aktivitu antioxidantných enzýmov (katalázy, glutatiónreduktázy), čo môže byť príčinou zvýšeného obsahu voľných radikálov ako dopadu oxidácie lipidov (Bakalová, 2008).

1.3.2 Vplyv ťažkých kovov na fotosyntézu

Fotosyntéza patrí medzi najstaršie a najdôležitejšie procesy v prírode. Fotosyntetický aparát, ktorý zabezpečuje svetelnú a tmavú fázu je ku ťažkým kovom veľmi citlivý. V rastlinnej bunke redukujú počet a veľkosť chloroplastov (Staszková, Táborský, 2006). Jednou z príčin môže byť uzatvorenie, či vzrastajúci odpor prieduchov a listového mezofylu k príjmu CO₂. Ťažké kovy spôsobujú brzdenie fixácie CO₂ v temnej fáze fotosyntézy. Zvýšené koncentrácie ťažkých kovov v prostredí spôsobujú v chloroplastoch ultraštruktúralne zmeny. Nadmerné vystavovanie rastlín ťažkým kovom ovplyvňuje aj obsah chlorofylu (Bakalová, 2008).

1.3.3 Vplyv ťažkých kovov na respiráciu rastlín

Respirácia u rastlín je súbor procesov premien organickej hmoty za účasti voľného kyslíka, ktoré je sprevádzané uvoľňovaním chemickej energie obsiahnutej v molekule

organickkej látky. Energiu uvoľnenú pri dýchaní rastlina využíva na rôzne fyziologické a biochemické pochody, napr. pri syntéze sacharidov, bielkovín, pri príjme a transporte živín, pri raste a pod. [URL 15].

Ťažké kovy pôsobia aj na respiráciu rastlín. Ich vystavovanie nízkym koncentráciám ťažkých kovov respiráciu podnecuje. Príčinou je pravdepodobne znížená fotofosforylácia, ktorá nie je schopná zásobiť rastlinu dostatočným množstvom ATP, a preto sa dočasne zvyšuje požiadavka na tvorbu ATP cestou oxidačnej fosforylácie. Vyššia koncentrácia pôsobí na respiráciu spomaľujúco, čo je pravdepodobne spojené so "zásahmi" ťažkých kovov do Krebsovho cyklu. Za prvé miesto ich pôsobenia je považovaný sukcinátdehydrogenázový komplex, menej citlivá je oxidácia NADH a malátu. (Bakalová, 2008).

1.3.4 Vplyv ťažkých kovov na vodný režim rastlín

Príčiny poklesu rýchlosti transpirácie a obsahu vody v rastline sú vysvetľované zníženou otvorenosťou prieduchov. Už nízke koncentrácie kadmia spôsobujú zvýšenie množstva nedostatočne vyvinutých prieduchov, ktoré majú malé otvory, sú uzavreté, alebo majú nedostatočne funkčný uzatvárací mechanizmus. Priamy vplyv kadmia na otvorenosť prieduchov môže byť spôsobený zmenami toku K⁺ cez plazmatickú membránu. Príčinou vädnutia rastlín môže byť tiež redukcia podielu xylému. Zníženie obsahu vody pri zníženej transpirácii má za následok, že vysoké množstvo kadmia pravdepodobne znižujú príjem a transport vody rastlinou, ovplyvňuje rast koreňov, znižuje tvorbu koreňových vláskov a zapríčiňuje štrukturálne zmeny, ktoré vedú k zvýšeniu odporu toku vody do a vnútri koreňov (Bakalová, 2008).

1.3.5 Vplyv ťažkých kovov na rast rastlín

Kovy prijaté rastlinami vyvolávajú množstvo metabolických zmien, ktoré sa odrážajú v znížení rastu. Nízke koncentrácie kadmia v prostredí majú na tvorbu biomasy stimulačné účinky. Je možné predpokladať, že korene rastlín majú obmedzený počet väzobných miest pre kovy. Pri vysokých koncentráciách kovov sú väzbové miesta plne saturuje a ďalšie prídavok kovu už nevedie k ďalšiemu zvyšovaniu obsahu týchto kovov v rastlinách. Adaptácia rastlín na nízke koncentrácie kadmia a olova im umožnila tolerovať vysoké koncentrácie tohto kovu bez výraznejšieho zníženia rastu (Bakalová, 2008).

1.4 ARZÉN

1.4.1 Zdroje arzénu v životnom prostredí

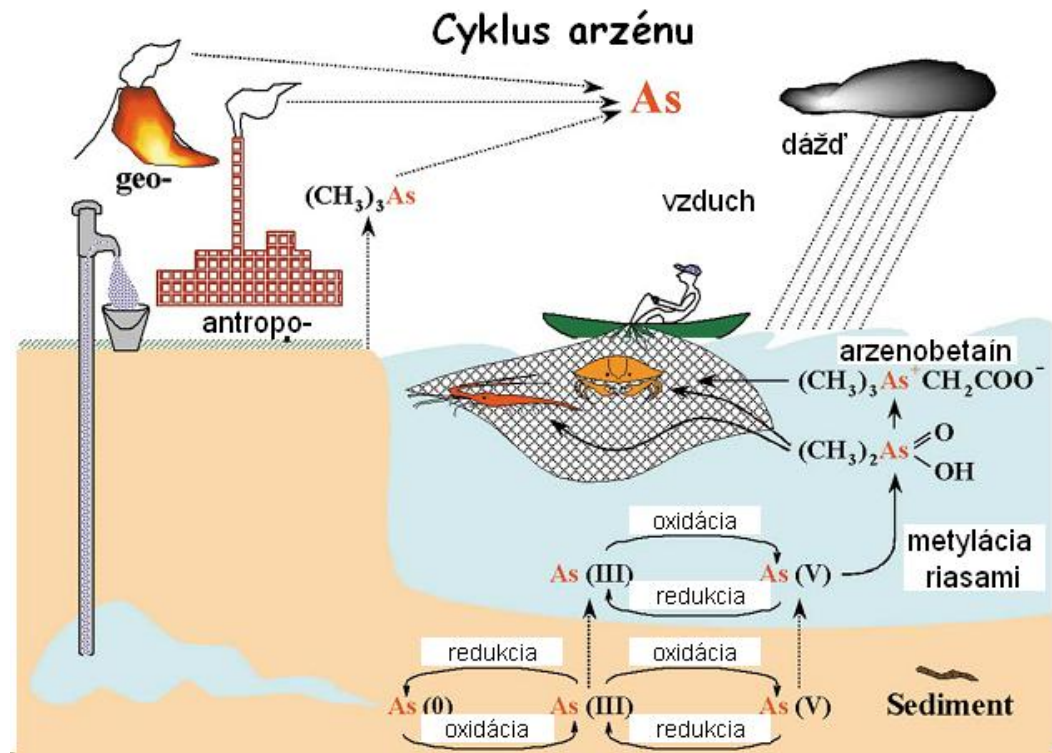
Zdrojom arzénu u nás je najmä energetika a hutníctvo (Hronec, Tóth, Tomáš, 2002). Používa sa vo farmaceutickom priemysle, v sklárstve, pre veterinárne účely, ako súčasť niektorých herbicídov, jedov proti kobyľkám a pri preparácii loveckých trofejí. Nájdeme ho aj v prostriedkoch na konzerváciu dreva proti hubám (Bencko, Cikrt, Lener, 1995).

Arzén a jeho zlúčeniny sa do ovzdušia dostávajú tiež pri použití pesticídov, čím je daná možnosť, že sa dostávajú cez potravinový reťazec mnohými cestami do organizmu (Šiška, 1980). Elementárny arzén nie je jedovatý. Jeho zlúčeniny (oxid arzenitý, arzenitany a arzeničnany) sú však prudko jedovaté (Gábriš, 1987). Pričom zlúčeniny As^{5+} sú menej toxické, resp. sa rýchlejšie vylučuje ako zlúčeniny As^{3+} , ktorý sa kumuluje v pečeni, vo vlasoch i v nechtoch (Wolf, 1985).

V nepatrných koncentráciách je As prakticky vždy prítomný vo všetkých živočíšnych a rastlinných tkanivách. Požadovaná dávka pre ľudské telo je 12 g.deň^{-1} . Arzénové vložky používané v stomatológii síce neohrozia ľudský život otravou, no môžu však spôsobiť lokálnu nekrózu čeľuste. Toxicky začína As pôsobiť v dávkach 30 až 50 mg, najmenšie letálne dávky sa udávajú okolo 60 – 80 mg a priemerné smrteľné dávky sa pohybujú v rozmedzí 200 – 300 mg u dospelého človeka (Ďurža, Khun, 2002). Pri zvieratách, už pri denných dávkach $0,1 \text{ mg As.kg}^{-1}$ živej hmotnosti spôsobuje po asi jednomesačnom príjme úplné zastavenie produkcie mlieka, zníženie prírastkov na váhe a poškodenie jeho celkového stavu (Noskovič a kol. 2005). Vysoký obsah arzénu obsahujú ustrice, morské ryby, či morský mäkkýše (Wolf, 1985).

Do organizmu sa arzén dostáva všetkými zvyčajnými cestami. Vylučuje sa najmä močom a stolicou. Pri profesionálnej expozícii sa vo zvýšenej miere vyskytuje vo vlasoch a nechtoch. Anorganické zlúčeniny arzénu pri konzumovaní veľkých množstiev sú veľmi toxické (Gábriš, 1987).

Arzén sa môže dostať do spodných vôd a výsledkom je, že sa v zásobách pitnej vody v okolí nachádzajú nebezpečné množstvá tohto ťažkého kovu. Ak sa už raz dostanú ťažké kovy do okolitého prostredia, pretrvávajú v ňom roky i storočia a stúpa pravdepodobnosť, že sa s nimi ľudia dostanú do styku [URL 7].



Obr. č. 6. Cyklus arzénu [URL 13]

1.4.2 Arzén v rastlinách a jeho fytotoxicita

Mobilita arzénu je daná intenzitou sorpcie v pôde a je určovaná zrnitosťou pôdy, obsahom humusu, obsahom oxidov železa a hliníka, pH a vlhkosťou pôdy. Arzén patrí medzi známe inhibitory látkového metabolizmu rastlín. Znižuje obsah ATP, čo sa v konečnom dôsledku prejavuje v úchylkách látkového metabolizmu. Toxické účinky arzénu spočívajú pravdepodobne v reverzibilnej väzbe s bielkovinami (Gábriš, 1987).

V rastlinách sa nachádza v množstve $0,02 - 7 \text{ mg.kg}^{-1}$. Dostupnosť As v pôdach pre rastliny je podmienená zmenami pH. Vo všeobecnosti stúpa toxicita As pre rastliny, čím je pôda kyslejšia. Fytotoxický efekt As sa prejavuje stratou farby a následnou nekrotou (odumieraním) špičiek a krajov listov (Ďurža, Khun, 2002).

Arzén je rastlinami prijímaný v závislosti od druhu rastliny. Listová zelenina prijíma arzén výhradne z atmosféry, ale zemiaky a mrkva prijímajú arzén v značných množstvách aj z pôdy (Ducsay, Kočík, Kulich, 2009). Pri vstupe arzénu z pôdy do rastlín sa kumuluje v koreňoch. Menej sú kontaminované nadzemne časti a najmenej generatívne orgány (Gábriš, 1998).

1.4.3 Symptómy toxicity arzénu

Arzén je kapilárotoxický jed ktorý zastavuje dýchanie a obeh krvi. Akútne otravy sa prejavujú rýchlym bezvedomím, zastavením dýchania a krvného obehu (Hronec, Tóth, Tomáš, 2002.)

Chronická otrava arzénom je zriedkavá a prebieha dlhodobo. Prejavuje sa narušením výživy tkanív na základe cievnych a obehových porúch. Časté sú neurologické a hematologické zmeny, poškodenie zrakových funkcií, či prejavy na koži a slizniciach (Ďurža, Khun, 2002).

Podľa svojho mocenstva sa viaže na proteíny a koncentruje sa v leukocytoch. Pri dlhšej expozícii arzénovými zlúčeninami sa hromadí As^{3+} v pečeni a vo vlasoch (Gábriš, 1998).

1.4.4 Vplyv arzénu na ľudský organizmus

Dôsledky pôsobenia arzénu na ľudí, zvieratá a rastlinstvo môžeme rozdeliť na akútne, končiace smrťou a chronické, prejavujúce sa rôznymi formami ťažkosti ako hnačky, zápchy, nervové ochorenia, poškodzovanie kože a mnoho ďalších (Šiška, 1980).

Arzén pri niekoľkoročnej expozícii organizmu môže spôsobovať viaceré negatívne zdravotné účinky, ako napr. tvorba bradavíc na dlaniach, chodidlách a trupe, tvorbu pigmentových škvŕn na koži, znížené potenie, zvýšenú tvorbu slín, bolesť hrdla, brušné koliky, chudnutie, degeneratívne zmeny zrakového a sluchového nervu, rakovinu močového mechúra, ciev, prostaty (Ilavský, 2010).

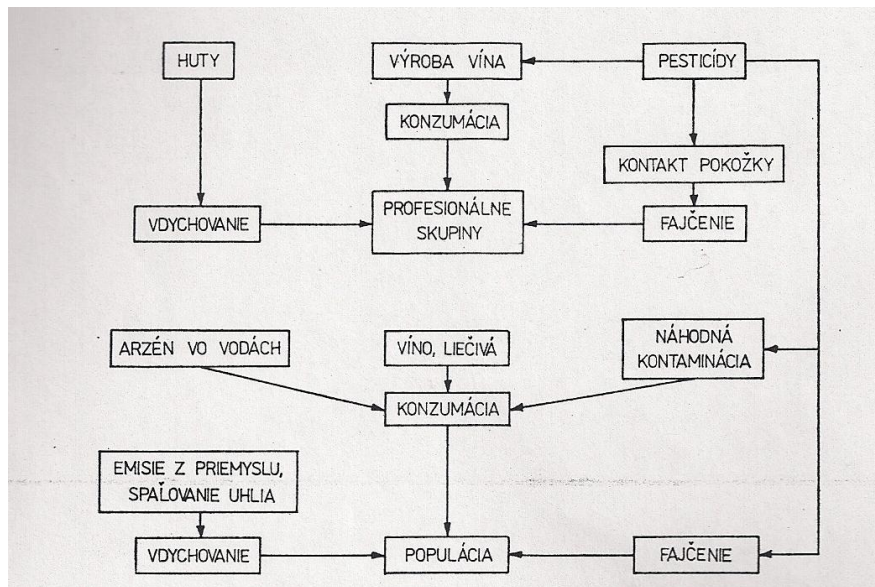


Obr. č. 7, obr. č. 8, prejavy intoxikácie arzénom zmenami farby na koži [URL 13]

Arzén poškodzuje najskôr periférne, neskôr aj motorické nervstvo, vyvoláva celkovú slabosť a poškodzuje pečeň. Arzén v rôznych formách indukuje nádory kože, pľúc a nosných dutín. Vylučovanie arzénu z tela je veľmi pomalé (Gábriš, 1998).

U ľudí sa dokázalo že anorganické zlúčeniny arzénu spôsobujú rakovinu kože a pľúc. Už dávno v minulosti boli opísané kožné afekcie na prstoch záhradníkov, ktorý používali sadze na prihnojovanie do pôdy, či rakovina na krku a chrbte nosičov sadzí, u kuričov a pod (Gábris, 1987).

V súčasnosti sa tiež zistilo, že arzén zastavuje opravné mechanizmy genetického kódu. Ničí nám to najcennejšie čo máme a čo vkladáme do svojich potomkov – našu DNA. Do organizmu sa dostáva konzumáciou kontaminovanej pitnej vody, potravy, inhaláciou kontaminovaného vzduchu (Ilavský, 2010).



Obr. č. 9 Zdroje a vstupy arzénu do organizmu (Rosival, L. et al. 1983)

Tab. č. 4 Následky dlhodobého pôsobenia vyšších dávok arzénu na zdravie URL 2

arzén	- ingesciou (trávením)	- degeneratívne zmeny zrakového a sluchového nervu - anémia, agranulocytóza, trombocytopenia - znížená potencia - rakovina pečene (angiosarkom, hemangioendoteliom), rakovina obličiek
	- kontaktom	- ekzémy a ragády na koži kožná melanóza – nepravidelné pigmentové škvrny, degeneratívne zmeny na nechtoch - rakovina kože (kožný bazaliom alebo spinaliom)
	- inhaláciou (vdychovaním)	- poškodenie slizničných membrán, rakovina pľúc,

1.5 Kadmiom

1.5.1 Zdroje kadmia v životnom prostredí

Kontaminácia životného prostredia kadmium je v poslednej dobe vyvolaná najmä jeho rastúcim používaním v priemysle. Na tomto procese sa podieľajú výroba plastov, akumulátorov, taktiež spaľovanie pohonných hmôt a olejov či používanie pesticídov s obsahom tohto prvku. Kadmiom emitované do ovzdušia sa nakoniec hromadí v pôde a vo vode a vstupuje tak do potravinového reťazca (Bencko, Cikrt, Lener, 1995). Produkujú ho tiež najmä bane, metalurgia, chemický priemysel, výroba kompostov z priemyselných kalov, úpravne kalov a iné (Gábriš, 1987).

Jedným z hlavných zdrojov kontaminácie agroekosystému kadmium sú odpady z odvetvia palív, energetiky, chemického priemyslu a fosforečné hnojivá. Zdrojom znečistenia pôdy kadmium môžu byť aj aplikácie kalov z ČOV, priemyselných kompostov a organických hnojív. Kontaminácia rastlín môže nastať imisným spadom z ovzdušia alebo prijatím kadmia z pôdneho roztoku koreňovým systémom. Zotrúvanie kadmia v pôde je dlhšie ako v atmosfére a hydrosfére (Makovníková, 2000).

Podľa Gábriša (1998), pohyb Cd v pôdnom profile ovplyvňuje mnoho faktorov, predovšetkým :

- pH
- oxidačno – redukčný potenciál
- koncentrácia Cl⁻ v pôdnom roztoku
- množstvo a kvalita humusových kyselín

Hlavným zdrojom expozície kadmia pre človeka je potrava a fajčenie tabaku. Atmosférická depozícia, banská činnosť a aplikácia kadmium obsahujúcich fosfátových hnojív na poľnohospodársku pôdu, môžu viesť ku kontaminácii pôd kadmium a k jeho zvýšenému príjmu obilninami a zeleninou. Kadmiom je v podstate prítomné vo všetkých potravinách, ale jeho koncentrácia je rôzna v závislosti od druhu jedla a stupňa kontaminácie prostredia. Vysoký obsah kadmia obsahujú mäkkýše, kôrovce, kraby a hlavonožce. Fajčenie je ďalším významným zdrojom expozície kadmium. Vyfajčením jednej krabičky cigariet dôjde k absorpcii zhruba 1 µg Cd [URL 5].

1.5.2 Kadmium v rastlinách a jeho fytotoxicita

Kadmium patrí medzi abiogénne prvky, ktoré sa môžu v rastlinách hromadiť často v značných množstvách. Rôzne časti rastlín akumulujú rôzne množstvá kadmia (Ducsay, Kočík, Kulich, 2009). Podobne ako aj iné ťažké kovy je Cd prijímaný rastlinami z pôdy a ľahko podlieha transportu v rastline a dostáva sa do všetkých orgánov. Cd je rastlinami prijímané prevažne koreňami, existuje však i mimokoreňový príjem Cd priamo z atmosféry povrchmi listov (Zaujec, 1999). Najvyšším obsahom kadmia sa zvyčajne vyznačujú pletivá koreňov, nasledujú listy, stonky, plody, zásobné orgány a semená, ktoré majú najnižší obsah kadmia (Ducsay, Kočík, Kulich, 2009).

Medzi najčastejšie symptómy fytotoxicity kadmia patri chloróza listov, hnednutie koreňových vláskov, prípadne špičiek koreňov rastlín, v extrémnych prípadoch dochádza k vysychaniu a odpadu listov. Dochádza tiež k podstatnému zníženiu obsahu chlorofylu a karotenoidov. Prostredie kontaminované kadmium spôsobuje u rastlín inhibíciu rastu a produkciu sušiny a taktiež narušuje metabolické procesy v bunke, zahrňujúc procesy fotosyntézy a respirácie (Kováčik, 2000).



Obr. č. 10 Chloróza listov [URL 16]

Odolnosť rastlín oproti toxickému pôsobeniu Cd závisí od druhu a variety, ale tiež i obsahu iných prvkov v rastlinách. Okrem viazania Cd organickými látkami (hlavne bielkoviny a aminokyseliny) Cd znižuje množstvo chlorofylu a tým limituje aj efektívnosť fotosyntézy (Zaujec, 1999). Kadmium neprejavuje žiadnu esenciálnu biologickú funkciu a je vysoko toxické pre rastliny aj živočíchy (Ďurža, Khun, 2002).

Za hlavný zdroj príjmu kadmia človekom sa považuje potrava. Aplikáciou priemyselných hnojív do pôdy dochádza ku kumulácii kadmia v pôde a odtiaľ

prostredníctvom rastlín do potravinového reťazca. Najviac kadmia obsahuje potrava rastlinného pôvodu, medzi jednotlivými druhmi rastlín sú značné rozdiely v jeho obsahu (Leontovič, 1989). Cd v tkanive rastlín potravy je dôležitým faktorom v určovaní jeho akumulácie v ľudskom tele (Ďurža, Khun, 2002).

Prostredie kontaminované kadmium spôsobuje u rastúcich rastlín inhibíciu rastu a produkcie sušiny a taktiež narušuje metabolické procesy v bunke. Kadmium ovplyvňuje fotosyntézu inhibične. Jednou z príčin inhibície fotosyntézy môže byť uzatvorenie prieduchov, alebo vzrastajúci odpor prieduchov a listového mezofylu k príjmu CO₂. Dlhodobá expozícia rastlín ovplyvňuje aj syntézu chlorofylu. Chloroplasty rastlín kontaminovaných kadmium majú redukovaný objem a vyskytujú sa v menšom počte na jednotku listovej plochy, než v rastlinách pestovaných za normálnych podmienok (Ducsay, Kočík, Kulich, 2009).

1.5.3 Symptómy toxicity kadmia

Kadmium je významný karcinogén. Je tiež kumulatívnym jedom. Jeho obsah je veľmi nízky v organizme novorodencov, čo svedčí o tom, že placentou prechádza len slabou. Postupne s vekom sa obsah Cd v tele zvyšuje a hromadí sa v obličkách a v pečeni. Akútne otravy sa prejavujú zvracaním a silnými hnačkami, resp. úmrtím. Inhalácia kadmiového prachu vyvoláva zápal pľúc, pľúcny efyzém, spôsobuje poškodenie obličiek a anémiu. (Gábriš, 1998).

Akútne otravy sa prejavujú zvracaním a silnými hnačkami. Zvýšené obsahy tohto ťažkého kovu môžu spôsobovať vylučovanie vápnika z kostí, ich demineralizáciu a mäknutie čoho následkom je ich skracovanie, deformácia a zvýšená lámavosť (Styk, 2001).

Ďalšími prejavmi sú tiež bolesti hlavy, vo vyšších koncentráciách nasleduje šok zo straty tekutín, akútne zlyhanie obličiek, srdca, pľúc a smrti.

Akútna i chronická otrava vyvoláva poškodenie pľúc prejavujúce sa ťažkým podráždením dýchacieho ústrojenstva, sprevádzané kašľom, bolesťami hlavy, závratmi, slabosťou (Bencko, Cíkr, Lener, 1995).

1.5.4 Vplyv kadmia na ľudský organizmus

Je jedným z ťažkých kovov, ktorý nemá žiadnu esenciálnu, čiže biologicky významnú funkciu pre rastliny a živočíchy, naopak už aj v nízkych koncentráciách môže byť pre nich silne toxické (Styk, 2001). Kým v rastlinách Cd zvyčajne nevyvoláva viditeľné poškodenie, na ľudí má výrazne nepriaznivý účinok (Zaujec, 1999).

Kadmium a jeho soli sú z toxikologického hľadiska veľmi nebezpečné. Kademnaté soli sa hromadia v pečeni, obličkách, mozgu, pľúcach, srdci, semenníkoch a nervovom tkanive. Ióny kadmia blokujú –SH skupiny enzýmov a biologických makromolekúl, zasahujú do metabolizmu cukrov a inhibujú sekréciu inzulínu.

Chronická expozícia zlúčeninám kadmia má nešpecifický priebeh a následkom môže byť aj smrť [URL 5].

Kadmium vstupuje do organizmu najčastejšie inhaláciou vo forme prachu, resp. pár, ale i tráviacou sústavou (vylúhovanie z plechu konzerv) (Ďurža, Khun, 2002). Najväčšie riziko pre človeka je jeho chronická akumulácia v obličkách a pečeni, kde môže spôsobiť úplnú disfunkčnosť. Známe sú jeho karcinogénne účinky (Styk, 2001). Bolo zistené, že v oblasti s veľkou kontamináciou povrchových vôd kadmium je výrazne zvýšený výskyt rakoviny, najmä prostaty, tráviaceho ústrojenstva, obličiek, pečene, pľúc. Potraviny sú hlavným zdrojom, odkiaľ sa Cd dostáva do tela (Ďurža, Khun, 2002).

Vyvoláva najzávažnejšie riziká v organizmoch, nakoľko patrí medzi tzv. kumulatívne kovy (hromadí sa najmä v pečeni a v obličkách) (Hronec, Tóth, Tomáš, 2002).

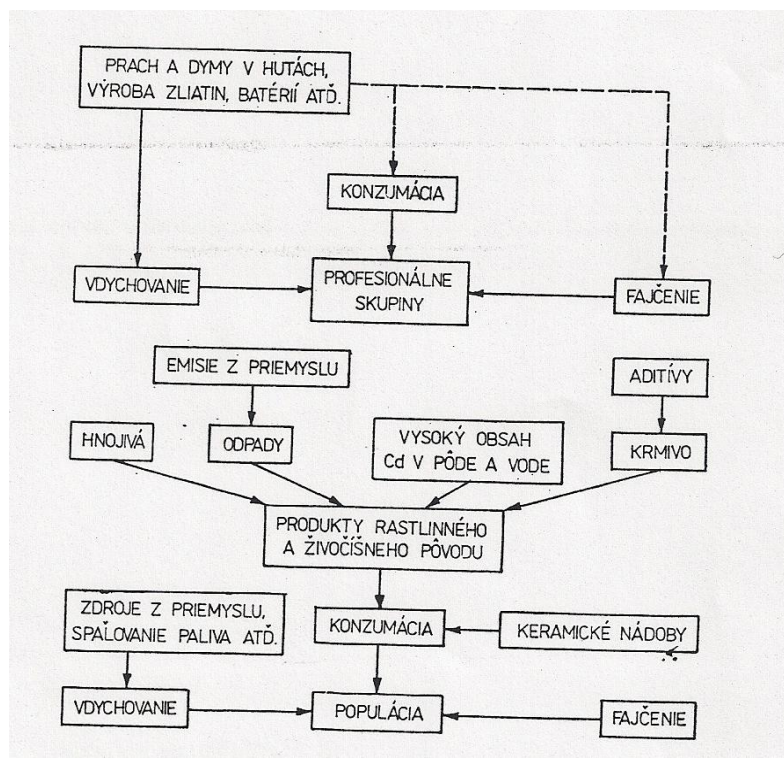
Značné množstvo kadmia sa kumuluje v myokardu, a v stenách veľkých ciev, čo vedie k poruchám činnosti srdca a cievneho systému (Bencko, Cikrt, Lener, 1995).

Indikátorom otravy je zlatožltý lem zubnej skloviny. Z Japonska (povodie rieky Jinzu) je známy epidemický výskyt choroby Itai-Itai (bolí-bolí), spôsobenej konzumáciou ryže kontaminovanej zlúčeninami kadmia. Jedná sa o ochorenie postihujúce kosti a obličky, pre ktoré sú typické početné zlomeniny a skrivenie dlhých kostí. Ochorenie je veľmi bolestivé. Medzi postihnutých patrili najmä ženy po menopauze. Ochorenie Itai-Itai je známe ako jedno zo štyroch veľkých, znečistením vyvolaných ochorení v Japonsku, ktoré boli zapríčinené nesprávnym zaobchádzaním s priemyselným odpadom japonskými spoločnosťami. Ochorenie Itai-Itai bolo prvou známou otravou kadmium na svete. Kadmium sa uvoľňovalo do riek v dôsledku banskej činnosti. Intenzívna ťažba viedla k

zvýšeníu znečistenia rieky Inzu, ktorá sa spolu s prítokmi využívala najmä na zavlažovanie polí, ale aj ako zdroj pitnej vody, vody na umývanie, rybolov a ďalšie použitie populáciami pozdĺž jej toku. V dôsledku otravy začali v rieke hynúť ryby a ryža zavlažovaná vodou z rieky zle rástla. Kadmium a ďalšie ťažké kovy sa akumulovali ako v sedimentoch na dne rieky, tak aj v riečnej vode používanej na závlahy. Ryža, zavlažovaná kontaminovanou vodou, absorbovala kadmium, ktoré sa kumulovalo v ľuďoch konzumujúcich kontaminovanú ryžu [URL 5].



Obr. č. 11. Skrivenie kostí pri ochorení Itai – Itai [URL 13]



Obr. č. 12. Zdroje a vstupy kadmia do organizmu (Rosival, L. et al. 1983)

1.6 Olovo

1.6.1 Zdroje olova v životnom prostredí

Zdrojom olova v životnom prostredí sú emisie benzínových motorov (tetraetylolovo), olovnaté hute, emisie energetického priemyslu a agrochemikálie. Značná časť olova je prirodzeného pôvodu ako konečný produkt zvetrávania pri pôdotvorných procesoch a ako konečný produkt rádioaktívneho rozpadu. Zaťažené sú pôdy v blízkosti ciest a mestských aglomerácií (Makovníková, 2000).

Najväčším zdrojom kontaminácie prostredia olovom je automobilová doprava, výroba batérií a akumulátorov, výroba a spracovanie farebných kovov, železa a ocele (Leontovič, 1989). Olovo v blízkosti diaľnic sa dostáva s výfukovými plynmi na povrch rastlinného tela a je veľkým nebezpečenstvom pre bylinožravce a všežravce, prostredníctvom ktorých sa tak dostáva do potravinového reťazca (Bláha, Hnilička, Hniličková a i., 2003).

Stále vyšší obsah toxických látok v prostredí je spojený hlavne s priemyselnou a poľnohospodárskou činnosťou človeka. Toxické kovy, medzi nimi aj olovo, sa dostávajú do pôdy vo väčších množstvách usádzaním prachu z priemyselných procesov, z kontaminovaných odpadových vôd a hnojív (Prochádzka a i., 1998). S olovom sa dostávajú do styku hlavne baníci ťažiaci olovené rudy, pracovníci úpravní a hutníckych prevádzok, vrátane výroby akumulátorov (Šiška, 1980).

Olovo patrí medzi jeden z najrizikovejších kovov. Okrem toho že je toxické, má ešte jednu vlastnosť, a to takú, že sa v prostredí kumuluje (Leontovič, 1989).

Z ťažkých kovov je najrozšírenejší a vyskytuje sa v pôde, vode i v biosfére. V prirodzených ekosystémoch je olovo prítomné v malých koncentráciách (2 mg.kg^{-1}) vo všetkých rastlinách (Bláha, Hnilička, Hniličková a i., 2003).

1.6.2 Olovo v rastlinách a jeho fytotoxicita

Hlavným zdrojom olova v nadzemných zelených častiach rastliny je kontaminácia ovzdušia. Potenciálne nebezpečenstvo toxicity Pb v potravinovom reťazci sa znižuje, keď sa Pb dostane do pôdy (Ďurža, Khun, 2002).

Pre rastliny je charakteristická akumulácia olova v ich koreňovom systéme, v ktorom sa nachádza až 90 % z jeho celkového obsahu v rastline. Olovo nepatrí medzi mikroživiny,

teda neplní žiadnu biologickú funkciu pre rastliny a živočíchy. Na druhej strane, ak v nich dôjde k jeho akumulácii pôsobí ako veľmi toxický ťažký kov (Styk, 2001). Olovo prijaté z pôdy sa kumuluje v koreňovom systéme, v reprodukčných orgánoch je naopak olova málo (Leontovič, 1989).

Rastliny prijímajú z pôdneho roztoku veľké množstvá olova, ale v rastlinnom tele je pevne viazane a je nepohyblivé. Olovo sa v rastline ukladá v bunkovej stene a tým sa znemožňuje jeho pohyb vo vnútri rastliny. V malých koncentráciách môže olovo stimulovať rast. Vo vyšších narušuje metabolizmus vápnika, znižuje príjem oxidu uhličitého, pôsobí na bunkové delenie a obmedzuje príjem vody. Okrem zvýšeného obsahu olova vo vnútri rastliny, môže byť kontaminovaný olovom i povrch tela rastliny (Bláha, Hnilička, Hniličková a i., 2003).

Rastliny s mäkkými a ochlpenými listami akumulujú viac olova než rastliny s hladkými a tuhými listami. Listy akumulujú viac olova ako stonky. Dovnútra do rastlinných pletív preniká iba malá časť olova zachyteného na povrchu listov, pričom vstupnými cestami pre atmosférické polutanty do listov sú otvorené prieduchy, trhlinky v kutikule, trichómy a rôzne poranenia rastlín. Príznakmi intoxikácie olovom sú najčastejšie nekrotické škvrny medzi žilnatinou mladých listov, znížený turgor, spomalený rast koreňov do diaľky. Rastliny pri jeho zvýšenom obsahu žltnú a schnú (Ducsay, Kočík, Kulich, 2009).

1.6.3 Symptómy toxicity olova

Toxicitu olova v organizme ovplyvňujú rôzne faktory potravy. Pri nedostatku alebo nadbytku bielkovín v potrave sa zvyšuje toxicita olova. Konzumácia mlieka zvyšuje jeho absorpciu (Kováčik, 2000).

V krvi sa viaže na červené krvinky a spôsobuje anémiu. Olovom sú ohrozené najmä deti. Nebezpečný je príjem olova z vody a vzduchu (Tomáš, Hronec a kol. 2007). Akútna otrava olovom sa vyskytuje veľmi zriedka. Do organizmu vniká hlavne dýchacími cestami, ale aj znečistenou potravou a nepatrné množstvá sa môžu vstrebávať aj pokožkou (Styk, 2001).

Fytotoxicita olova spočíva v tom, že blokuje fotosyntézu, bráni transportu látok, inhibuje činnosť enzýmov, tvorbu ATP a blokuje syntézu chlorofylu. K distribúcií olova v rastlinách je možné uviesť, že pokiaľ prevažuje koreňový príjem, najviac sa olova

akumuluje v koreňoch rastlín a translokácia do nadzemných orgánov je minimálna (Kováčik, 2000).

Toxicita olova v pôde závisí od pôdneho druhu a pôdneho typu, pôdnej reakcie a preto hranice toxicity sa udávajú pomerne v širokom rozpätí. Olovo sa hromadí v hornej časti pôdneho profilu. Až 80% olova v rastlinách pochádza z atmosféry (Tomáš, Hronec a kol. 2007).

Jedným z prvých príznakov jeho toxického pôsobenia býva inhibícia delenia a predlžovacieho rastu buniek, ktorá sa prejavuje najmä spomalením rastu primárneho koreňa. V koreňoch tiež dochádza k najväčšiemu hromadeniu ťažkých kovov. Časť toxických iónov je translokovaná i do nadzemných orgánov, kde najviac ovplyvňuje fyziologické procesy v listoch, a v prvom rade fotosyntézu (Prochádzka a i., 1998).

Pri chronickej toxicite dochádza k zhoršeniu psychického zdravia. U detí bola zaznamenaná kognitívna dysfunkcia (IQ-deficit), zhoršenie koordinácie rúk a očí, porucha pozornosti a správania sa ako napr. hyperaktivita. Ďalšími prejavmi chronickej toxicity je bledá farba tváre a šedý lem na dŕasnách [URL 5].

1.6.4 Vplyv olova na ľudský organizmus

Olovo je najrozšírenejším ťažkým kovom a jeho príjem z potravín vzhľadom k toxicite jeho patrí k najrizikovejším. Pri jeho zvýšenom príjme môže nastať poškodenie centrálného i periférneho nervového systému, či poškodenie tráviacej sústavy (Hronec, Tóth, Tomáš, 2002). U zdravých ľudí sa obsah olova pohybuje v rozpätí 10 – 40 mg.l⁻¹ moču, resp. 150 – 500 mg.l⁻¹ krv. Kritická hranica olova je koncentrácia 600 – 800 mg.l⁻¹. Veľmi nebezpečné sú chemické expozície pre deti, a najmä ženy v tehotenstve. Keďže olovo prechádza placentou, uplatňuje sa jeho teratogénny a embryotoxický účinok (Gábriš, 1987).

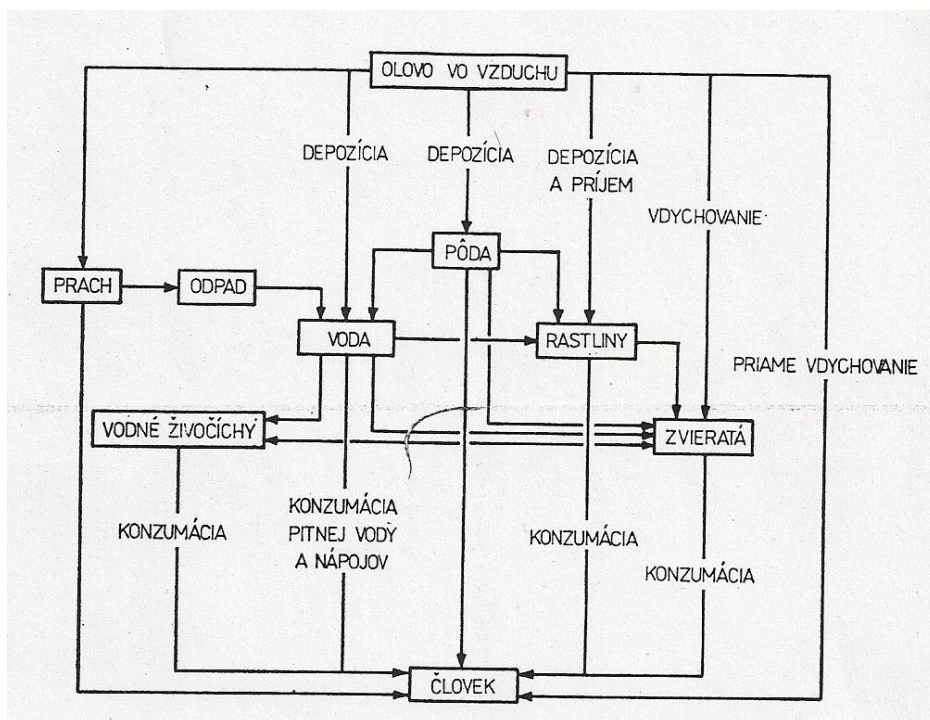
Intoxikácia olovom sa prejavuje rozdielne u detí a u dospelých. U detí je to encefalopatia s generalizovanými alebo ložiskovými kŕčmi, nasledované paralýzou až hemiplegiou a nakoniec kómou. Chronická intoxikácia vyvolá poruchy vývoja, najmä duševného. U dospelého vzniká chronická polyneuritída s bolesťami, parestéziami, celkovou slabosťou a anestéziami na končatinách (Mysliveček, Myslivečková – Hassmannová, 1989).

Oslabuje imunitný systém, čo zapríčiňuje časté chrípky a infekcie. Vyšší stupeň otravy olovom môže spôsobiť neplodnosť, poškodenie pečene a obličiek, vysoký krvný tlak, paralýzu, dokonca i smrť (Sharon, 1989).

Je to kumulatívny jed, hromadí sa v kostiach. Azda najvýznamnejším z hľadiska účinkov na organizmus je vplyv na centrálny nervový systém (CNS). Zlúčeniny trialkylolova ľahko prechádzajú z krvi do mozgu. Hlavnými príznakmi sú: otupenosť, nepokojnosť, dráždivosť, bolesti hlavy, triaška, halucinácie, strata pamäte a schopnosti koncentrácie. Tieto príznaky môžu prerásť až do delíria, mánie, krčvov, paralýzy, až kómy. Smrteľné prípady boli zaznamenané skôr v prípade detí ako dospelých [URL 5].



Obr. č. 13. Účinok olova na ľudský organizmus [URL 13]



Obr. č. 14. Cesty olova do organizmu (Rosival, L. et al. 1983)

1.7 Ortuť

1.7.1 Zdroje ortuti v životnom prostredí

Zdrojom ortuti je spaľovanie paliva, výroba ocele, či cementu. Transport a distribúcia ortuti v prostredí má dva cykly. Jeden z nich je globálny a súvisí s cirkuláciou pár elementárnej ortuti z pevniny k oceánom. Druhý cyklus je miestny a závisí od metylácie organickej ortuti, najmä zo zdrojov ľudskej činnosti. Zlúčeniny metylortuti sa hromadia vo vodných organizmoch a suchozemských potravinových reťazcoch, čo pri ich konzumácii vyvoláva hygienické a zdravotné riziká. Ortuť sa používa v priemysle, poľnohospodárstve a v zdravotníctve (Gábriš, 1987).

V horných sedimentačných vrstvách morského alebo jazerného dna dochádza k metylácii elementárnej ortuti a ortuťnatých iónov za vzniku metylortuti (Ďurža, Khun, 2002). Vyskytuje sa ako toxická škodlivina v ovzduší, vo vode, v pôde (Zaujec, 1999).

Jej hlavným zdrojom sú ryby, pesticídy. Hromadí sa v rybách postupom veku, takže väčšia a staršia ryba ho má viac ako ryba mladšia a menšia (Sharon, 1989).

Ortuť patrí medzi stopové prvky, ktoré sa v prírode vyskytujú pomerne často a tvoria veľký počet anorganických a organických zlúčenín, ktoré sú skoro v každej forme toxické. Možnosť poškodenia organizmu Hg a jej zlúčeninami je veľmi rozsiahla vzhľadom na široké použitie v praxi. Nebezpečné sú najmä alkylové zlúčeniny ortuti (napr. metylortuť), v ktorých je Hg pevne viazané, a preto sa k toxicite prvku pridružuje ešte aj toxicita použitého alkylu (Ďurža, Khun, 2002).

1.7.2 Ortuť v rastlinách a jeho fytotoxicita

Ortuť sa predovšetkým akumuluje v povrchovom pôdnom horizonte. Dostupnosť pôdnej ortuti pre rastliny je nízka a akumuluje sa prevažne v koreňoch, ktoré fungujú ako bariéra pre príjem ortuti. Vodné rastliny sú akumulátormi ortuti. Koncentrácia ortuti v rastlinách (stonka + listy) je vždy vyššia, ak je kov prijímaný v organickej forme (Slováková, Mystrík, 2007). Akútna expozícia je zriedkavejšia ako chronická, najznámejšia je otrava chloridom ortuťnatým (sublimátom; smrteľná dávka pre človeka je 0,2-1g). Prejavuje sa pálením v ústach, zvýšenou produkciou slín, bolesťami brucha a krvavými hnačkami. Chronická expozícia je sprevádzaná tvorbou šedého lemu okolo zubných krčkov, zuby sa postupom času začnú uvoľňovať. Dostavia sa typické príznaky

otravy ortuťou – poškodenie ľadvín, obmedzenie močenia, urémie, pokiaľ nie je možné funkciu obličiek alebo obličky samotné nahradiť, dochádza k úmrtiu [URL 5].

1.7.3 Symptómy toxicity ortute

Ortuť ako toxický prvok ohrozuje vstupom do potravinového reťazca zdravie človeka. Jeho toxicita je výrazne ovplyvnená prevažne metyláciou. Z produktu metylácie je za najtoxickjšiu zlúčeninu ortuti považovaná metylortuť (Leontovič, 1989).

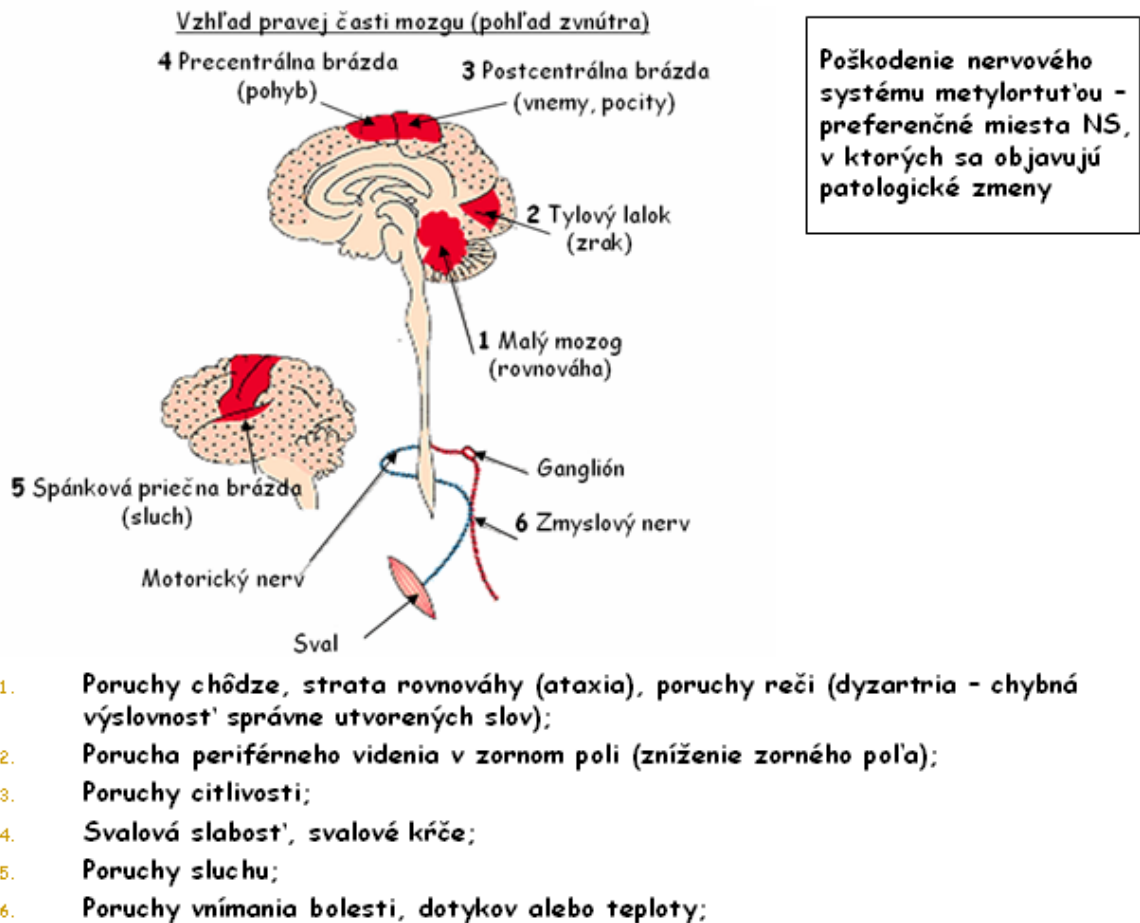
Pri chronickom pôsobení pár ortuti je kritickým orgánom mozog. Výrazná je slabosť, únavy, bolesti hlavy, závrate, nechutenstvo, pokles hmotnosti, poruchy trávenia. V ťažkých prípadoch sa môže prejaviť delírium, či halucinácie (Bencko, Cikrt, Lener, 1995).

Ako pri akútnej, tak aj chronickej expozícii, sa vyskytujú neurotoxické prejavy. Pri chronickej expozícii k nim dochádza bez zdanlivo viditeľných príčin s dlhšou dobou latencie. Najskôr je postihnutá mozgová kôra, zhoršuje sa možnosť sústredenia, rastie zábudlivosť, dostavuje sa pocit únavy, slabosti a nemohúcnosti. Potom nasleduje štádium trasu končatín, niekedy aj očných viečok, pier a jazyka.

Za jeden z varovných signálov pri otrave metylortuťou sa dnes považuje tzv. „syndróm tichého dieťaťa“, pri ktorom deti nikdy neplačú a ktorý indikuje poškodenie mozgu metylortuťou [URL 5].

1.7.4 Vplyv ortute na ľudský organizmus

Do organizmu sa ortuť dostáva pľúcami, jej zlúčeniny podľa povahy aj tráviacou sústavou, resp. resorbujú sa aj cez intaktnú pokožku a placentu. Ortuť a jej zlúčeniny sa koncentrujú najmä v šedej mozgovej kôre, neskôr v obličkách a v pečeni. Ortuť prítomná v krvi je viazaná na erytrocyty (90 %). Pre človeka je toxická v množstve 0,4 mg denne a jej letálna dávka je 150 – 300 mg (Ďurža, Khun, 2002). Otravy ortuťou a jej zlúčeninami sú veľmi nebezpečné a často končia smrťou. Všeobecné však po ich požití rýchlo dochádza k prudkým bolestiam v bruchu a k rýchlemu zlyhaniu obličiek za veľmi veľkých bolestí a k postupnej urémii. Postihnutý býva agresívny, dochádza k roztraseniu pohybu končatín, k poruchám videnia, reči a dekoordinácii pohybov. Okrem mnohých smrteľných prípadov mala otrava veľmi vážne následky u detí, t. j. nádorové ochorenia, genetické poškodenia a pod. (Gábriš, 1998).



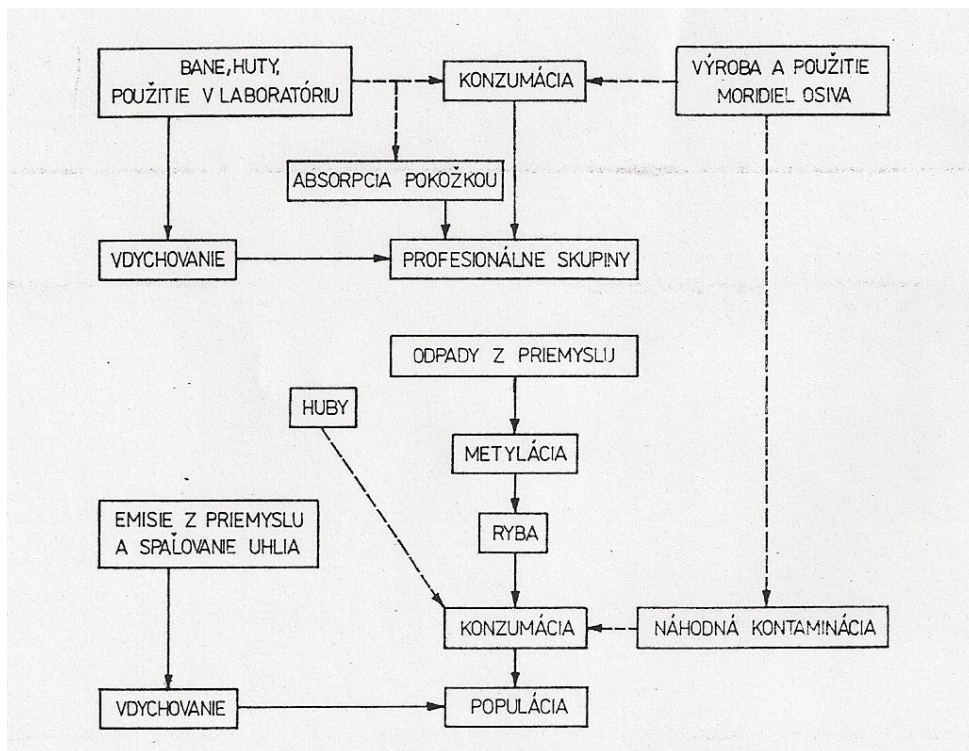
Obr. č. 15. Poškodenie nervového systému metylortuťou [URL 3]

Anorganické zlúčeniny ortuti spôsobujú pri akútnych otravách zlyhanie obličiek, krvavé hnačky, zvracanie, kolaps, pri chronických otravách nefrotický syndróm (poškodenie obličiek) a zápal d'asién. Organické zlúčeniny ortuti spôsobujú prenatálne otravy, nakoľko prechádzajú placentárnou bariérou a atakujú plod v najkritickejšom období vývoja centrálného nervového systému (mentálne poruchy, poruchy citlivosti dolných končatín) (Tomáš, Hronec a kol. 2007).

Najmä alkylové zlúčeniny ortuti prechádzajú placentárnou bariérou a atakujú plod v najkritickejšom období vývoja centrálného nervového systému, čo môže mať za následok ireverzibilné poškodenie mozgu (Rosival, Szokolay, et al. 1983).

V 50-tych rokoch minulého storočia došlo v Japonsku k otrave morskej vody metylortuťou, postihnuté boli tisícky ľudí v rybárskych osadách. Ku znečisteniu mora došlo vypúšťaním odpadových vôd z chemickej továrne, vyrábajúcej acetaldehyd a PVC. V procese výroby acetaldehydu sa ortuť používaná ako katalyzátor premieňala na

metylortuť, ktorá sa dostávala do odpadových vôd vypúšťaných bez úpravy do Minamata zálivu po dobu 36 rokov. Metylortuť sa potom bioakumulovala v mäkkýšoch a rybách. Zákaz lovu rýb v tomto zálive trval 26 rokov, až kým vláda nepotvrdila neprítomnosť ortuti vo vodách zálivu [URL 5].



Obr. č. 16. Zdroje a vstupy ortuti do organizmu (Rosival, L. et al. 1983)

Tab. 5. Príznaky otravy najrizikovejších ťažkých kovov (Ilavský, 2010)

Kov	Príznaky otravy kovmi
Arzén	padanie vlasov, nevoľnosť, depresie, celková únava
Kadmium	poruchy membrán a obličiek, nevoľnosť a zvracanie, hypertenzia
Olovo	poruchy nervovej sústavy, kardiovaskulárneho systému, reprodukčného systému, ochorenie ciev, poruchy obličiek, nechutenstvo, otrava olovom, anémia smrť
Ortuť	dráždenie, poruchy nervového systému, poruchy pečene a obličiek, nevoľnosť a zvracanie, slabosť, nechutenstvo, nespavosť, západ ďasien, vypadávanie zubov, strata pamäte

2 CIEĽ PRÁCE

Cieľom bakalárskej práce je komplexné spracovanie poznatkov z vedeckých a odborných publikácií týkajúcich sa problematiky ťažkých kovov (arzén, kadmium, olovo a ortuť) a ich vplyv na rastliny, zvieratá a upriamiť pozornosť na zdravie človeka.

Rámcová metodika práce:

- Vyhľadávanie literatúry a získavanie poznatkov o danej problematike.
- Oboznámenie sa so získanými poznatkami, spracovanie literárneho prehľadu.
- Spracovanie bakalárskej práce.

3 MATERIÁL A METÓDY SPRACOVANIA

Pre naplnenie cieľa práce boli použité knižné publikácie učebnicového charakteru, monografické diela, vedecké a odborné časopisy domácej a zahraničnej proveniencie. Vzhľadom k aktualizácii údajov boli použité aj materiály uvedené na internetových stránkach. Bakalárska práca je súčasťou študentskej vedeckej školy fyziológie rastlín Fakulty agrobiológie a potravinových zdrojov SPU v Nitre.

Dokumentačný materiál pre verifikáciu popísaných účinkov fytoxicity arzenu, ortuti, olova a kadmia na rast a vývin rastlín a boli použité fotografické snímky získané z KFR a z internetových zdrojov.

ZÁVER

V práci sa uvádza prehľad doterajších poznatkov a nutnosť sledovania toxických účinkov ťažkých kovov ako je olovo, ortuť, arzén a kadmium. Na raste a vývine rastlinných organizmov sa zúčastňujú aj kovy, ktoré môžu mať pozitívny alebo negatívny účinok na tieto procesy. V rastline sa nachádzajú v mikroskopických množstvách, sú prítomné v pôdnom substráte a sú súčasťou kultivačných médií, ktoré tvoria živné prostredie pre pestované rastliny v laboratórnych podmienkach (*in vitro*). Ťažké kovy sa v rastlinných a živočíšnych organizmoch za normálnych okolností nenachádzajú, alebo sú prítomné len vo veľmi nízkych koncentráciách a toto ich množstvo nenarušuje biologické procesy. Avšak po prekročení tolerancie ich prítomnosti dochádza k patologickým stavom - brzdí sa rast a vývin rastlín, dochádza k ireverzibilným zmenám v biochemickom mechanizme, nastáva porucha metabolizmu až úhyn rastliny. Ťažké kovy kadmium a olovo sú známe svojimi fyto toxickými účinkami, avšak je dokázané, že v subletálnych koncentráciách môžu pôsobiť aktivačne na proteosyntézu a mierne stimulujú rastové procesy. Ťažké kovy sú rastlinou prijímané hlavne cez koreňovú sústavu, ale existuje aj mimokoreňový príjem. Z koreňov sa ťažké kovy transportujú do celej rastliny a vyvolávajú špecifické zmeny. Symptómy fyto toxicity je sledovať mikroskopicky (zvýšený výskyt trichómov, redukcia intercelulárnych priestorov, uzavretie buniek prieduchov atď.), neskôr sú zmeny viditeľné voľným okom (chloróza listov červenohnedé sfarbenie listovej žilnatin, usychanie listov až úhyn rastlín. Vplyvajú silne inhibične na fotosyntézu, syntézu ATP a chlorofylu. Chloroplasty, ktoré sú kontaminované ťažkými kovmi majú redukovaný objem a ich počet na jednotku listovej plochy je menší. Dochádza k zníženiu fotosyntetickej aktivity rastlín, inhibuje sa necyklická fotosyntéza a blokujú sa metabolické cesty. Narušuje sa biochemický proces Calvinovho cyklu Hatch-Slackovho cyklu, rastliny strácajú schopnosť fotosyntézy a hynú. Ortuť, olovo, meď a kadmium inhibujú fosfatázu, katalázu, oxidázu a ribonukleázu. Citlivosť rastlín sa prejavuje predovšetkým potlačením rastu, ktoré je doprevádzané kumuláciou ťažkých kovov v pletivách rastlín

Prínos štúdia vplyvu ťažkých kovov na rastliny v našej práci spočíva pre rozvoj vednej disciplíny a využitie v praxi a taktiež sumarizuje informácie z oblasti:

- fyziológie rastlín a stresu u rastlín,

-
- analyzujú účinky ťažkých kovov (As, Hg, Cd a Pb) na rastovo-produkčné a fyziologické procesy v rastlinných organizmoch
 - sumarizujú symptómy toxicity uvedených ťažkých kovov na živočíchy a ľudí
 - prinášajú doplňujúce znalosti o fyziologických a metabolických procesoch prebiehajúcich v rastlinných organizmoch negatívne ovplyvnených účinkami ťažkých kovov

Získané poznatky je možné využiť v ďalšom vzdelávaní, môžu slúžiť ako pomôcka pre odbory zamerané na problematiku ochrany a tvorby životného prostredia, fyziológie rastlín ako aj výživy ľudí.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. BAKALOVÁ, L. 2008. *Testy fytoxicity a jejich využití pro hodnocení vlivu xenobiotik* : diplomová práce. Brno : Masarykova univerzita. 132 s.
2. BENCKO, V. – CIKRT, M. – LENER, J. 1995. *Toxické kovy v životnom prostredí*. 2. vyd. Praha : Grada, 1995. 282 s. ISBN 80-7169-150-X.
3. BIELEK, P. 1998. *Potenciály a bariéry transportu škodlivín z pôdy do potravného reťazca* : syntetická záverečná práca. VÚPÚ : Bratislava, 1998. 290 s.
4. BLÁHA, L. – HNILIČKA, F. – HNILIČKOVÁ, H. et al. 2003. *Rostlina a stres*. 1. vyd. Praha : VÚRV, 2003. 156 s. ISBN 80-86555-32-1.
5. DUCSAY, L. – KOČÍK, K. – KULICH, J. 2009. *Zmeny tvorby poľnohospodárskej fytohmoty pri expozícii vybranými rizikovými prvkami*. 1. vyd. Zvolen : TU, 2009. 73 s. ISBN 978-80-228-2093-6.
6. ĎUREČKOVÁ, E. 2004. Obsah vybraných ťažkých kovov (cadmium, olovo, arzén, síry, fluóru) v asimilačných orgánoch drevín a niektorých vyšších cievnatých rastlín v chránenej krajinnej oblasti Ponitrie. In *Rosalia*, roč. 17, 2004, s. 249-260.
7. ĎURŽA, Ondrej – KHUN, Miloslav. 2002. *Enviromentálna geochémia niektorých ťažkých kovov*. 1. vyd. Bratislava : UK, 2002. 116 s. ISBN 80-223-1657-1.
8. GÁBRIŠ, L. et al. 1987. *Chemizácia poľnohospodárskej výroby a ochrana životného prostredia*. 1. vyd. Bratislava : Príroda, 1987. 231 s.
9. GÁBRIŠ, L. et al. 1998. *Ochrana a tvorba životného prostredia v poľnohospodárstve*. 1. vyd. Nitra : SPU, 1998. 461 s. ISBN 80-7137-506-3.
10. GRÉSEROVÁ, D. – HOLÍKOVÁ, K. 1995. *Biológia a ekológia*. 1. vyd. Bratislava : Príroda, 1995. ISBN 80-07-00515-3.
11. HRONEC, O. – TÓTH, J. – TOMÁŠ, J. 2002. *Cudzorodé látky a ich riziká*. 1. vyd. Košice : Harlequin quality, 2002. 200 s. ISBN 80-968824-0-6.
12. CHRENEKOVÁ, E. 1983. Vnášanie zvýšených množstiev ťažkých kovov do pôdy a ich príjem rastlinami. In *Agrochémia*, roč. 23, 1983, č. 12, s. 367-369.
13. ILAVSKÝ, J. 2010. *Odstraňovanie ťažkých kovov z vody*. Bratislava : STU, 2010. ISBN 978-80-227-3327-4.
14. KOVÁČIK, J. et al. 2000. *Rizikové faktory potravného reťazca človeka*. 1. vyd. Nitra : SPU, 2000. 143 s. ISBN 80-7137-796-1.

-
15. KOVÁČIK, J. et al. 2006. *Biologické aspekty zvyšovania kvality surovín a potravín živočíšneho pôvodu*. 1. vyd. Nitra : SPU, 2006. 163 s. ISBN 80-8069-738-8.
 16. LAHUČKÝ, L. – ÁRVAY, J. – BYSTRICKÁ, J. – ČÉRY, J. 2009. Obsah ťažkých kovov v poľnohospodárskej produkcii dopestovanej v metalicky zaťaženom regióne Slovenska. In *Poľnohospodárstvo*, roč. 55, 2009, č. 3, s. 156-163.
 17. LEONTOVYČ, I. 1989. *Obsah ťažkých kovů v průmyslových hnojivech*. Praha : Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, 1989. 56 s.
 18. MAKOVNÍKOVÁ, J. 2000. *Distribúcia kadmia, olova, medi a zinku v pôde a jej hodnotenie so zreteľom na potenciály a bariéry transportu kovov do rastlín*. 1. vyd. Bratislava : Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 2000. 126 s. ISBN 80-85361-67-1.
 19. MYSLIVEČEK, J. – MYSLIVEČKOVÁ, J. 1989. *Nervová soustava funkcie, struktura a poruchy činnosti*. 1. vyd. Praha : Avicenum, zdravotnícke nakladateľství, 1989. 320 s.
 20. NOSKOVIČ, J. a kol. 2005. *Ochrana a tvorba životného prostredia*. 2. vyd. Nitra : SPU, 2005. 141 s. ISBN 80-8069-578-4.
 21. PROCHÁZKA, S. a i. 1998. *Fyziologie rostlin*. 1. vyd. Praha : Academia, 1998. 484 s. ISBN 80-200-0586-2.
 22. ROSIVAL, L. – SZOKOLAY, A. et al. 1983. *Cudzorodé látky v požívatinách*. 2. vyd. Martin : Osveta, 1983. 611 s.
 23. SHARON, M. 1989. *Komplexní výživa*. 1989. ISBN 80-85213-54-0.
 24. SLOVÁKOVÁ, Ľ. – MISTRÍK, I. 2007. *Fyziologické procesy rastlín v podmienkach stresu*. 1. vyd. Bratislava : UK, 2007. 240 s. ISBN 978-80-223-2322-2.
 25. STASZKOVÁ, Ľ – TÁBORSKÝ, J. 2006. Změny v metabolismu rostlin při stresu kadmíem. In *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin*. Praha : ČZU, 2006, s. 180-183. ISBN 80-213-1484-2.
 26. STYK, J. 2001. *Problém ťažkých kovov (kadmium, olovo, meď, zinok) v pôdach Štiavnických vrchov a ich príjem trávnyimi porastmi*. 1. vyd. Bratislava : Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 2001. 136 s. ISBN 80-85361-90-6.
 27. ŠÍŠKA, F. 1980. *Ochrana ovzdušia*. 1. vyd. Bratislava : ALFA, 1980. 336 s.
-

-
28. TOMÁŠ, J. – HRONEC, O. et al. 2007. *Poškodzovanie pôd a rastlín ľudskými činnosťami*. 1. vyd. Nitra : SPU, 2007. 110 s. ISBN 978-80-8069-902-4.
 29. VIOLOVÁ, A. – MAGULOVÁ, K. 1995. *Ťažké kovy v ovzduší*. Bratislava : ŠEVT 1995. 31. s. ISBN 80-88707-33-1.
 30. WOLF, A. 1985. *Hygienu výživy*. 1. vyd. Praha : Avicenum, 1985. 384 s.
 31. ZAUJEC, A. 1999. *Cudzorodé látky a hygiena pôd*. 1. vyd. Nitra : SPU, 1999. 105 s. ISBN 80-7137-567-5.

Ostatné citované zdroje

1. Antropogénny faktor v znečisťovaní pôdy. [URL 1], [citované 3.4. 2011]. Dostupné z <http://www.agroporadenstvo.sk/rv/poda/zneclist_pody.htm?start>
2. Následky dlhodobého pôsobenia vyšších dávok arzénu na zdravie. [URL 2], [citované 8.3. 2011]. Dostupné z <<http://www.zdravie.sk/sz/content/768-44182/sposobuju-tazke-kovy-v-oblasti-slovenskeho-rudohoria-zvyseny-vyskyt-rakoviny.html>>
3. Poškodenie nervového systému metylortuťou. [URL 3], [citované 17.4. 2011]. Dostupné z <http://www.nimd.go.jp/archives/english/tenji/a_corner/image/a03e.gif>
4. Toxicita ťažkých kovov - životné prostredie. [URL 4], [citované 3.4. 2011]. Dostupné z <<http://www.uke.sav.sk/zp/1999/zp5/babcan.htm>>
5. Ťažké kovy v životnom prostredí človeka. [URL 5], [citované 1.5. 2011]. Dostupné z <http://www.enviroedu.sk/database/environmentalne_problemy/tazke_kovy_v_zivotnom_prostredi_cloveka/Enviro-edu_Kovy_Zuzka_prednaska.pdf>
6. Znehodnocovanie pôdy. [URL 6], [citované 3.5. 2011]. Dostupné z <<http://www.fpv.umb.sk/~vzdchem/KEGA/TUR/PODA/Poda05.htm>>
7. Ťažké kovy - zdravotné riziko. [URL 7], [citované 3.5. 2011]. Dostupné z <<http://www.mojavoda.sk/pages.php?pID=30&CDpath=6>>
8. Kvalita životného prostredia Slovenskej republiky. [URL 8], [citované 9.4. 2011]. Dostupné z <http://www.sazp.sk/slovak/periodika/enviromagazin/enviromc1_3/kvalita26.html>

-
9. Voda. [URL 9], [citované 9.4. 2011]. Dostupné z <http://www.pulib.sk/elpub2/FHPV/Fazekasova1/pdf_doc/2.pdf>
 10. Ochrana a tvorba životného prostredia. [URL 10], [citované 23.4 2011]. Dostupné z <http://www.obxrestaurants.com/femhelp/archiv/tvorba_a_ochrana_zivotneho_prostredia.doc>
 11. Rastliny na banských odpadoch. [URL 11], [citované 23.4. 2011]. Dostupné z <<http://www.banskeodpady.sk/files/Viera%20Ban%C3%A1sov%C3%A1.pdf>>
 12. nebezpečenstvo ťažkých kovov na zložky životného prostredia. [URL 12], [citované 6.4. 2011]. Dostupné z <<http://www.seps.sk/zp/etp/knihy/15/p1.htm>>
 13. Contamination from local sources. [URL 13], [citované 29.4. 2011]. Dostupné z <<http://www.eea.europa.eu/themes/soil/soil-threats/soil-contamination-from-local-sources>>
 14. Znečistenie ťažkými kovmi. [URL 14], [citované 29.4. 2011]. Dostupné z <<http://www.earthobserver.org/post/2010/03/23/The-Worlds-most-polluted-Cities.aspx>>
 15. Dýchanie [URL 15], [citované 9.4. 2011]. Dostupné z <<http://www.zsholubyho.sk/biol%C3%B3gia/%C5%BEivo%C4%8D%C3%ADchy/prezent%C3%A1cie/d%C3%BDchanie%20a%20jeho%20funkcia.ppt#262,7>>
 16. Chloróza listov [URL 16], [citované 23.4. 2011]. Dostupné z <<http://www.arboristika.sk/skodci/sdata/144.htm>>