

PŠENICA I TEŠKI METALI

Miloš Rajković¹, Mirjana Stojanović², Đorđe Glamočlija¹, Dragan Tošković³,
Violeta Miletić⁴, Violeta Stefanović⁵, Časlav Lačnjevac¹
tosked@ptt.rs

¹Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, 11080 Zemun, Srbija

²Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, 11000 Beograd, Srbija

³Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Tehnološki fakultet, 75400 Zvornik, Republika Srpska, B&H

⁴Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu, 18000 Niš, Srbija

⁵PDS Institut Tamiš, 26000 Pančevo, Srbija

Izvod

Biljke imaju važnu ulogu u kruženju teških metala u prirodi. Teški metali najvećim delom preko biljaka ulaze u lanac ishrane. Jedan od načina na koji teški metali dospevaju u prehrambene proizvode je preko zagađenih biljaka i životinja koje se koriste za njihovu proizvodnju. Tako, ako se biljke gaje na zemljištu sa visokim sadržajem teških metala onda će jedan deo tih metala dospeti u njihov organizam. Korišćenje takvih biljaka za ishranu domaćih životinja dovešće do toga da i one budu kontaminirane teškim metalima. Meso, mleko i jaja ovih životinja biće lošeg kvaliteta s obzirom na visok sadržaj teških metala u njima. Drugi ne manje značajan način kontaminiranja prehrambenih proizvoda teškim metalima je sam tehnološki postupak njihovog dobijanja. Naime, usled nekih nepravilnosti u tehnološkom postupku može doći do unošenja pojedinih metala u mnogo većim količinama nego što je to propisima dozvoljeno. Do kontaminacije materijala česticama metala može doći tokom njegovog sitnjenja u mlinu, nepravilnim čuvanjem i skladištenjem, a kao jedan od glavnih izvora zagađenja je i vazduh u industrijskim zonama. Nepoželjne metale biljka usvaja iz zemljišta, a u određenim uslovima i preko lista. Ovi elementi se u korenu mnogo intenzivnije nakupljaju nego u nadzemnim organima. Zato je poznavanje mehanizma nakupljanja, raspodele i metabolizma teških metala u biljkama od velikog ekološkog, naučnog i praktičnog značaja. Ovo utoliko pre, što se teški metali ubrajaju u toksične materije koje zagađuju životnu sredinu. Iz tih razloga je za analizu uticaja teških metala na biljnu kulturu u ovom preglednom radu i odabrana pšenica koja, zbog dominantne uloge u svetskoj ishrani, ima karakter strateškog proizvoda i zauzima značajan deo (skoro trećinu) ukupnih poljoprivrednih površina pod zasadam biljne kulture.

Ključne reči: pšenica, teški metali, atomska apsorpciona spektrofotometrija (AAS), zemljište.

ZEMLJIŠTA KAO DEO ŽIVOTNE SREDINE

Zemljište je površinski, rastresiti sloj Zemljine kore, nastao kao rezultat dugotrajnih procesa promene matičnog supstrata. Sadrži proizvode raspadanja (i alteracije) stena, kao i biljnih i životinjskih organizama. Posle vazduha i vode ono je treća bitna komponenta životne sredine. Zemljište ima specifičnu ulogu - da obezbedi neophodne uslove za opstanak različitih organizama, posebno biljaka, bez kojih život na zemlji ne bi mogao da opstane. Takođe, ono je i odgovarajuća sredina za veoma brzo raspadanje izumrlih biljaka i životinja mikrobiološkim putem do jednostavnih jedinjenja. Tako zemljište ima važnu ulogu u opštem kruženju ugljenika i mnogih drugih elemenata u prirodi.

Često je zemljište „filter“ za prečišćavanje vode koja sadrži rastvorne i koloidne komponente. To se posebno odnosi na organske supstance koje mogu da se mineralizuju tokom prolaska kroz aerisani površinski sloj zemljišta. Ovakva dvostruka uloga zemljišta, da omogućava rast biljaka i drugih oblika života, i kao sakupljača prirodnih otpadaka, u tesnoj je međusobnoj vezi. Takav sistem u prirodnim uslovima ima veliki puferski kapacitet prema uticaju spoljašnjih faktora. Na primer, dodavanje đubriva u velikom višku, da bi se povećali biljni prinosi, može da dovede do poremećaja filtrirajuće uloge zemljišta, dok drenažna voda koja sadrži višak rastvorljivih jedinjenja đubriva, slično kao i navodnjavanje vodom lošeg kvaliteta, može da dovede do zaslanjivanja zemljišta. Prirodne funkcije zemljišta mogu i treba da se koriste, ali je neophodno voditi računa da se bitno ne poremeti ravnoteža sistema. Srećom, puferski kapacitet zemljišta, kao stabilnog sistema, izgleda da je dosta veliki [1].

Sastav zemljišta

Zbog velike raznolikosti sastojaka veoma je teško hemijski definisati zemljište. Ono se pre svega posmatra kao višefazni sistem koji se sastoji iz čvrste, tečne i gasovite faze. Čvrsta faza zauzima 50% (zapreminskih) od čega 45% čini mineralni deo, a 5% organske materije. Ostalih 50% zauzimaju tečna i gasovita faza u različitim odnosima s obzirom na vlažnost zemljišta [1].

Mineralni deo zemljišta

Mineralni deo zemljišta potiče od litosfere (geološke podloge), i nastao je i dalje nastaje složenim fizičkim, hemijskim i biohemijskim promenama geološke podloge. Tako se na površini kamenitog omotača zemlje (litosfera) stvara se nova sfera – *pedosfera*, čija prosečna debljina iznosi oko 2 m.

Poređenja radi, debljina litosfere iznosi 50-100 km, a poluprečnik Zemlje je 6377 km, što znači da na pedosferu otpada najmanji deo zemlje, ali je ona veoma važna i kompleksnog je sastava.

Minerali koji ulaze u sastav zemljišta dele se u dve grupe: primarne i sekundarne. Primarni minerali su poreklom vezani za magmatske i metamorfne stene.

Usitnjeni pod dejstvom fizičkih, hemijskih i bioloških činilaca raspadanja, ovi minerali se u izvesnoj količini nalaze u zemljištu u hemijski neizmenjenom stanju. Najrasprostranjeniji primarni minerali zemljišta su oni koji sadrže kiseonična jedinjenja silicijuma: kvarc, feldspati, amfiboli, pirokseni i liskuni (alumo i ferosilikati). Odlikuju se određenim hemijskim sastavom i kristalnom strukturom, samim tim, i različitom otpornošću na raspadanje.

Primarni minerali nisu postojani u uslovima koji vladaju na Zemlji, pa podležu postepenom razlaganju. Najpre se usitnjavaju pod dejstvom fizičkih činilaca (promene temperature, vetar, prenosna snaga vode), pa podležu delovanju hemijskih i bioloških činilaca, pri čemu se menja njihov sastav i unutrašnja struktura i nastaju sekundarni minerali, ali i neke prostije supstance. Voda je najvažniji činilac hemijskog razlaganja u zemljištu. Značajno je i prisustvo kiseonika i ugljene kiseline, proizvoda aktivnosti živih organizama u zemljištu. Veliki sadržaj ugljene kiseline daje vodi kiselu reakciju i pojačava njeno razarajuće dejstvo na minerale. Osim ugljene, kao proizvodi životne aktivnosti raznih organizama u zemlji, javljaju se i neke druge mineralne i organske kiseline (azotna, sumporna, limunska, oksalna, huminska). Osnovne reakcije pri hemijskom razlaganju minerala su: hidratacija, hidroliza, rastvaranje i oksido-redukcija.

Hemijski elementi koji ulaze u sastav litosfere i zemljišta zastupljeni su u različitim udelima. Njihov sadržaj dat je u Tabeli 1 [1].

Tabela 1. Srednji sadržaj hemijskih elemenata u litosferi i zemljištu u masenim procentima

Element	Litosfera	Zemljište
O	47,20	49,00
Si	27,60	33,00
Al	8,80	7,13
Fe	5,10	3,80
Ca	3,60	1,37
Na	2,64	0,63
K	2,60	1,36
Mg	2,10	0,60
Ti	0,60	0,46
H	(0,15)	?
C	(0,10)	2,00
S	0,09	0,085
Mn	0,09	0,085
P	0,08	0,080
N	0,01	0,10
Cu	0,01	0,002
Zn	0,005	0,005
Co	0,003	0,0008
B	0,0003	0,001
Mo	0,0003	0,0003

Pri potpunom raspadanju silikata alumo- i ferisilikata, nastaju prosti proizvodi raspadanja: hidratizirani oksidi gvožđa, aluminijuma, dvovalentnih i jednovalentnih baza, silicijumova kiselina i neke druge kiseline: ugljena, sumporna, hlorovodonična, azotna i fosforna. Neutralizacijom kiselina i baza nastaju različite soli, koje takođe čine sekundarne minerale: karbonati, sulfati, nitrati, hloridi, fosfati, silikati. Osim sekundarnih minerala prostog sastava, kao proizvod raspadanja primarnih minerala, nastaju i sekundarni alumo- i feri silikati koji su dosta rasprostranjeni u zemljištu. Nazivaju se minerali gline, jer čine deo raznih glina, i odlikuju se visokim stepenom disperznosti. Njihova opšta karakteristika je slojevita struktura i prisustvo hemijski vezane vode. Broj minerala gline je veliki, ali u zemljištu najveći značaj imaju minerali grupe kaolinita, montmorionita i hidroliskuna (*ilita*).

Brzina razgradnje primarnih minerala kao i brzina i mehanizam obrazovanja sekundarnih minerala, zavise od niza uslova. Osim specifičnosti samog primarnog minerala (njegove kristalne strukture, stepena disperznosti) i njihove kombinacije sa drugim mineralima, karakter promena primarnih minerala zavisi od temperature i vlažnosti, reakcije sredine (rN) i životne aktivnosti organizama. Bazne stene se razlažu brže nego kisele, a suva i hladna klima usporava razgradnju minerala, dok topla i vlažna ubrzavaju.

Hemijski elementi koji se u zemljištu nalaze u tragovima svrstavaju se u: nemetale, metale, teške metale, polumetale (stariji naziv *metaloidi*) i mikronutrijente. Gustina teških metala je veća od $5,0 \text{ g/cm}^3$ (Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Hg i Ni). Nemetali (*metaloidi*) imaju nemetalna i metalna svojstva (As, B), dok se pod nutrijentima podrazumevaju elementi potrebni u malim količinama za rast biljaka, $< 50 \text{ mg/g}$ (C, H, N, P i Mn).

Organski deo zemljišta

Iako se u zemljištu nalazi do 5% organskih materija one imaju veoma veliku ulogu u kvalitetu i osobinama zemljišta. Prisustvo organskih materija čini zemljište korisnim i plodnim u odnosu na jalove degradacione proizvode matičnih stena. Od neživog organskog materijala zastupljene su razne fulvo kiseline, huminske kiseline i humin, a od živih oblika korenje, bakterije, alge, gljive, crvi, gliste i mnogi drugi organizmi. Usled erozije dispergovan primarni materijal se nagomilava u udolinama i na tim mestima se stvaraju uslovi za naseljavanje ne samo nižih, već i viših biljaka i životinja. Životni ciklusi u novonastalim ekosistemima omogućavaju da se ubrza proces razlaganja biomase i sekundarne sinteze organskih materija u zemljištu. Proces stvaranja huminskih supstanci naziva se humifikacija. Uloga humusa u zemljištu je vrlo značajna jer on zadržava vodu i soli i povećava jonoizmenjivački kapacitet zemljišta. Huminske materije mogu i da okluduju i vezuju razne organske materije veštačkog porekla koje čovek dodaje zemljištu - herbicide, insekticide ili razne otpadne organske materijale.

Huminske supstance se ne mogu definisati ni po strukturi ni po funkcionalnim svojstvima već se definišu po rastvorljivosti u vodi, kiselinama i bazama. Dele se u tri grupe:

1. Huminske kiseline – sastoje se od izo ili heterocikličnih šestočlanih i petočlanih prstenova ili kondenzovanih prstenova poput benzola, naftalina, furana, pirola, indola, piridina, hinolina i drugih, međusobno vezanih mostovima koje čini jedan element (-O-, -N=) ili grupa atoma (-NH-, -CH₂-). Pri tom nastaju aminofenoli, aminohinoni, fenoksiadini i mnogi drugi. Za ovako složene organske molekule vezane su funkcionalne grupe, kao što su karboksilne, hidroksilne, metoksilne, karmonilne i dr. To su čvrste voskaste supstance uglavnom mrke boje, talože se iz vodenog rastvora pri vrednosti pH $< 2,00$. Ne rastvaraju se u kiselinama, ni etanolu, a rastvorne su u alkalijama pri čemu grade soli, humate.

2. Fulvokiseline – po hemijskom sastavu fulvokiseline imaju nešto manji sadržaj C i N u odnosu na huminske kiseline, uz nešto veći sadržaj O i H. Potpunom hidrolizom pored propenol-fenola daju aminokiseline i ugljene hidrate. Žute su boje. Rastvorne na svim pH vrednostima.
3. Humin – predstavlja nerastvoran deo huminskih materija u zemljištu.

Gasovita faza zemljišta – zemljišni vazduh

Gasovita faza zemljišta - zemljišni vazduh aktivno učestvuje u procesima koji se dešavaju u zemljištu. Njegova količina i sastav zavise od oksidacionih, redukcionih, aerobnih, anaerobnih procesa i njihovog intenziteta. Struktura zemljišta, od koje zavisi veličina međuprostora u njemu, određuje količinu zemljišnog vazduha. Pored strukture, na sadržaj vazduha u zemljištu utiče i zbijenost njegove građe. Bez obzira na veliko kolebanje sadržaja vazduha u zemljištu tokom godine, koje je povezano sa kolebanjem temperature i vlažnosti, primećuje se da je sadržaj vazduha u površinskim slojevima (0-20 cm) mnogo veći nego u dubljim slojevima (50-100 cm) gde sadržaj vazduha opada 3-4 puta. Glavni sastojci vazduha u zemljištu su kao i kod atmosferskog vazduha: azot, kiseonik, ugljen-dioksid i vodena para, ali se njegov procentualni odnos znatno razlikuje od vazduha i neprekidno se menja. Najmanjim promenama podleže azot, a najvećim ugljen-dioksid i kiseonik (zbog bioloških procesa u zemlji). Zemljišni vazduh je u stalnoj razmeni sa atmosferskim zbog difuzije gasova, kolebanja temperature i pritiska, vetrova, prolaska vode kroz zemljište [1].

Tečna faza zemljišta – zemljišni rastvor

Tečna faza zemljišta – zemljišni rastvor predstavlja najmobilniji, najpromenljiviji i najaktivniji deo zemljišta. Sastav i koncentracija zemljišnih rastvora je rezultat čitavog niza procesa: bioloških, hemijskih, fizičkih i fizičko-hemijskih koji se odigravaju u zemljištu, zavisno od temperature, vlažnosti i aeracije. Između čvrste i tečne faze postoji dinamička ravnoteža. Sve to čini sastav i koncentraciju zemljišnih rastvora veoma mobilnim. Tečna faza sadrži u rastvornom ili koloidnom obliku niz mineralnih i organskih materija. Važniji anjoni mineralnog dela zemljišta su: HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , Cl^- (većina njih je bitna za ishranu biljaka), a važniji katjoni su: K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} . U veoma malim količinama nalaze se i katjoni mikroelemenata. U sastav vodorastvorljivih organskih materija ulaze:

1. individualne organske materije (šećeri, organske kiseline, alkoholi, aminokiseline, vitamini, toksini - produkti metabolizma životinja, biljaka, mikroorganizama), i
2. visokomolekularna predhumusna i humusna jedinjenja [1].

Teški metali i arsen u zemljištu

U grupu teških metala ubrajaju se svi elemente čija je gustina veća od 5 g/cm^3 odnosno redni (atomski) broj veći od 20. Pored navedenog, fizičko-hemijskog značenja termina teški metali, ovaj izraz se sve češće koristi za toksične metale, tj. elemente koji ispoljavaju svoju toksičnost i pri relativno niskim koncentracijama [2]. Među različitim zagađivačima životne sredine, teški metali imaju veliki značaj zbog svoje neuništivosti i biološkog kruženja. US EPA je, na osnovu njihove potencijalne opasnosti po zdravlje ljudi, ustanovila da olovo, hrom, nikl, cink, arsen, kadmijum, bakar, živa, antimon, berilijum, selen, srebro i talijum čine najopasnije zagađujuće metale [3]. Teški metali, ukoliko su prisutni u životnoj sredini u povećanim količinama ugrožavaju zdravlje ljudi i životinja, što se javlja kao direktna posledica njihovog unošenja u organizam, vodom ili preko lanca ishrane.

Zagađenje zemljišta

Zagađenje može da se definiše kao poremećaj u sastavu zemljišta do koga dolazi većim ili manjim povećanjem sadržaja štetnih supstanci, koje mogu naneti štetu ljudima ili prirodnim ekosistemima. Prisutne toksične materije nisu produkt pedogenetskih procesa, već su pod brojnim antropogenim uticajima dospеле u zemljište. Zagađenje zemljišta nije lako odrediti prema njegovom hemijskom sastavu, jer je teško reći šta je to čisto zemljište. Međutim, postoje veliki broj bioloških indikatora koji se mogu upotrebiti za prepoznavanje promena prirodnog stanja zemljišta. Primer je odsustvo glista iz zemljišta sa velikom koncentracijom bakra, smanjen prinos i kvalitet biljaka, prisustvo neželjenih materija u drenažnoj vodi itd. Klasifikovano prema geografskim karakteristikama zagađenje može biti lokalno, regionalno i globalno, međutim razlika između ovih kategorija nije sasvim jasna [4].

Izvori zagađenja zemljišta kao posledica delovanja ljudskih aktivnosti mogu se svrstati u tri grupe: [5]

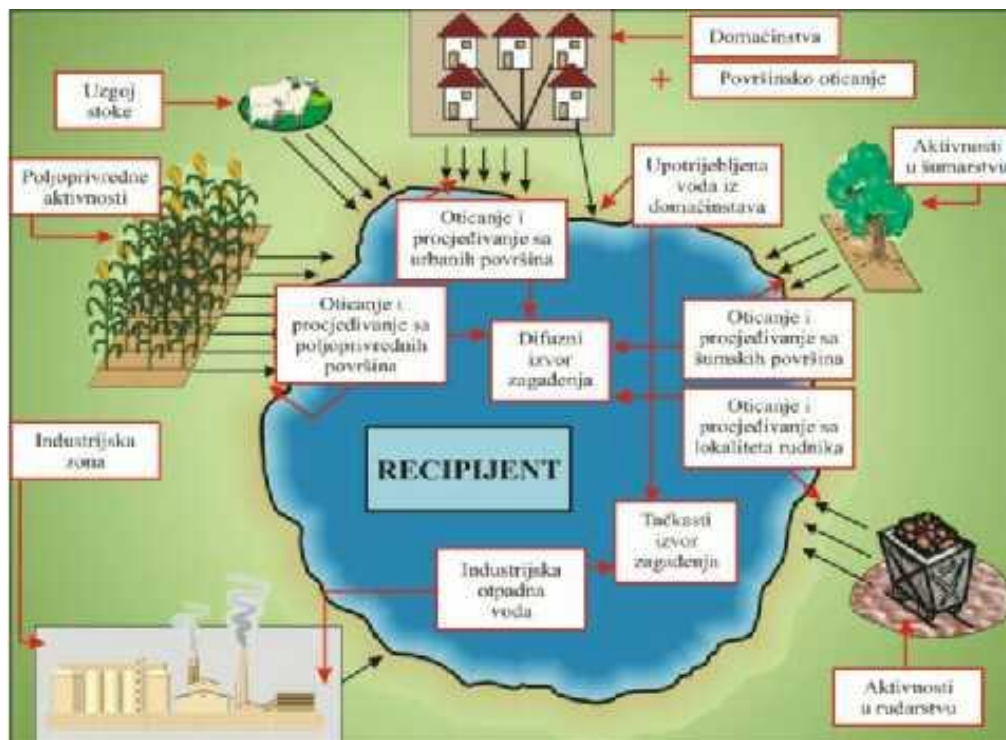
1. zagađivači poreklom iz atmosfere koji kontaminiraju zemljište spiranjem padavinama ili direktnom sedimentacijom:

- emisija iz industrijskih procesa,
- emisija usled sagorevanja fosilnih goriva (industrija, energetska postrojenja, individualna ložišta),
- emisija poreklom od motornih vozila, i
- emisija prilikom sagorevanja različitog organskog materijala;

2. otpadne vode kao zagađivači zemljišta:

- industrijske otpadne vode,

- vode zagađene aktivnostima koje se obavljaju u poljoprivredi (mineralna đubriva, pesticidi, organske materije različitog porekla), i
 - otpadne vode iz domaćinstava i od održavanja higijene naselja;
3. čvrsti otpad različitog porekla, što je prikazano na slici 1.



Slika 1. Kontaminacija zemljišta teškim metalima kao rezultat antropogene aktivnosti

Stepen zagađenosti vazduha u jednoj oblasti zavisi od razvijenosti industrije, saobraćaja i stepena urbanizacije. Zagađivanje vazduha nepovoljno utiče na agroekosistem - oštećuje zemljište, vegetaciju, menja kvalitet podzemnih i površinskih voda, utiče na zdravlje životinja i na mikroklimu. Vazduh može biti zagađen taložnom prašinom (aerosediment), aerosolima (čađ, dim), gasovima i parama. **Smog** – toksična magla, nastaje kada se u vazduhu istovremeno nađu gasovi i aerosoli. Zagađenje zemljišta je u direktnoj vezi sa zagađenjem vazduha. Naime, aerosoli i lebdeće čestice pod uticajem zemljine teže i padavina dospevaju u zemljište, površinske i podzemne vode. Međutim, one se talože i na nadzemne organe biljaka. Staložene na listu utiču na toplotni režim i fotosintetičku aktivnost listova.

U industrijskim zonama, u zemljište dospeva značajna količina sumporne i sumporaste kiseline. One sa raznim elementima stvaraju teško rastvorne sulfate, smanjujući tako pristupačnost hranljivih materija biljkama. Takođe, dovode do smanjenja rN vrednosti zemljišta, što može nepovoljno da utiče na njegovu plodnost.

Sa naglim naučno-tehnološkim razvojem u svim granama privrede povećana je emisija teških metala, koji su tako postali značajni zagađivači. Neki antropogeni izvori teških metala su: atmosferski talozi, sagorevanje fosilnih goriva, upotreba mineralnih đubriva i pesticida, organska đubriva, otpadne vode iz industrija, uklanjanje urbanih i industrijskih otpadaka, metalurške industrije, rudnici i topionice obojenih metala i mnogi drugi. Uočeno je da zemljište u blizini velikih gradova i u blizini autoputeva sadrži visoke koncentracije teških metala, posebno olova, koje najčešće potiču od aerozagađenja [6]. Dospevši u zemljište, ova jedinjenja mogu nepovoljno uticati na mnoge njegove osobine, na rasteenje i, razviće biljaka, kao i prinos i kvalitet proizvoda. Biljke gajene na kontaminiranim zemljištima i korišćene u ishrani ugrožavaju život i zdravlje ljudi i životinja [7].

Maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK) teških metala u ograničenom sloju zemljišta je ona koncentracija izražena u mg/kg koja ne izaziva (neposredno ili posredno) negativno dejstvo na sredine koje dolaze u kontakt sa zemljištem, zdravlje čoveka, kao i na sposobnost samoprečišćavanja zemljišta [8].

Maksimalno dozvoljene koncentracije metala u zemljištu objavljene u Službenom glasniku RS (1994) date su u Tabeli 2.

Tabela 2. Maksimalno dozvoljena količina (MDK) opasnih i štetnih materija u zemljištu

Redni broj	Hemijski element	MDK u zemljištu (mg/kg)
1.	Kadmijum	do 3
2.	Olovo	do 100
3.	Živa	do 2
4.	Arsen	do 25
5.	Hrom	do 100
6.	Nikl	do 50
7.	Fluor	do 300
8.	Bakar	do 100
9.	Cink	do 300
10.	Bor	do 50

PŠENICA

Pšenica – Botanička klasifikacija: familija *Poaceae* Barhart (*Gramineae* Jussieu L.A. – trave), subfamilija: *Pooideae* klasaste trave, rod (*genus*) *Triticum* – pšenica [9]. Pšenica je jednogodišnja biljka, kao i sva žita pripada familija trava – *Gramineae*. Po morfološkim karakteristikama slična je travama. Zbog dominantne uloge u svetskoj ishrani, pšenica i ostala prava žita imaju karakter strateških proizvoda i zauzimaju značajni deo ukupnih poljoprivrednih površina. Od ukupnih površina pod žitima, u svetu se, pod pšenicom, prosečno nalazi 31,8%, tj. oko 227,4 miliona hektara i sa tih površina proizvede se oko 564 miliona tona pšenice godišnje (više od 100 kg po stanovniku).

Najveći značaj pšenice se ogleda u proizvodnji pšeničnog hleba. Proizvodnja i prerada pšenice i proizvodnja hleba poznate su već 6000 godina, a načini proizvodnje su se menjali i usavršavali, te su se vremenom pojavile razne vrste pekarskih proizvoda, koji kao osnovnu sirovinu koriste pšenično brašno. U zavisnosti od vrste i genotipa pšenice, kao i stepena izmeljavanja, savremena mlinska prerada nudi pekarstvu širok izbor pšeničnog brašna pa time i proizvodnju velikog broja pekarskih proizvoda koji predstavljaju značajne energetske izvore za ishranu ljudi. U nekim nerazvijenim zemljama predstavljaju jedini izvor energije za život. U razvijenim industrijskim zemljama, sa visokim životnim standardom udeo pšeničnih proizvoda u ishrani se kreće do 25%.

Beli pšenični hleb karakteriše visok sadržaj ugljenih hidrata (77-78%), proteina (belančevina) (16-17%), ulja (1,3-1,5%). Hleb ima dobru svarljivost. Crni pšenični hleb bogat je i kompleksom vitamina B (B1, B2), vitamina PP (nikotinamida) i dr. i bogatiji je jedinjenja kalcijuma, fosfora i gvožđa nego beli. Ustanovljeno je da organizam čoveka najbolje iskorišćava ugljene hidrate iz pšeničnog hleba i ostalih pšeničnih pekarskih proizvoda – čak 93-98%, iskorišćenje masti je 85-93% a proteina 70-85%.

Uloga pšenice u stočarskoj proizvodnji je takođe velika. Najvažniji sporedni proizvod u procesu fine meljave su pšenične mekinje koje se koriste u ishrani domaćih životinja. Pšenica se može koristiti i kao voluminozna stočna hrana, a najveću hranljivu vrednost ima u fazi vlatanja. Slama služi kao prostirka, dok se u ekstenzivnoj stočarskoj proizvodnji može upotrebiti i za ishranu domaćih životinja preživara.

Privredni značaj pšenice ogleda se, pre svega, u mlinskoj i pekarskoj industriji. Velika je uloga pšenice i u konditorskoj industriji.

Pšenica i pH vrednost zemljišta

Reakcija poljoprivrednog zemljišta kreće se u intervalu od 3,50-9,50. Od pH vrednosti zemljišta zavisi rastvaranje zemljišnih minerala, transformacija produkata njihovog raspadanja, usvajanje hranljivih materija od strane biljaka, intenzitet mikrobiološke aktivnosti, koagulacija i peptizacija koloida, oksido-redukциони i drugi fizičko-hemijski procesi u zemljištu, i naravno usvajanje hranljivih materija od strane biljaka. Reakcija zemljišta utiče na biljke *direktno* (menja pH vrednost ćelijskog soka) ali i *indirektno* (menja pristupačnost hranljivih materija za biljke). Mikroelementi (sem molibdena) su pokretljiviji, a samim tim i pristupačniji u kiseloj sredini.

Najveći prinos zrna pšenice dobija se pri pH vrednosti 6,80-7,80. Odnos pšenice prema reakciji sredine menja se sa uzrastom biljke: osetljivost na povećanje kiselosti opada sa povećanjem uzrasta biljke. Međutim, u zavisnosti od reakcije zemljišnog rastvora, pšenicu u različitim količina može usvojiti neophodne makro- i mikro-elemente, ali i teške metale. Zbog značaja pšenice kao ratarske kulture danas se, u cilju povećanja prinosa pšenice, u proizvodnju uvode visokorodne sorte pšenice, upotrebljava se mineralno đubrivo kao i druge agrotehničke mere.

Pšenica i mineralne materije

Odmah posle setve pšenica počinje da usvaja hranljive materije iz zemljišta. Sa formiranjem sekundarnih korenova taj proces se nastavlja. Veliki je broj elemenata koji pšenica usvaja iz zemlje, tako da se u sastavu zrna i slame nalazi više od 15 elemenata: N, P, K, Si, Ca, Mg, S, Fe koji su u većim količinama potrebni pšenici, dok potrebe za Mo, Zn, Ni, Mn, B, Cu, Br, I za optimalan porast nisu velike pa ih i usvaja u malim količinama [10]. Mikroelementi imaju više značajnih funkcija u metabolizmu pšenice: poboljšavaju proces fotosinteze i proces asimilacije, ulaze u sastav oksido-reduktivnih fermenta, povećavaju sadržaj belančevina, ugljenih hidrata, aminokiselina, fermenta, vitamina, hlorofila, a povećavaju i otpornost pšenice. Kod pšenice dejstvo određenih mikroelemenata zavisi od mnogo faktora: sadržaja u zemljištu, od oblika jedinjenja u kojima se mikroelementi nalaze, stanja zemljišta (stepen zasićenosti i količina organskih jedinjenja). Od mikroelemenata za pšenicu je neophodna dobra obezbeđenost zemljišta i sa Fe, Mn, Cu. Mangan povećava sadržaj proteina, a samim tim obezbeđuje povećanje prinosa, utiče na povećanje čvrstoće mehaničkih tkiva pa smanjuje poleganje pšenice (povećava sadržaj celuloze). Njegova uloga se ogleda i u povećanju otpornosti pšenice prema mnogim bolestima. Mangan pojačava procese disanja pšenice, poboljšava fotosintezu (povećanjem sadržaja hlorofila), učestvuje u obrazovanju vitamina C u mladim biljkama i ima uticaj na metabolizam azota. Negativno dejstvo mangana može se pojaviti kod ozime pšenice ukoliko je uneta veća količina mineralnih đubriva [11].

Cink deluje na pšenicu tako što utiče na proces oplodnje, ima značajnu ulogu u biosintezi hormona rasta, utiče na fotosintezu, poboljšava sintezu ugljenih hidrata i triptofana, učestvuje u obrazovanju vitamina P i grupe B, ulazi u sastav niza fermenata. Bakar utiče na metabolizam ugljenih hidrata, proteina (što izaziva povećanje sadržaja glutena), utiče na procese fotosinteze, učestvuje u omogućavanju nesmetane migracije materije iz listova i stabla u zrno. Njegov nedostatak izaziva povećanje sadržaja azotnih materija. Najveće nakupljanje mineralnih materija zapaža se u istim periodima u kojima je zapažen i prirast suve materije (naročito u fazi vlatanja).

U suvim rejonima zapaženo je da se posle klasanja sadržaj mineralnih materija u nadzemnom delu biljke smanjuje, dok se u vlažnim rejonima maksimalna količina mineralnih materija zapaža kasnije, u vreme mlečnog stanja. Ovu nepodudarnost moguće je objasniti uticajem spoljašnjih uslova na nakupljanje mineralnih materija u biljkama, pre svega, padavinama u vreme vlatanja i klasanja, kao i njihovim slabim oticanjem u zemljište. Na veličinu i brzinu nakupljanja elemenata mineralnih materija u pšenici znatan uticaj pokazuje tip zemljišta. Najveći sadržaj mineralnih materija, u procentima, je u bokorenju, a kasnije opada. Dovoljna vlažnost zemljišta u vreme klasanja pšenice uvećava, u momentu mlečnog stanja, količinu mineralnih materija za 80% u poređenju sa jednokratnim navodnjavanjem u periodu bokorenja. U voštanoj zrelosti sadržaj mineralnih materija u biljkama je viši samo za 12% u poređenju sa nenavodnjavanom pšenicom.

Mineralne materije u pšeničnom zrnu

Zrno pšenice se sastoji od omotača ploda, koji u sastavu zrna učestvuje sa oko 8%, zatim od aleuronskog sloja (6-14%), pravog endosperma (78-84%) i klice koja učestvuje sa oko 3%. Pojedini delovi zrna imaju sledeći hemijski sastav izražen u procentima na suhu materiju koji su prikazani u Tabeli 3. [12].

Tabela 3. Prosečan hemijski sastav anatomskih delova zrna u procentima

Deo zrna	Udeo pojedinih delova zrna (u %)	Proteini	Skrob	Ugljeni hidrati	Celuloza	Pentozani	Masti	Mineralne materije
Celo zrno	100,00	16,06	63,07	4,32	2,76	8,10	2,28	2,18
Endosperm	81,60	12,91	78,82	3,54	0,15	2,72	0,68	0,45
Klica	3,24	41,30	-	25,12	2,46	9,74	15,04	6,32
Omotač sa aleuronskim slojem	15,84	28,75	-	4,18	16,20	36,65	7,78	10,51

Sadržaj mineralnih materija u zrnu pšenice zavisi od vrste i sorte pšenice, klimatskih uslova prilikom nalivanja i sazrevanja zrna, kao i primenjenih agrotehničkih mera. Mineralne materije u zrnu najviše se nalaze u omotaču i u aleuronskom sloju, a najmanje u endospermu, što se vidi iz Tabele 4. [12].

Kao što se iz Tabele 4. vidi, glavni deo mineralnih materija zrna pšenice čini fosfor. U manjoj meri u zrnu se nalazi K, Mg i Ca. Znači, zrno sadrži vrlo male količine za ljudsku ishranu važnog kalcijuma i fosfora, a pored toga, izvestan deo kalcijuma mlevenjem se odstranjuje, jer se većinom nalazi u omotaču i aleuronskom sloju, dok se fosfor u zrnu čak i do 70% nalazi u obliku fitina, koje čovekov organizam ne može koristiti.

Pored navedenih elemenata značajni su i mikroelementi (Fe, Mn, Zn, Ni, Cd i Cr) koji se najviše nalaze u omotaču i aleuronskom sloju i imaju fiziološki značaj za metabolizam čoveka i domaćih životinja. Sadržaj mineralnih materija u zrnu kreće se oko 2%, a sadržaj mineralnih materija u brašnu zavisi od izmeljavanja pšenice i kreće se od 0,45% do 2,00% [12].

Tabela 4. Sadržaj mineralnih materija u zrnu pšenice i pojedinim delovima zrna

Elementi	Celo zrno	Klica	Endosperm	Alueronski sloj	Omotač
fosfor	0,42	1,66	0,11	1,39	0,08
kalijum	0,37	0,91	0,12	1,10	0,24
magnezijum	0,15	0,54	0,02	0,58	0,13
kalcijum	0,03	0,17	0,02	0,07	0,26
mikroelementi (Fe, Mn, Zn, Ni, Cd, Cr)	u vrlo malim količinama				

TEŠKI METALI I BILJKE

Elementi koji ulaze u sastav biljaka nemaju isti značaj. Neki su neophodni, bez njih biljke ne mogu da završe svoj životni ciklus, drugi mogu da deluju stimulatивно, dok jedna grupa elemenata, posebno neesencijalni teški metali pri većim koncentracijama deluju na biljke veoma toksično: utiču na životne procese, anatomsku i morfološku građu, hemijski sastav, prinos i rasprostranjenost biljaka. Metali čija je gustina (specifična masa) veća od 5 g/cm³ spadaju u grupu **teških metala**. Teški metali imaju višestruki značaj: neki od njih (Fe, Zn, Cu, Se Co), su neophodni kako za biljke tako i za čoveka.

Drugi deluju stimulatивно (Ti, V), dok su treći: Hg, Pb, As, Ni, Cr(VI), Cd toksični i za biljke i za čoveka [13]. Jedan broj teških metala (Fe, Mn, Cu, Zn i Co) je neophodan u malim količinama za normalno rast i razvoj biljaka ali su zato u visokim koncentracijama toksični za biljke.

Postoje tri grupe mineralnih elemenata od interesa za prehrambenu industriju, nauku i nutricioniste:

1. esencijalni za ljude (Cu, Ca, Fe, K, Mg);
2. esencijalni za biljke i jednu ili više životinjskih vrsta, ali ne i za čoveka (As, Cd, Ni), i
3. toksični ili sa terapijskom upotrebom (Al, Ba, Hg).

Treba naglasiti da su svi elementi toksični, jedino da količine (doze) čine neke elemente netoksičnim. Granica koja razdvaja esencijalne od toksičnih zavisi od koncentracije elemenata i količine koja se hranom unosi [14].

Nepoželjni metali potiču iz kontaminiranog vazduha i zemljišta. U zemljištu se nepoželjni metali mogu naći ukoliko se neracionalno koriste sredstva za zaštitu bilja. Takođe, neracionalnom upotrebom organskih i mineralnih đubriva i to fosfornih kao i taloženjem iz atmosfere dolazi do kontaminacije zemljišta [15].

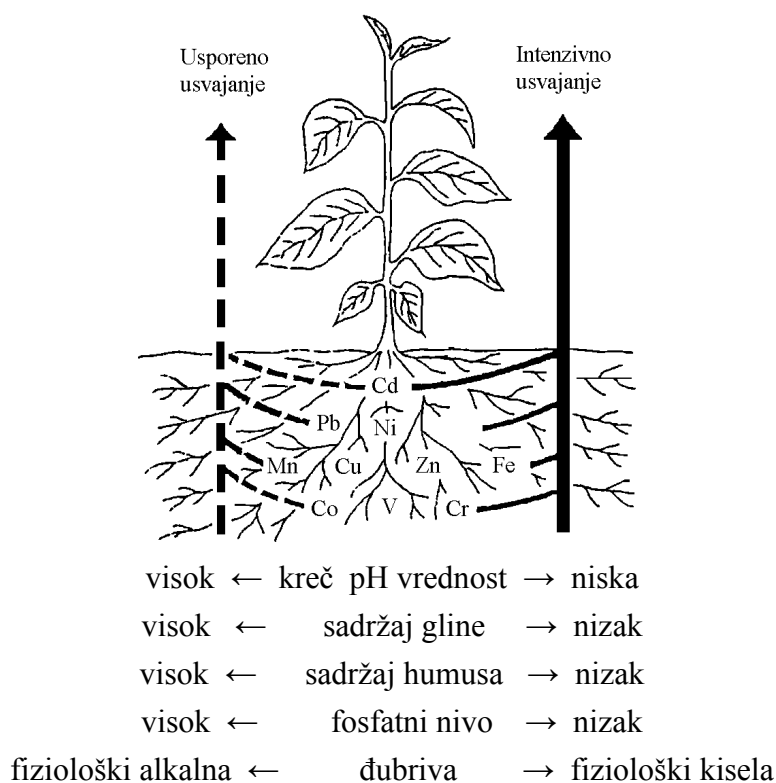
Biljke imaju važnu ulogu u kruženju teških metala u prirodi. Teški metali najvećim delom preko biljaka ulaze u lanac ishrane. Jedan od načina na koji teški metali dospevaju u prehrambene proizvode je preko zagađenih biljaka i životinja koje se koriste za njihovu proizvodnju. Tako, ako se biljke gaje na zemljištu sa visokim sadržajem teških metala onda će jedan deo tih metala dospeti u njihov organizam. Korišćenje takvih biljaka za ishranu domaćih životinja dovešće do toga da i one budu kontaminirane teškim metalima. Meso, mleko i jaja ovih životinja biće lošeg kvaliteta s obzirom na visok sadržaj teških metala u njima. Drugi ne manje značajan način kontaminiranja prehrambenih proizvoda teškim metalima je sam tehnološki postupak njihovog dobijanja. Naime, usled nekih nepravilnosti u tehnološkom postupku može doći do unošenja pojedinih metala u mnogo većim količinama nego što je to propisima dozvoljeno. Primer je kontaminacija materijala česticama metala (Cu, Zn i Fe) u toku njegovog sitnjenja u mlinu. Nepravilno čuvanje i skladištenje je takođe izvor zagađivanja prehrambenih proizvoda teškim metalima [16]. Vazduh u industrijskim zonama je jedan od glavnih izvora zagađenja. Nepoželjne metale biljka usvaja iz zemljišta, a u određenim uslovima i preko lista. Ovi elementi se u korenu mnogo intenzivnije nakupljaju nego u nadzemnim organima [17]. Zato je poznavanje mehanizma nakupljanja, raspodele i metabolizma teških metala u biljkama od velikog ekološkog, naučnog i praktičnog značaja. Ovo utoliko pre, što se teški metali ubrajaju u toksične materije koje zagađuju životnu sredinu.

Biljke teške metale prvenstveno usvajaju iz zemljišta, a pri određenim uslovima i preko nadzemnih organa. Intenzitet usvajanja i nakupljanja teških metala u biljkama zavisi od brojnih činilaca. Usvajanje teških metala povećava se smanjenjem vrednosti pH zemljišta.

Na usvajanje teških metala značajno utiču procesi u rizosferi i sadržaj organske materije, fosfata, kreča i dr. Usvajanje teških metala zavisi od temperature i intenziteta svetlosti [18].

Biljke različitim intenzitetom usvajaju i nakupljaju teške metale. Razlike su naročito uočljive kod biljaka koje rastu na staništima prirodno bogatim ili antropogenim putem zagađenim teškim metalima. Biljne vrste sposobne da bez vidljivih simptoma usvajaju i akumuliraju velike količine teških metala u literaturi se često nazivaju „metalofite”, „hiperakumulatori” ili „flora teških metala”. Pojam flora teških metala (*engl. heavy metal flora*) predstavlja biljne vrste koje se normalno razvijaju i rastu na zemljištu bogatom teškim metalima [19]. Na osnovu načina nakupljanja teških metala biljke se mogu podeliti u tri grupe: akumulatore, indikatore i biljke koje teške metale nakupljaju u malim količinama. U biljke akumulatore ubrajaju se vrste koje korenovim sistemom i nadzemnim delovima nakupljaju značajne količine teških metala, nezavisno od njihovog udela u zemljištu. Kod biljaka indikatora usvajanje i transport teških metala u nadzemne organe verno odražava njihovu koncentraciju i u spoljašnjoj sredini. Treću grupu čine biljke u kojima je koncentracija teških metala u nadzemnom delu uglavnom konstantna i nezavisna od prisustva teških metala u zemljištu.

Neophodni mineralni elementi u zemljišnom rastvoru utiču na usvajanje i transport teških metala i time ublažavaju ili povećavaju njihov nepovoljan uticaj na biljke, što je prikazano na slici 2.



Slika 2. Usvajanje teških metala od strane biljaka

Uticaji pojedinih teških metala na životne procese biljaka manje-više je specifičan [76]. Teški metali mogu na biljke da utiču posredno i neposredno a mogu negativno da utiču na sve fiziološko-biohemijske procese biljaka. Kao rezultat toga nastaju anatomske i morfološke promene i dolazi do smanjenja produkcije organske materije i do promene hemijskog sastava biljaka [13,20].

Vidljivi simptomi toksičnog dejstva teških metala na biljke najčešće su nespecifični. Prvi vidljivi simptom nepovoljnog dejstva teških metala je smanjenje rasta biljaka i pojava *hloroze* i *nekroze*. Kod većine biljaka najpre se promene uočavaju na najstarijim a kasnije na ostalim listovima. Često dolazi do izumiranja najstarijih listova a rast najmlađih je značajno smanjen. Kod brojnih vrsta visoke koncentracije teških metala mogu da izazovu i njihovo izumiranje [21].

Veliki broj eksperimentalnih podataka dokazuje da teški metali specifično utiču na proces fotosinteze kao i da je fotosintetski aparat posebno osetljiv na dejstvo povećanih koncentracija teških metala. Smatra se da se na osnovu reakcije fotosintetičkog aparata i njihovog prisustva može suditi o otpornosti genotipa prema teškim metalima.

Teški metali prvenstveno deluju na fotosistem II, fotosforilizaciju i tok transporta elektrona. Opadanje sadržaja fotosintetskih pigmenta pod dejstvom teških metala ukazuje da oni utiču na metabolizam pigmenta. Teški metali prisutni u citoplazmi i mitohondrijama inhibiraju proces disanja. Mehanizam nepovoljnog dejstva teških metala na intenzitet disanja nije još uvek sasvim jasan. Pretpostavlja se da su istovremeno uključeni kako neposredni tako i posredni efekti.

U brojnim ispitivanjima je do sada utvrđeno da veće koncentracije teških metala utiču na anatomsku i morfološku građu, rast, razvića i organsku produkciju biljaka. Najznačajniju ulogu u regulaciji i razviću biljaka imaju fitohormoni.

Prema Marcshner-u, svi ekološki činioci kojima se sprećava rast korena smanjuju transport citokinina iz korena u nadzemne organe pošto se oni sintetišu u korenu. Teški metali pri većim koncentracijama značajno smanjuju rast korena, zato je i opravdano pretpostaviti da oni utiču i na snabdevanje nadzemnih organa citokininima [21].

Kritične koncentracije metala u biljkama, pri kojima se masa suve materije smanjuje za 10%, zavisi od biljne vrste, sorte ili genotipa te vrste teškog metala i drugih faktora predstavljene su u Tabeli 5, koja predstavlja prosečne kritične i toksične koncentracije teških metala kod gajenih biljaka, sastavljene na osnovu literaturnih podataka [13,46].

Tabela 5. Prosečne kritične i toksične koncentracije teških metala kod gajenih biljaka

Teški metal	Kritična koncentracija (mg/kg suve materije gajenih biljaka)	Toksična koncentracija (mg/kg suve materije gajenih biljaka)
Cd	5	10
Hg	2	5
Ti	20	30
Co	10	20
Cr	1	2
Cu	15	20
Ni	20	30
Pb	10	20
Zn	150	200
Mn	150	400
Fe	200	600

Teški metali u proizvodima prehrambene industrije

U pakovanju životnih namirnica u prehrambenoj industriji primenu nalaze različiti ambalažni materijal, na primer beli i aluminijumski lim, staklo, plastične mase, papir, papirna i kartonska ambalaža, drvo i tekstil [22]. Ovi materijali se međusobno razlikuju ne samo po načinu dobijanja i sastavu, već i po hemijskim, fizičko-hemijskim, fizičkim i mehaničkim svojstvima, što im i omogućava primenu za pakovanje različitih namirnica, shodno njihovom sastavu, načinu skladištenja i transporta, potrebama tržišta i dr. Beli lim je najzastupljeniji materijal za proizvodnju limene ambalaže [23,24] od kojih se najveći deo koristi za pakovanje namirnica. Jedna od završnih operacija u proizvodnji belog lima je njegova hemijska zaštita – hromatizacija. Tokom ove operacije na površini metala formira se tanak pasivizacioni film koji se sastoji od oksida kalaja, oksida hroma i elementarnog hroma, i čiji sastav ima značajnu ulogu na odvijanje procesa elektrohemijske korozije metala u kontaktu sa sadržajem limenki [22].

Namirnice, koje mogu biti heterogenog hemijskog sastava, sadrže ili im se dodaje, znatna količina vode, organskih kiselina, kuhinjske soli, nitrata, antocijana i dr., koji su potencijalni uzročnici korozije metala u kontaktu sa sadržajem konzervi. Kao posledica korozije konzervi, dolazi do povećanja koncentracije jona metala, pre svega kalaja i gvožđa, do pogoršanja organoleptičkih svojstava namirnice, pa i perforacije konzervi.

Od svih elemenata periodnog sistema, sa toksikološke tačke gledišta značajni su teški metali, koji se karakterišu različitim hemijskim svojstvima i, naročito, biološkim dejstvom. Kako se njihova klasifikacija zasniva na sličnim fizičkim a ne hemijskim svojstvima, tako je i njihovo toksikološko dejstvo posledica različite količine i načina štetnog delovanja. Pošto ćelije imaju veoma složen hemijski sastav, nije moguće izvesti zakonitost u pogledu njihovog biološkog dejstva, s obzirom da su teški metali veoma heterogena grupa elemenata, ali je realno da se članovi iste periode ponašaju slično. Takođe, postoje mnogobrojna jedinjenja sa teškim metalima čija svojstva zavise kako od samog metala, tako i od vrste radikala i njihovih međusobnih veza. Toksičnost pojedinih elemenata obično raste sa povećanjem specifične mase [25,26].

Većina teških metala gradi komplekse sa ligandima koji sadrže O, S ili N kao donore elektrona. Pošto svaka ćelija poseduje biološki važne molekule koji sigurno uključuju funkcionalne grupe (one koje se nalaze u aktivnim centrima enzima ili učestvuju u stvaranju veza): -SH, -OH, -COOH, -NH i dr., određeni metal pokazuje afinitet prema određenoj grupi, vezuje se za nju i narušava propustljivost ćelijske membrane inhibicijom enzimskih sistema. Ulaskom teških metala u citoplazmu dolazi do daljih blokada enzimskih sistema ćelije. Na primer, gvožđe i cink imaju značajnu fiziološku ulogu u organizmu, dok su olovo, kadmijum, bakar i arsen veoma toksične supstance, čija se jedinjenja odlikuju veoma malom biodegradibilnošću.

Danas se smatra da *ćelijska membrana predstavlja primarno dejstvo delovanja i oštećenja pri trovanju organizma teškim metalima, dok oštećenje enzimskih sistema u unutrašnjosti ćelije u većini slučajeva nastaje kao sekundarna pojava* [27].

Za određivanje sadržaja teških metala na raspolaganju su različite metode instrumentalne hemijske analize. U te metode ubrajaju se: kolorimetrija, atomska apsorpciona spektrofotometrija (AAS), metoda induktivno spregnute plazme (ICP), polarografija, direktna potencijometrija (jonometrija) i dr. Za određivanje teških metala uglavnom se koristi atomski apsorpcioni spektrofometar [20,26,28]. Primena atomske apsorpcione spektrofotometrije našla je veliku primenu u praksi zbog visoke osetljivosti (mnogi elementi se mogu određivati u koncentraciji od 10^{-6} g i manje), preciznosti (oko 1%), selektivnosti i mogućnosti primene za određivanje sadržaja većeg broja elemenata (metodom AAS se može odrediti preko 20 elemenata: Zn, Cu, Mn, Ni, Fe, Ca, Mg, Na, K, Al, Pb, Si i dr.) [26].

Određivanju teških metala u prehrambenim proizvodima u svetu je posvećena velika pažnja. Od svih teških metala najviše je istraživano olovo [29-31], kalaj [32], cink [31], arsen [32-34], bakar [32,35-40] i naročito kadmijum [32,41-44], što je i predstavljalo osnovu istraživanja radi utvrđivanja sadržaja teških metala u prehrambenim proizvodima koji su se nalazili u konzervama od lakiranog belog lima i praćenja promene sadržaja teških metala u prehrambenim proizvodima koji su se nalazili u konzervama, tokom njihovog višemesečnog stajanja [45].

ZAGAĐIVANJE ZEMLJIŠTA TEŠKIM METALIMA

Razvojem industrije antropogeni izvori teških metala su postali značajni zagađivači zemljišta i njihovo dospevanje se mora sprečiti kako bi u sistemu zemljište-biljka-čovjek, krajnji korisnik imao biološki ispravnu hranu. Od antropogenih zagađivača zemljišta kadmijumom značajno mesto zauzimaju mineralna đubriva, posebno mineralna (veštačka) đubriva fosfora, te je potrebna stalna kontrola sirovina za njihovu proizvodnju [20,46]. Otpadni muljevi sadrže visoke koncentracije teških metala, a unose se kao organska đubriva u zemljište, prvenstveno kao način njihovog odlaganja.

Atmosfera predstavlja značajan transportni medijum za metale iz različitih izvora. Pepeo nastao sagorevanjem fosilnih goriva je značajan zagađivač zemljišta mnogim teškim metalima, pa i kadmijumom. Rudnici i industrije metala zagađuju zemljište emisijom dima i prašine, koja sadrži teške metale, a koji se iz vazduha talože na zemljište i vegetaciju [47].

Unos metala preko lišća je oko 10 puta veći nego preko korena iz kontaminiranog zemljišta pri čemu je preko lišća najefikasniji unos jona cinka. Usvajanje jona olova iz zemljišta je bilo zanemarljivo i zaključak je da ovaj metal u biljke prvenstveno dospeva preko lišća iz vazduha. Takođe je uočeno da se u pojedine delove pšenice (zrno, stabljika) nakupljaju uglavnom joni Zn, nešto manje joni Cd i najmanje joni Pb, bez obzira na to da li je usvajanje ovih metala bilo preko kontaminiranog zemljišta ili preko lista.

Pokazano je da se joni metala akumuliraju po sledećem rasporedu: [48]

list > koren > stablo > plod

Korenov sistem biljakama ne služi samo kao rezervoar za kretanje vode i hranljivih materija, već ima značajnu ulogu kod distribucije i sadržaja teških metala iz zemlje kroz biljku. Većina prethodnih istraživanja bila su usmerena na određivanje ukupnog sadržaja teških metala u korenovom sistemu, dok rastvorljivost teških metala nije još dovoljno ispitana [49]. U jednom istraživanju na šumskom tlu gde su zasađeni borovi koji su tretirani veštačkom kipom različite kiselosti praćena je mobilizacija teških metala. Dokazano je da je sa smanjenjem kiselosti kiše smanjena mobilizacija i Zn i Cu [50]. Unos teških metala kod nekih povrtarskih kultura, gde je pH vrednost zemljišta iznosila 7,00 pre setve, značajno je uticao na smanjenje koncentracije teških metala u samom povrću (šargarepa i spanać). Veće smanjenje koncentracije metala je bilo za Cd, Ni i Zn a manje za Cu i Pb. Kod pšenice su rezultati pokazali da je povoljnija pH vrednost 7,00 zemljišta od pH 6,50 jer se tada mnogo manje akumuliraju potencijalno toksični elementi iz zemljišta. Podaci za ozimu pšenicu tj. sadržaj teških metala u zrnu pšenice ukazuje da nema značajnih promena sa promenom pH vrednosti zemljišta [51]. Takođe je sprovedena i studija radi istraživanja toksičnih efekata određenih teških metala na rast biljaka i prinos zrna pšenice *Triticum aestivum* L. Rezultati su pokazali da je veoma toksičan efekat pokazao Cd u odnosu na Cu, Ni, Zn, Pb i Cr.

Prisustvo Cd u zemljištu rezultiralo je maksimalnim brojem slobodno živećih *Azotobacter chroococcum* ćelija. Sadržaj proteina se znatno smanjio [52]. Putem vegetacionog ogleda u sudovima proučavano je usvajanje teških metala u različitim organima salate, rotkvice i šargarepe. Ogledi su izvedeni sa zemljištima različitog stepena kontaminacije teškim metalima. Na osnovu rezultata došlo se do zaključka da je došlo do enormne akumulacije teških metala, posebno u listu ispitivanih biljaka: gvožđa, cinka, olova i kadmijuma. Utvrđene vrednosti su iznad maksimalno dozvoljenih količina (MDK), kako za normalni razvoj biljaka tako i za njihovo korišćenje za ishranu ljudi. Kod ispitanih uzoraka baštenskog zemljišta i zemljišta pored magistralnog puta nađeni su nešto veći sadržaji: gvožđa, cinka, olova i nikla, ali oni nisu imali depresivno delovanje na razvoj biljaka [53].

Na teritoriji Kosova i Metohije, u dolini reka Ibar i Sitnica nalaze se dva značajna industrijska basena, Kosovska Mitrovica i Obilić. Ovi industrijski giganti svojim emisijama vrše zagađenje životne sredine na širem području Kosova i Metohije. Teški metali (Pb, Zn, Cd, Cu) koji se emituju iz ovih industrijskih regiona padaju u izmenjenom ili neizmenjenom obliku na zemljinu površinu, odakle ih biljke apsorbuju i akumuliraju u svoja tkiva i organe. Bokvica je indikator kontaminiranosti i pokazuje ogromnu mogućnost akumulacije teških metala. Sa povećanjem udaljenosti od emitera sadržaj teških metala se smanjuje. Od ispitivanih povrtarskih vrsta najmanje količine teških metala akumuliraju kukuruz, boranija, paradajz, a najveće kupus. Povrtarske vrste akumuliraju manju količinu teških metala od voćnih vrsta [54].

Babincev i Rajković ispitivale su sadržaj olova u spanaću primenom potenciometrijske striping analize (PSA) koji je uzgajan u okolnim selima Kosovske Mitrovice i na privatnim poljoprivrednim atarima Priluzja, Plemetine, Babinog mosta, Vučitrske Banjske i Banjske Slatine, tačnije selima Vučitrske opštine koja se nalazi na putu Priština-Kosovska Mitrovica, ne prelazi granicu toksičnosti. Za februar mesec 2009. godine, sadržaj olova na svim lokalitetima je prelazio kritičnu koncentraciju. Sadržaj ovog mikroelementa u navedenoj biljnoj vrsti za period od mesec dana nije se bitno menjao što je bilo i očekivano jer se u potpuno ili skoro potpuno razvijenim listovima sadržaj elemenata za izvesno vreme u toku vegetacije značajno ne menja, što nije slučaj sa mladim listovima koji intenzivno rastu ili sa starim listovima iz kojih se neki elementi ubrzano premeštaju u mlađe organe ili u organe za nakupljanje rezervne materije [55].

Rezultati istraživanja koja su sprovedena u Japanu su pokazali da su joni olova i bakra manje mobilni od cinka i kadmijuma. Takođe je dokazano da su joni olova i bakra koncentrisani na površini zemljišta, a cink i kadmijum su lokalizovani u podzemnim slojevima. Jasno je iz ovih istraživanja da sadržaj nikla, kadmijuma i cinka može da predstavlja veću opasnost od zagađenja podzemnih voda od bakra i olova. Specifične migracije pojedinih jona zavise od prirode jona [56]. Veći prinosi pšenice dobijeni su iz tretiranog zemljišta teškim metalima nego iz kontrolnih zemljišta.

Tretirana zemljišta su dobila značajne količine bakra, nikla i olova tako da su povišene koncentracije ovih metala nađene u biljnom tkivu a minimalna koncentracija je nađena u zrnu pšenice i slami. Sadržaj metala u pšeničnoj slami iznosio je 0,07-0,16 $\mu\text{g/g}$ Cd; 19-26 $\mu\text{g/g}$ Zn i zrnu 0,04-0,09 $\mu\text{g/g}$ Cd; 22-45 $\mu\text{g/g}$ Zn [57].

Različiti kapaciteti zemljišta za adsorpciju teških metala utiče na apsorpciju metala od strane biljaka. Ova studija je sprovedena za dobijanje kvantitativnih informacija i o formi teških metala u černozemu i njihove translokacije u ječmu. Dostupnost cinka, bakra, i olova za biljke zavisi od tipa zemljišta. Slama ječma i kukuruza je zagađena teškim metalima samo u slučaju kada su maksimalne doze ovih metala unete u zemljište [58]. U jednom istraživanju je praćen rast i koncentracija elemenata u pšenici koja je rasla na 5 različito obogaćenih zemljišta teškim metalima. Svako zemljište je pomešano sa CdCl_2 ili ZnCl_2 . Stepenn smanjenja koncentracije elemenata u zemljištu varirao je u zavisnosti od tipa zemljišta. Smanjenje prinosa pšenice je bilo u svim tipovima zemljišta i bilo je 300-400 mg/kg. Stepenn smanjenja prinosa varirao je u zavisnosti od tipa zemljišta [59]. Primena fosfogipsa u raznim oblastima, posebno u poljoprivredi i građevinarstvu, od suštinskog je značaja, jer je na taj način velika količina ovog materijala uklonjena iz deponija. Fosfogips predstavlja balast za fabrike za proizvodnju fosforne kiseline. Fosfogips se može koristiti u poljoprivredi za poboljšanje kvaliteta zemljišta ali, imajući u vidu sadržaj teških metala u njemu koji su toksični za ljudski organizam i koje se mogu prenositi iz zemlje na razne biljke koje se koriste u ishrani ljudi, treba biti veoma obazriv [60].

Zemljište je polifazni sistem, sastavljen od čvrste, tečne i gasovite faze, koje su međusobno raspoređene i daju zemljištu osobine porozne mase. Zemljište nastaje kao rezultat interakcije spoljašnjih činilaca i biološke aktivnosti na površini matičnog supstrata. Činioci obrazovanja zemljišta mogu se prikazati sledećom funkcionalnom zavisnošću:

$$\text{Zemljište} = f(\text{Cl}, \text{O}, \text{R}, \text{P}, \text{T})$$

gde su: f - funkcija, Cl - klima, O - organizmi, R - topografija, P - matični supstrat, T - vreme.

Razgradnja minerala matičnog supstrata zemljišta uključuje: hidrataciju, hidrolizu, oksidaciju, rastvaranje, redukciju, razmenu jona i karboksilaciju. Brzina ovih reakcija i procesa zavisi od brojnih činilaca: prirode materijala, temperature, vode i dr. U humidnim uslovima i pri višim temperaturama procesi protiču brže. Pored pomenutih, i neki drugi pedogeni procesi su značajni za ponašanje metala u zemljištu kao što su: ispiranje, salinizacija, kalcifikacija, spiranje i dr. Hemijske materije koje se svakodnevno mogu naći u zemljištu sve su brojnije. One po poreklu mogu biti prirodni ili sintetički proizvodi, ili se dobijaju hemijskim transformacijama prirodnih proizvoda. Jedna vrsta tih materija su elementi kojih u zemljištu ima u vrlo malim količinama, pa se zbog toga nazivaju „elementi u tragovima” ili „mikroelementi”. Neki od njih u malim količinama učestvuju u ishrani biljaka i nazvani su „mikrohranljivi elementi”: Zn, Fe, Mo, Mn, Co, Cu i Se a pored njih verovatno i Cr, Ni i V.

Zajedničko im je svojstvo da pri povećanim koncentracijama deluju toksično.

Drugi elementi koji se u zemljištu nalaze u tragovima i nisu neophodni za biljke u većim količinama, pa je najčešće njihovo prisustvo opasno za biljke, čoveka i životinje. Ovu grupu elemenata čine toksični elementi. Obe navedene grupe elemenata predstavljaju teške metale.

Umesto naziva „teški metali” neki koriste naziv „toksični metali”. U teške metale ubrajaju se i metali koji nisu biogeni i deluju isključivo toksično kao što su: Cd, Pb, Hg, As, i Cr [13,61]. Za razliku od vode i vazduha, zagađenost zemljišta teškim metalima nije lako utvrditi i razlikuju se kod različitih tipova zemljišta. Tako u jednom zemljištu prisustvo nekog teškog metala u određenoj količini ne izaziva poremećaje u biljnoj proizvodnji, dok u drugom izaziva, što se primećuje kroz smanjenje prinosa i poremećaje njegovog kvaliteta. Takva konstatacija ponekad može biti suviše kasna jer je za popravke potrebno dugo vremena.

Danas teških metala ima daleko više u poljoprivrednim zemljištima nego u prvobitno formiranim zemljištima na matičnim supstratima. Uzrok tome je sve veći broj industrijskih postrojenja za preradu metala, sve više topionica, termoelektrana i sl. Atmosfera predstavlja značajan transportni medijum za teške metale iz različitih izvora pa se preko nje zemljište često zagađuje čak stotinama kilometara daleko od mesta emisije. Tako su atmosferski polutanti iz motornih vozila uzrok disperzije olova - aerosola. Odloženi pepeo nastao sagorevanjem fosilnih goriva je takođe značajan izvor mnogih teških metala u zemljištu.

Nakupljanje teških metala u zemljištu može da bude posledica:

- prirodnih procesa (litogenih i pedogenih) i
- antropogenih činilaca (tj. rezultat zagađivanja spoljašnje sredine).

Bez obzira na poreklo teških metala, najznačajniji pedogenetski procesi sa stanovišta količine i ponašanja teških metala u zemljištu su: oslobađanje metala iz matičnog supstrata pod uticajem ekoloških i drugih činilaca i translokacija i akumulacija sastojaka zemljišta koja adsorbuju metale, kao što su glina, hidroksidi i organska materija.

Brojni pedogenetski procesi su odgovorni za obrazovanje horizonata u zemljišnom profilu. Veliki broj metala se prvenstveno nakuplja u gornjem horizontu zemljišnog profila, kao na primer: Cd, Hg, Pb, Ag, As, Sb i Zn. Razlog tome je što njih adsorbuje organska materija zemljišta, a pored toga oni se talože iz atmosfere na površinu zemljišta i ulaze u sastav biljaka. U nižim horizontima zemljišnog profila koncentrišu se: Fe, Al, Mg, Na, Ni, Sc, Ti, Zr i V, što se dovodi u vezi sa akumulacijom i translokacijom gline i hidroksida. U većini slučajeva teški metali se akumuliraju u površinskom sloju zemljišta pošto pedogeni procesi posle zagađivanja nisu još delovali dovoljno dugo da bi došlo do njihove redistribucije u zemljišnom profilu.

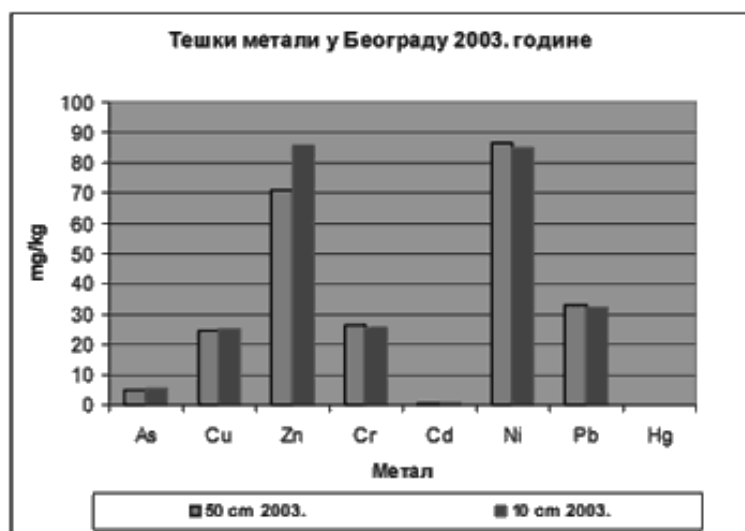
Zemljišta se razlikuju međusobno po ograničenom kapacitetu za zadržavanje teških metala, a značajni činioci koji utiču na kapacitet su: pH vrednost, ukupni kapacitet, adsorpcija katjona, količina i tip gline, organske materije, oksidi Fe, Al, Mn i redoks-potencijal.

Ponašanje teških metala u zemljištu bilo da su nastali procesom pedogeneze iz stena i minerala ili dospeli suvim i vlažnim depozitom, zavisi od brojnih činilaca koji utiču na njihovu dinamiku, a samim tim i na rastvorljivost i pristupačnost za biljke [46].

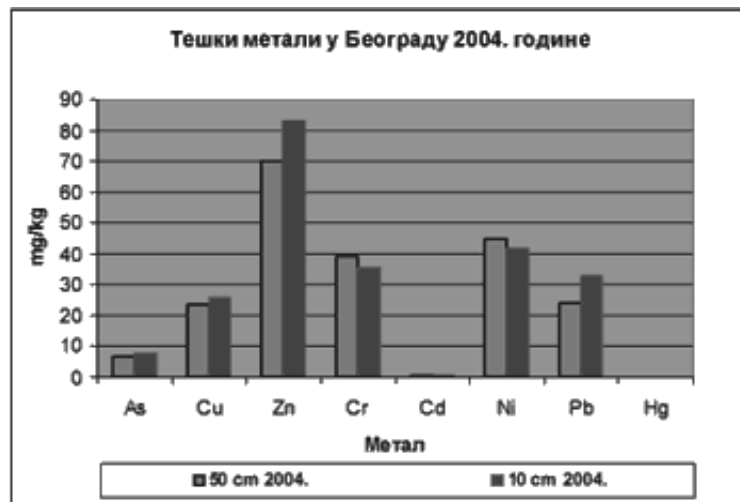
Pošto na akumulaciju i distribuciju teških metala u zemljištu pored svojstva zemljišta utiču i brojni spoljni činioci, zbog toga su industrijski razvijene zemlje, gde je i zagađenost zemljišta veća, donele propise i uputstva za kontrolisanje svih inputa u poljoprivrednoj proizvodnji. I u našoj zemlji koncentracija opasnih i štetnih materija ograničene su zakonskom regulativom, što je prikazano u Tabeli 2. [62].

Rezultati istraživanja sadržaja teških metala u zemljištu grada Beograda, izvršena su od strane Gradskog zavoda za javno zdravlje. Rezultati Gradskog zavoda za javno zdravlje obuhvataju period od 2003 do 2006. godine. U svim uzorcima određivani su sledeći metali: Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg i As. Njihov sadržaj određivan je AAS u skladu sa standardnim postupkom za određivanje sadržaja teških metala u zemljištu po metodi EPA 3050 b (1997).

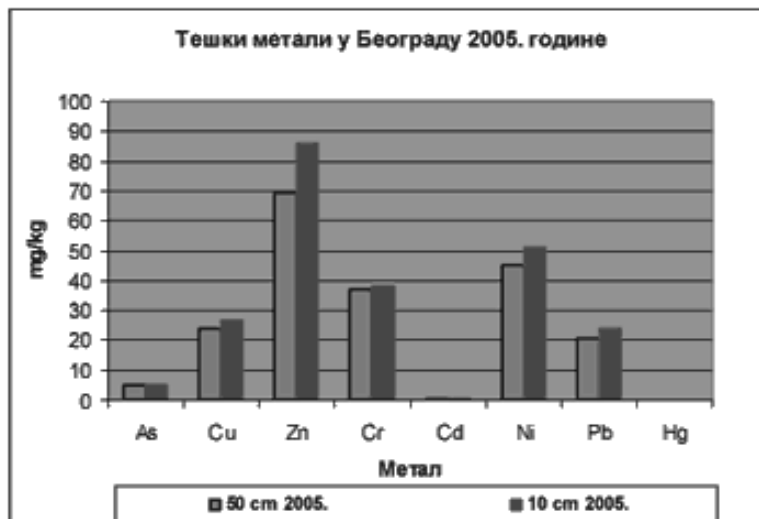
Grafici mediana koncentracija teških metala u zemljištu grada Beograda za date godine predstavljani su na slikama od 3 do 6 [63].



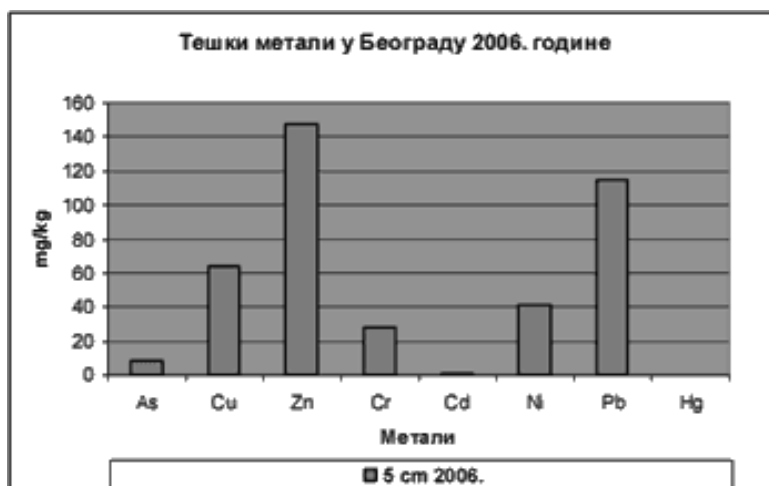
Slika 3. Koncentracije teških metala u zemljištu za 2003. godinu



Slika 4. Koncentracije teških metala u zemljištu za 2004. godinu



Slika 5. Koncentracije teških metala u zemljištu za 2005. godinu



Slika 6. Koncentracije teških metala u zemljištu za 2006. godinu

Poređenjem koncentracija teških metala za svaku godinu uočeno je sledeće:

- Koncentracije **arsena** tokom godina slabo variraju i ne prelaze MDK (Tabela 4),
- Koncentracije **bakra** na dubinama od 10 i 50 cm su slične, dok je koncentracija na dubini od 5 cm znatno viša ali su još uvek u okviru MDK,
- Koncentracija **cinka** najviša je na dubini od 5 cm, opada ka dubljim slojevima, i ne prelazi MDK,
- Koncentracije **hroma** neznatno variraju tokom jedne godine, ali se primećuje razlika tokom različitih godina, i kreću se u okviru MDK,
- Koncentracije **kadmijuma** su konstantne tokom svih godina i ne prelaze MDK,
- Koncentracije **nikla** neznatno variraju tokom jedne godine, ali se primećuje razlika tokom različitih godina. Do prekoračenja MDK dolazi u 2003. godini na dubinama od 10 i 50 cm, i u 2005. godini na dubini od 10 cm,
- Koncentracija **olova** u 2003. i 2005. godini na različitim dubinama je slična, dok je u 2004. godini ta razlika nešto veća. U 2006. godini koncentracija ovog metala je znatno viša i prelazi MDK,
- Koncentracija **žive** slična je u 2003., 2004. i 2005., dok je u 2006. godini nešto viša, ali je u okviru MDK.

Analizom dobijenih rezultata zaključeno je da je:

1. zemljište Beograda u globalu nezagađeno teškim metalima,
2. saobraćaj verovatno jedan od najvećih zagađivača, što se i vidi na osnovu povećane koncentracije olova u površinskom sloju zemljišta, i
3. mobilnost teških metala od viših ka nižim slojevima zemljišta ograničena.

Miletić je ispitivala sadržaj teških metala u pšenici u periodu od 1999. do 2000. godine na lokalitetima Draževac, Deligrad i Gornji Adrovac, pri čemu su dobijeni rezultati, prikazani u Tabeli 6. [6,64]

Tabela 6. Srednja koncentracija teških metala u pšenici u fazi voštane zrelosti gajene na zemljištu poljoprivrednih parcela ispitivanih lokaliteta u periodu 1999-2000.god.

Lokalitet	Srednja koncentracija teških metala (mg/kg suve materije)									
	Pb		Cu		Zn		Fe		Mn	
	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000
Deligrad	2,50	1,35	4,31	3,50	13,59	14,33	2343,90	26,90	71,37	3,50
Draževac	2,27	1,61	3,63	3,12	14,20	13,97	1477,25	22,10	51,54	64,38
G.Adrovac	15,41	43,71	3,85	2,72	11,87	13,60	1760,59	87,42	97,53	43,71

Na osnovu rezultata prikazanih u Tabeli 6. može se videti da je maksimalna koncentracija olova u zrnu pšenice gajene na ispitivanim lokalitetima u 1999. godini iznosila 15,41 mg Pb/kg u fazi voštane zrelosti, tj. 3,61 mg Pb/kg u fazi pune zrelosti dok je u 2000. godini iznosila 1,61 mg Pb/kg u fazi voštane zrelosti, tj. 0,50 mg Pb/kg u fazi pune zrelosti. Sve ove vrednosti su daleko ispod MDK za olovo kod gajenih biljaka koja iznosi 20 mg Pb/kg biljaka.

Ispitivanja vršena u listovima pšenice u fazi voštane zrelosti i u zrnu u fazi pune zrelosti pokazala su da ne sadrže kadmijum, odnosno nalazi se u količinama koje su ispod praga detekcije. Pošto je njegova koncentracija najviša od svih teških metala u fosfatnom đubrivu, dobijeni rezultat predstavlja jasan pokazatelj uticaja fosfatnog đubriva na pšenicu.

Živa nije detektovana u fazi voštane zrelosti, ni u zrnu pšenice u fazi pune zrelosti.

Ispitivanjem koncentracija teških metala u pšenici u fazi voštane zrelosti došlo se do sledećeg: maksimalne koncentracije teških metala, kada se upoređuju tri analizirana lokaliteta, iznose za bakar 4,31 mg/kg, za cink 14,20 mg/kg, za gvožđe 343,90 mg/kg, mangan 97,53 mg/kg, juna 1998. godine, odnosno bakra od 3,12 mg/kg, cinka 14,33 mg/kg, gvožđa 87,42 mg/kg, mangana 64,38 mg/kg juna 2000. godine. Koncentracije teških metala u pšenici u fazi voštane zrelosti su manje u uzorcima iz 1999. godine nego 1998. godine što se objašnjava time da je dve godine uzastopno sejana pšenica na istim lokalitetima, što je dovelo do smanjenja koncentracije, kako neophodnih, tako i teških metala.

Dobijene maksimalne koncentracije za 1998. i 1999. godinu iznose za: cink (14,20 mg/kg odnosno 14,33 mg/kg), bakar (4,31 mg/kg odnosno 3,12 mg/kg), hroma (do 2,37 mg/kg) i mangana (97,53 mg/kg odnosno 64,38 mg/kg) u zrnu pšenice u fazi. pune zrelosti gajene na ispitivanim lokalitetima su daleko manje od prosečnih kritičnih koncentracija teških metala za gajene biljke.

FITOTOKSIČNOST TEŠKIH METALA

Fitotoksičnost bakra

Biljke usvajaju male količine bakra. Pretežno ga usvajaju u obliku jona bakra i u vidu helata. Sa povećanjem koncentracije bakra u spoljašnjoj sredini, intenzitet njegovog usvajanja se naglo povećava. Na njegovo usvajanje, posredno ili neposredno može da utiče i prisustvo drugih jona, posebno teških metala (Zn, Mn, Fe) i fosfata. Jone bakra biljke veoma intenzivno usvajaju i preko nadzemnih organa.

Pokretljivost bakra u biljkama je osrednja. Ascendentni transport i reutilizacija bakra u velikoj meri zavise od stepena obezbeđenosti biljaka ovim elementom. Ako ga nema dovoljno, premeštanje iz korena u nadzemne organe, kao i iz starijih listova u mlade, je neznatno. Iz listova pšenice, koja je obilno obezbeđena bakrom u toku nalivanja zrna premešta se 70% bakra u zrno. Nasuprot tome, iz listova kojima nedostaje bakar, premeštanje je svega 20%.

U poređenju sa drugim biogenim metalima, koncentracija bakra u biljkama je znatno manja i u proseku se kreće od 5 do 30 mg/kg u suvoj materiji. Ako je njegov udeo u suvoj materiji lista manji od 4 mg/kg, smatra se da biljke nisu u dovoljnoj meri obezbeđene, a sadržaj preko 20 do 100 mg/kg ukazuje na suvišak ovog elementa. Sadržaj bakra u biljkama kreće se u veoma širokim granicama, u zavisnosti od vrste genotipa [65].

Bakar ulazi u sastav enzima i, zahvaljujući tome, posredno ili neposredno utiče na odvijanje mnogih procesa važnih za život biljaka. On utiče na metabolizam azotnih jedinjenja i ugljenih hidrata, obrazovanje i fertilitet polena i otpornost biljaka prema bolestima. U visokim koncentracijama bakar je veoma toksičan za biljke. Znaci visokih koncentracija bakra na biljkama u prirodi retko se uočavaju. Do toksičnog dejstva bakra dolazi ako je njegov ukupan sadržaj u zemljištu od 25 do 40 mg/kg i ako je pH vrednost zemljišta pri tome ispod 5,50. Visoka koncentracija bakra u mnogim biljkama, kao na primer u pšenici što je prikazano u Tabeli 7, u znatno većoj meri smanjuje porast korena nego nadzemnih organa [66,67,79].

Tabela 7. Uticaj različitih koncentracija bakra na rastenje i razviće ozime pšenice

Koncentracija Cu u hranljivom rastvoru (mg Cu/l)	Koncentracija Cu u suvoj materiji nadzemnog dela (mg Cu/kg)	Masa suve materije u gramima u biljci		Visina stabla (cm)
		Nadzemni deo	Koren	
0,00	4,4	0,77	0,18	39,7
0,01	9,3	1,69	0,25	53,4
0,10	19,5	1,37	0,20	50,2
1,00	51,4	0,32	0,10	27,2

Brže stradanje korenova u uslovima suviška bakra rezultat je njegovog većeg nakupljanja u korenovima nego u drugim organima biljaka. Simptomi suviška bakra često nisu specifični: prvi znaci se obično javljaju na starijim listovima, u vidu hloroze na vrhu i po obodu lista. List postepeno dobija crvenkasto mrku boju koja se širi od ivice prema sredini i osnovi lista. Korenovi tih biljaka su tamni, kratki, zadebljali, sa malim brojem korenskih dlačica i slabo razgranati.

Sadržaj bakra u zemljištima Vojvodine kretao se u intervalu od 1,85 do 395,85 mg/kg. Prosek za sva ispitivana zemljišta iznosio je 17,1 mg/kg, s tim što je on bio nešto veći za zemljišta u privatnom vlasništvu u odnosu na ona u društvenom sektoru. Veći sadržaj bakra utvrđen je u zemljištima pod vinogradom, što je verovatno posledica upotrebe *plavog kamena* (bakar(II)-sulfata-pentahidrata).

Sadržaj bakra u zemljištu doline reke Velika Morava ukazuju da se sadržaj bakra kretao u granicama od 18 do 145 mg/kg [68]. U proseku sva zemljišta sveta sadrže oko 30 mg/kg bakra i vezanje za organsku materiju, okside gvožđa i mangana, zemljišne silikate, glinu i druge minerale. Količina i distribucija ukupnog i pristupačnog bakra zavisi od tipa zemljišta i matičnog supstrata.

U zemljištima kisele reakcije i zemljištima sa visokim sadržajem humusa, gde je bakar vezan za organsku supstancu, i zbog ograničenog dejstva bakterija, on se ne može mobilisati u dovoljnim količinama te se tu često javlja njegov nedostatak. Osim iz matičnog supstrata, visoke koncentracije bakra u površinski horizont zemljišta dospevaju iz topionica metala, od primene đubriva, otpadnih muljeva, fungicida, baktericida, svinjskog i živinskog stajnjaka. Ukoliko se zemljištima sa srednjim sadržajem bakra dodaje azot, uz primenu Cu-đubriva, kod žitarica dolazi do velikog porasta prinosa.

U ispitivanim uzorcima zemljišta ukupan sadržaj bakra kretao se u intervalu od 14,38 do 28,97 mg/kg i nije prelazio maksimalno dozvoljenu koncentraciju koja za bakar iznosi 100 mg/kg (Službeni glasnik RS 23/1994) [62].

Sadržaj pristupačnog bakra kretao se u intervalu od 1,52 do 7,90 mg/kg [69]. joni bakra spadaju u neophodne mikroelemente čiji je biološki značaj prvi put eksperimentalno utvrdio Hart sa saradnicima. Mnogobrojna jedinjenja koja se koriste u poljoprivredi i veterinarstvu, fungicidi (*plavi kamen* kod zaštite vinove loze) mogu izazvati intoksikaciju jonima bakra. Primena veštačkih đubriva i sredstava za prskanje koja sadrže jone bakra ne dovodi do znatnijeg povećanja sadržaja jona bakra u biljkama.

Joni baka veoma su toksični za biljni svet. Suvišak jona bakra na biljkama u prirodi retko se uočavaju. Do toksičnog dejstva jona bakra dolazi ako je njegov ukupan sadržaj u zemljištu od 25 do 40 mg/kg i ako je pH vrednost zemljišta pri tome ispod 5,50. Uopšteno se može reći da se višak jona bakra najčešće javlja na kiselim zemljištima u kojima sadržaj, za biljke pristupačnih, jona bakra može ponekad biti visok. Visoka koncentracija jona bakra kod mnogih biljaka u znatnoj meri smanjuje porast korena nego nadzemnih organa (Tabela 1) [66].

Fitotoksičnost cinka

Terestrične biljke cink skoro isključivo usvajaju iz zemljišta, delom u vidu dvovalentnog katjona Zn^{2+} , a pri višim pH vrednostima kao monovalentni katjon $Zn(OH)^+$. Biljke ga usvajaju intenzivnije od nekih drugih mikroelemenata kao, na primer bakar ili molibden. Između pojedinih biljnih vrsta i genotipova postoji značajna razlika u intenzitetu usvajanja cinka. Smatra se da usvajanje cinka sledi kinetiku enzimskih reakcija i porastom koncentracije daje logaritamsku krivu. Prisustvo drugih katjona može u značajnoj meri da utiče na njegovo usvajanje, bilo da je u pitanju antagonistički, bilo sinergistički odnos. Utvrđeno je da usvajanje cinka i njegovu translokaciju u izdanak u značajnoj meri inhibira visoka koncentracija HCO_3^- -jona (*bikarbonata*) i fosfata.

Koncentracija cinka u suvoj materiji biljaka kreće se u proseku od 30 do 150 mg/kg suve materije. Raspodela cinka je specifična, u većoj meri nakuplja se u korenu i mladim listovima. Cink spada u grupu elemenata čija je pokretljivost u biljkama osrednja. U slučaju da je njegova koncentracija u spoljašnjoj sredini visoka, nakuplja se u korenu, što se uočava i kod pšenice [65].

Cink aktivira ili ulazi u sastav nekih enzima (karboanhidraze, SOD, alkalne fosfataze, nekoliko proteinaza i peptidaza i dr.) i zahvaljujući tome posredno ili neposredno utiče ili učestvuje u odvijanju brojnih metabolitičkih procesa živih organizama. Zbog višestruke uloge u životu biljaka, nedostatak cinka izaziva velike promene, kako u prometu materija biljaka, tako i u morfološkoj i anatomskoj građi. Cink je neophodan za biosintezu auksina.

Velika koncentracija cinka kao uostalom i drugih metala, deluje toksično na biljke. U prirodi se retko javljaju visoke koncentracije ovog elementa u biljkama. Otpornost pojedinih biljnih vrsta prema visokim koncentracijama cinka veoma je različita. Postoje biljne vrste koje imaju veoma izrazitu sposobnost nakupljanja cinka. Visoka koncentracija cinka izaziva manje-više specifične morfološke i fiziološke promene, što se ogleda u nižem rastu, smanjenju korenovog sistema, obrazovanju sitnih listova. Na listovima se javljaju crvenkasto mrke pege, a na rubu nekroza. Visoke koncentracije cinka mogu da smanje usvajanje drugih neophodnih elemenata, posebno gvožđa. Kod biljaka osetljivijih na visoke koncentracije cinka sprečavaju izduživanje korena te to predstavlja veoma osetljiv pokazatelj njegovog toksičnog dejstva. Ukoliko udeo cinka u biljkama dostigne toksičan nivo, brzo propadaju [65].

Znaci visokih koncentracija cinka kod biljaka najčešće se javljaju na kiselim tresetnim zemljištima i na zemljištima koja su nastala iz matičnog supstrata bogatog cinkom.

Uloga cinka u biljnom i životinjskom svetu u prvom redu povezuje se sa njegovim učešćem, kao sastavnog dela u nizu fermentata, te njegovom ulogom u sintezi auksina. Njemu se pripisuje i uloga kao stimulatora rasta, a u njegovom prisustvu povećava se i otpornost biljaka na sušu i bolesti.

Kabata i Pendias konstatuju daje prosečan sadržaj ukupnog cinka u površinskim slojevima raznih zemljišta u svetu od 17 do 125 mg/kg [70]. Poslednjih decenija koncentracija cinka u nekim zemljištima se povećava, naročito u industrijskim zemljama, kao posledica antropogenog dejstva.

Ukupan sadržaj cinka u zemljištu u velikoj meri zavisi od matičnog supstrata na kome je obrazovano zemljište, a glavni izvori zagađenja zemljišta ovim elementom su: rudnici, željezare, korišćenje otpadnih muljeva u poljoprivredi, kompostirani materijali, pesticidi i đubriva.

Za dinamiku cinka najbitniji faktori su pH vrednost, sadržaj CaCO_3 i mehanički sastav zemljišta [71]. U ispitivanim uzorcima zemljišta ukupan sadržaj cinka se kretao u intervalu od 93,33 do 167,88 mg/kg i nije prelazio MDK vrednost koja za ovaj element iznosi 300 mg/kg. Sadržaj pristupačnog cinka se kretao u intervalu od 1,70 do 98,26 mg/kg [69].

Prosečan sadržaj cinka u zemljištima Vojvodine iznosi 60,3 mg/kg, s tim što su se pojedinačne vrednosti kretale u intervalu od 10,6 do 203 mg/kg [72]. Sadržaj cinka u zemljištima doline Velike Morave varirao je od 56 do 194 mg/kg [68].

Joni cinka kao i joni bakra spadaju u važne esencijalne oligoelemente koji učestvuju u brojnim fiziološkim reakcijama. Ulazi u sastav mnogobrojnih metaloenzima i glutamat dehidrogenaza. Primarna uloga jona cinka ogleda se u procesu ćelijske replikacije i u metabolizmu nukleinskih kiselina [73].

Dnevno unošenje jona cinka u ishrani ljudi normalno se kreće od 12 do 15 mg Zn/dan. Postoje široke granice tolerancije između normalnih količina jona cinka unetih hranom i onih koji mogu prouzrokovati štetne efekte. Češći je slučaj deficita jona cinka koji se naročito negativno odražava na ćelije i tkiva koja imaju brz porast. Toksične doze jona cinka vrlo je teško precizirati pošto ovo njegovo dejstvo ne zavisi samo od količine unete soli cinka, već i od njene koncentracije i interakcije sa drugim mikroelementima prisutnim u hrani, prvenstveno jona Fe, Cu, Ca i dr.

Simptomi trovanja kod ljudi slični su simptomima trovanja drugim teškim metalima [74].

Fitotoksičnost olova

Prema Scheffer-u sadržaj ukupnog olova varira od 5 do 100 mg/kg. Povećanim količinama olovo pokazuje toksično dejstvo na biljke, a veoma štetno deluje na zdravlje životinja i ljudi koji se hrane njime obogaćenim biljnim produktima.

Olovo uzeto u malim količinama, ne većim od 10 mg/kg suve biljne mase, povoljno utiče na tok izvesnih fizioloških procesa u biljnim organizmima kao i na kvalitet biljne produkcije, tačnije, utiče ubrzavajući nicanje biljaka i povećavajući sadržaj skroba u biljkama. Povoljan režim fosfora sužava toksično delovanje olova na biljke, što je posledica sposobnosti olova da obrazuje nerastvorne fosfate u biljnim tkivima i zemljištima.

Hemija olova u zemljištu nije dovoljno razjašnjena, a zna se da se ono nalazi u rastvorljivo halogenom obliku ($PbClBr$), a da kasnije nastaju i druga relativno dobro rastvorna jedinjenja, kao što su $PbCO_3$, $Pb_3(PO_4)_2$, a u manjoj meri i $PbSO_4$.

Zbog nastanka ovih jedinjenja i njegove velike adsorpcije, pokretljivost olova u zemljištu je veoma mala. Na dinamiku olova od posebnog uticaja je pH vrednost, sadržaj organske materije i gline u zemljištu.

Kontaminacija zemljišta olovom je antropogenog porekla i glavni izvor su rudnici, topionice, otpadni muljevi, izduvni gasovi vozila i olovo-arsenat [$Pb_3(AsO_4)_2$, beli, u vodi nerastvorni prah, sredstvo protiv biljnih štetočina] koji se primenjuje u voćnjacima za suzbijanje insekata. U ispitivanim uzorcima zemljišta ukupan sadržaj olova kretao se u intervalu od 31,47 do 49,88 mg/kg i nije prelazio MDK vrednost, koja za olovo iznosi 100 mg/kg [69]. Sadržaj ukupnog olova u zemljištima Vojvodine varirao je od 3,0 do 73,5 mg/kg. Inače prosečan sadržaj olova za sva ispitivana zemljišta iznosio je 17,2 mg/kg [72].

Biljke jone olova u neorganskom obliku slabo usvajaju i premeštaju u nadzemne organe, izuzev na kiselim zemljištima iz kojih usvajaju znatno veće količine olova. Međutim, organska jedinjenja olova, naročito njihovi međuprodukti koji nastaju prilikom razgradnje olovo-tetraalkila, kao što su olovo di- i trialkili, veoma se brzo usvajaju i premeštaju u nadzemne organe.

Nakupljanje jona olova kod većine biljaka je intenzivnije u korenu nego u nadzemnom delu. Velika moć korena u akumulaciji jona olova bi mogla da bude i jedan vid zaštite nadzemnog dela od njegove veće koncentracije u spoljašnjoj sredini.

Osnovni mehanizam toksičnosti jona olova je, pre svega, njegov uticaj na metabolizam jona kalcijuma i inhibiranje brojnih enzimskih sistema.

Osetljivost pojedinih biljnih vrsta na veće koncentracije jona olova je različita. Smatra se da pšenica i soja imaju relativno visoku toleranciju prema jonima olova [18].

Kod pšenice prinos se značajnije smanjuje tek kad koncentracija jona olova u suvoj materiji slame dostiže 45 mg/kg. Mehanizam tolerancije biljaka prema suvišku jona olova nije sasvim jasan i često se povezuje sa metabolizmom jona fosfora [74].

Fitotoksičnost hroma

Koncentracija za biljke pristupačnog hroma u većini zemljišta je veoma niska, čime se može objasniti njegov mali udeo u biljkama. Koncentracija hroma u suvoj materiji biljaka u proseku se kreće od 0,2 do 4 mg/kg. U zrnu pšenice utvrđena je koncentracija od 1,7 mg/kg, a u brašnu i hlebu koji su dobijeni od njega, 0,23 i 0,17 mg/kg, respektivno [67].

Kao što je već istaknuto, biljke se odlikuju malom sposobnošću nakupljanja hroma. U tom pogledu postoje značajne razlike između biljnih vrsta. Tako, npr. akumulacija hroma u listovima pšenice je mnogo manja nego u lisnatom povrću. Smatra se da biljke koje se odlikuju nakupljanjem gvožđa akumuliraju i hrom.

Hrom se u zemljištu nalazi u više oksidacionih oblika, ali najstabilniji su Cr(III) i Cr(VI). Biljke pretežno usvajaju šestovalentni oblik, Cr(VI) - dihidrat. Trovalentni oblik, Cr(III) je slabo rastvoran i biljke ga stoga malo usvajaju. Cr(IV) se pretežno nalazi u alkalnim zemljištima. Translokacija hroma iz korena u nadzemne organe veoma je spora. U devet ispitivanih njihovih biljaka od ukupno usvojenog Cr(III) ili Cr(IV) 98% se zadržalo u korenu. Usvajanje hroma preko listova i njegov transport iz listova u druge organe je takođe slabo [65].

Hrom nije neophodan element za biljke, međutim, ima stimulatívno dejstvo na rast i razviće nekih biljaka. Veće koncentracije hroma, međutim, deluju na biljke veoma toksično. Pod uticajem hroma može doći do strukturnih i ultrastrukturnih promena. Cr(VI) je stabilniji u oksidacionim uslovima, pri višoj vrednosti pH i smatra se toksičnijom formom u odnosu na Cr(III) koji je stabilniji pri nižim pH vrednostima i redukcionim uslovima [76,77]. U ogledima koji su izvedeni u pšeničnim kulturama, koncentracija od 8 mg/kg bila je štetna, a u brojnim biljkama i pri koncentraciji od 16 mg/kg rast je smanjen za 50 do 60%.

Najčešći simptomi visokih koncentracija hroma su *hloroza* i zaostajanje u rastu. Veće koncentracije hroma mogu da utiču i na klijanje semena, vodni režim, sadržaj elemenata i pigmenta hloroplasta.

Dejstvo hroma na biljke u prirodi, kao i svih teških metala, ne zavisi samo od njegove koncentracije u zemljištu već i od hemijskih i fizičkih osobina zemljišta kao što su pH vrednost, redoks-potencijal, aeriranost, vlažnost, sadržaj organske materije i dr. Od ovih osobina zemljišta u velikoj meri zavisi pristupačnost hroma za biljke kao i stepen njegove oksidacije.

Mehanizam delovanja hroma na životne procese biljaka kao i njegov metabolizam u biljkama nisu u potpunosti razjašnjeni. Smatra se da se hrom, nakon usvajanja, ugrađuje u brojne rastvorne, niskomolekularne, anjonske komplekse. Usvojeni Cr(VI) može da gradi stabilne pokretne oblike niskomolekularnih liganda Cr(V), za koje se smatra da imaju mutageno i kancerogeno dejstvo.

Hrom spada u elemente koji su malo određivani u našim zemljištima. Rezultati dobijeni za zemljišta Vojvodine ukazuju da se njegov ukupni sadržaj kretao u granicama od 5,3 do 86,1 mg/kg [72]. Prosečan sadržaj za sve ispitivane uzorke zemljišta iznosio je 29,9 mg/kg. Sadržaj hroma u zemljištu doline reke Velika Morava varirao je od 66 do 148 mg/kg, dok je prosečna vrednost bila 108 mg/kg [68]. Sadržaj hroma određivan je i u zemljištima u Zetskoj ravnici [75]. Utvrđeno je da je prosečan sadržaj ukupnog hroma u smeđim zemljištima 87,3 mg/kg, a da su se pojedinačne vrednosti kretale u intervalu od 62 do 118 mg/kg. Biljke koriste za ishranu male količine hroma, ali još nije izučena fiziološka uloga tog elementa u njima, pa čak nije ni dokazana njegova neophodnost za život biljaka. Hrom ima važnu ulogu u ljudskom i životinjskom organizmu u tzv. *glukoznom faktoru tolerancije*, tj. u vraćanju visokog nivoa glukoze u krvi na normalan sadržaj.

Osnovni izvor hroma u zemljištu geohemijskog porekla je iz primarnih minerala koji nastaju iz magmatskih stena, koje čine matični supstrat na kome je zemljište formirano. Osim od matičnog supstrata hrom u zemljište dospeva i antropogenim putem (iz poljoprivrednih materijala, atmosferskim depozitom, otpadnim muljevima). Hrom se posebno čvrsto veže u zemljištima bogatim glinom i naročito humusom te je njegova pokretljivost u zemljištu mala i apsorbuje se u površinskom sloju dubine 5-10 cm [69].

Fitotoksičnost kadmijuma

Prosečan sadržaj ukupnog kadmijuma u zemljištima Vojvodine iznosi 0,48 mg/kg [72]. Vrednosti za ukupni sadržaj kadmijuma u zemljištima doline Velike Morave kretale su se u intervalu od 0,1 do 0,6 mg/kg [68]. Joni kadmijuma se intenzivnije usvajaju i translociraju u vegetativne nadzemne organe od jona olova i žive. U brojnim biljnim vrstama intenzitet transporta jona kadmijuma u nadzemnim organima je u pozitivnoj korelaciji sa njegovom koncentracijom u hranljivoj podlozi. Joni kadmijuma usvojeni iz hranljive podloge uglavnom se zadržavaju u korenu. Udeo jona kadmijuma u vegetativnim nadzemnim organima, stablu i listu biljaka je približno isti.

Sadržaj jona kadmijuma u semenu žita, gajenih na jako kontaminiranim zemljištima, najčešće ne prelazi 1 mg/kg suve materije.

Osnovni uzrok toksičnosti jona kadmijuma je njegov veoma visok afinitet prema tiolnim grupama(-SH) brojnih enzima i proteina. Više koncentracije jona kadmijuma u biljkama potpuno inhibiraju metabolizam jona gvožđa, izazivaju hlorozu i time smanjuju intenzitet fotosinteze. Isto tako, visoke koncentracije jona kadmijuma inhibiraju disanje i transport elektrona u procesu oksidativne fosforilacije. Aktivnost brojnih enzima, npr. nitrat-reduktaze, direktno zavisi od stepena kontaminacije biljaka jonima kadmijuma. Joni kadmijuma, takode inhibiraju transpiraciju kao i pokrete ćelija zatvaračica stominog aparata. Neke biljke imaju sposobnost da koncentrišu u sebi jone kadmijuma usvojene iz zemlje. Mnogi nusproizvodi mlinske industrije, koji se koriste kao hrana za životinje sadrže jone kadmijuma.

Dnevna konzumacija jona kadmijuma kod odraslih ljudi procenjuje se na 0,2-0,5 mg, zavisno od vrste hrane. Takođe se može uneti jon kadmijuma putem vazduha (prah kadmijum-oksida) i vode (galvanizovane i polietilenske cevi) [73]. Joni kadmijuma se prvenstveno deponuju u jetri, bubrezima, pljuvačnim žlezdama i pankreasu. Važno je naglasiti da deo mehanizma pri intoksikacijonima kadmijuma predstavlja metabolički antagonizam između jona kadmijuma i jona cinka. U ovom slučaju očigledno je da se njihov odnos (joni Cd : Zn) u hrani, kao i ukupna uneta količina moraju uzeti u obzir pri prosuđivanju moguće toksičnosti kadmijumom u organizmu [74].

Dnevno unošenje jona kadmijuma zavisi od zagađenosti životne sredine i kreće se od 10-80 mg po čoveku [78].

MEHANIZMI TOLERANTNOSTI BILJAKA PREMA TEŠKIM METALIMA

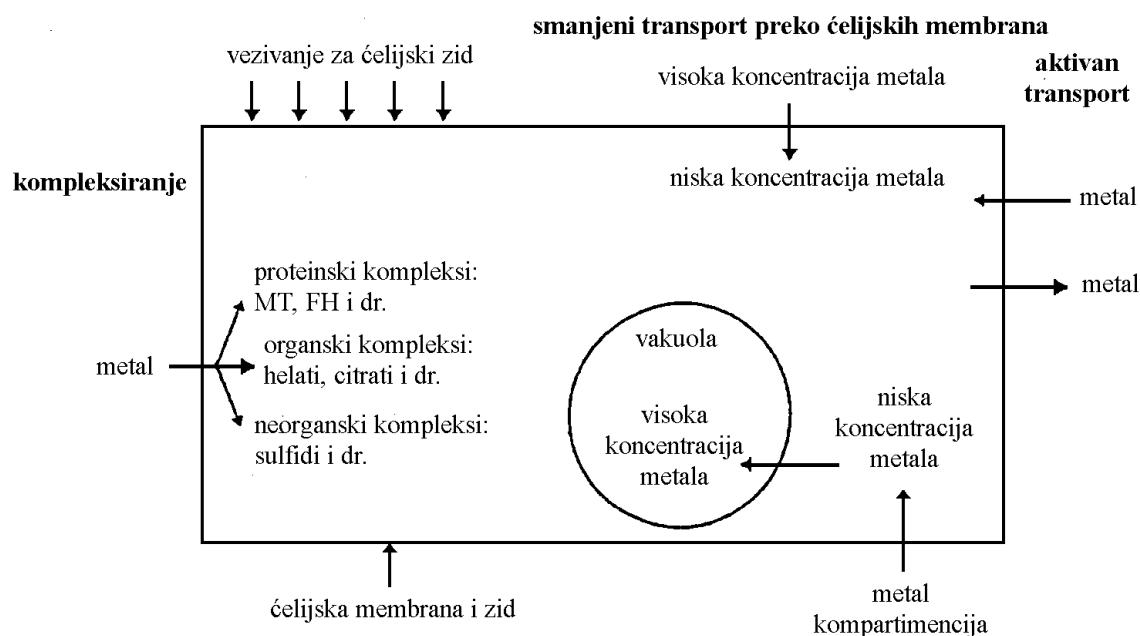
U oblastima gde se u zemljištu mogu naći veće koncentracije teških metala prouzrokovane aktivnostima čoveka ili gde je matični supstrat zemljišta prirodno bogat teškim metalima nastanjuje se posebna vegetacija, metalofitne vrste ili ekotipovi, homo-ekotipovi toleratni prema većim koncentracijama teških metala.

Tako je većina biljaka osetljiva prema većim koncentracijama teških metala, određene biljne vrste su razvile mehanizme odbrane pomoću kojih mogu da isključe ili da ublaže nepovoljno dejstvo teških metala, mogu da rastu, završe normalno svoj životni ciklus u sredini koja se odlikuje visokim koncentracijama teških metala.

Poznavanje genetske i fiziološke osnove tolerantnosti biljaka prema teškim metalima od izuzetnog je značaja za selekciju i stvaranje podesnih, tolerantnih genotipova za regione koji se odlikuju većim sadržajem teških metala, kao i pri stvaranju biljaka indikatora.

Tolerantnost biljaka prema teškim metalima može da bude stečeno svojstvo tokom filogeneze (konstitutivna tolerantnost) ili predstavlja stresnu adaptaciju, tj. odgovor na nepovoljne uslove sredine (indicirana tolerantnost). Tolerantnost biljaka prema teškim metalima ima genetsku osnovu ali može da bude i modifikovana adaptacijom. Tolerantnost biljaka prema teškim metalima zasniva se na raznim mehanizmima, od kojih su neki shematski prikazani na slici 7.

Mehanizmi tolerantnosti prema teškim metalima u zavisnosti od mesta gde deluju mogu se svrstati u *spoljašnje* (apoplastne) i *unutrašnje* (simpplastne). Oni su po prirodi veoma različiti. Zajedničko svojstvo im je da sprečavaju ili ublažavaju nepovoljno dejstvo većih koncentracija teških metala.



Slika 7. Mehanizmi otpornosti biljaka prema teškim metalima

Značaj pojedinih mehanizama tolerantnosti kod pojedinih biljnih vrsta i populacija (ekotipova) u okviru vrsta, zavisna je, pored ostalog, i od toga da li biljka ograničava ulaženje teških metala u ćelije ili ne. U mnogim biljnim vrstama tolerantnost prema teškim metalima obezbeđuje istovremeno veći broj mehanizama.

LITERATURA

- [1] N. Jakovljević i M. Pantović, „Hemija zemljišta i voda”, Poljoprivredni fakultet Beograd-Zemun, 1991.
- [2] D. Veselinović, I. Gržetić, Š. Đarmati i D. Marković, „Stanja i procesi u životnoj sredini”. Fakultet za Fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu, 1995.
- [3] NRC (National Research Council), ”Bioavailability of contaminants in soils and sediments: Processes, Tools and Applications”, Washington DC: National Academy Press, 2003.
- [4] L. A. Brun, J. Maillet, P. Hisinger, and M. Pépin, ”Evaluation of Copper Availability to Plants in Coppe-contaminated Vineyard Soils”, *Environmental Pollution*, **111**, 2001, pp. 293-302.
- [5] D. Crnković, „Analiza uticaja prisutnih teških metala i policikličnih aromatičnih ugljovodonika na kvalitet zemljišta u Beogradu”. Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2005.
- [6] V. Miletić, „Drumski saobraćaj i fosfatna đubriva kao izvori teških metala u poljoprivrednom zemljištu i biljkama”. Magistarska teza, Fakultet zaštite na radu, Univerzitet u Nišu, 2002.
- [7] R. M. Tripathi, R. Raghunath, S. Mahapatra, and S. Sadasivan, ”Blood Lead and Its Effect on Cd, Cu, Zn, Fe and Hemoglobin Levels of Children”, *The Science of The Total Environment*, **277**(1-3), 2001, pp. 161-168.
- [8] D. Marković, Š. Đarmati, I. Gržetić i D. Veselinović, „Izvori zagađivanja posledice i zaštita”, Univerzitet u Beogradu, Fakultet za Fizičku hemiju, Beograd, 1998.
- [9] S. Jevtić, „Pšenica”, Nolit, Beograd, 1977.
- [10] Н. Р. Козмина, „Биохемија зерна и продуктова его переботки”, Moskva, 1976.
- [11] L. A. Auerman, „Tehnologija pekarske proizvodnje”, Novi Sad, 1979.
- [12] G. Kaluđerski, S. Kaluđerski i B. Tošić, „Prehrambena tehnologija”, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1998.
- [13] R. Kastori, „Teški metali u životnoj sredini”, Poljoprivredni fakultet i Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 1997.
- [14] M. E. Conti, F. Cubadda, and M. Carcea, ”Trace Metals in Soft and Durum Wheat From Italy”, *Food Additives and Contaminants*, **17**, 2000, pp. 45-53.
- [15] P. W. Abrahams, ”Soils: Their Implications to Human Health”, *Science of the Total Environment*, **291**, 2002, pp. 1-3.
- [16] M. Jakovljević i S. Blagojević: „Dosadašnja proučavanja i naredni zadaci u oblasti hemije zemljišta”. U „Uređenje, korišćenje i očuvanje zemljišta”, S. Dragović (urednik), Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta, 1997, s. 139-148.

- [17] B. Škrbić, S. Cvejanov i S. Čupić, „Sadržaj teških metala u znu pšenice roda 2000. godine”, *Žito-hleb*, **31**, 2004, s. 1-2 i s. 17-21.
- [18] R. Kastori, „Uticaj teških metala na životne procese biljaka”, *Savremena poljoprivreda*, Novi Sad, 1993.
- [19] W. H. O.Ernst, In: „Fertilizers and Environment”, Rodrigez-Barrueco C. (Ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 1996.
- [20] B. J. Alloway (Ed.), „Heavy Metals in Soils”, Second edition, Blackie Academic & Professional, 1995.
- [21] H. Marschner, „General Introduction to the Mineral Nutrition of Plants”. In: „Inorganic Plant Nutrition”, *Encyclopedia of plant physiology*, New series, Vol. 12, Läuchli, A. Bielecki, R.L. (Eds.), 1983.
- [22] V. Crnčević, „Ambalaža za životne namirnice”, *Privredni pregled*, Beograd, 1980.
- [23] F. A . Paine, „The Packing User’s Handbook”, Blackie Academic & Professional, London, 1996.
- [24] H. H. Uhlig, „The Corrosion Handbook”, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1958.
- [25] M. B. Rajković i I. Ćirić, „Hemija elemenata”, *Poljoprivredni fakultet*, Zemun, 1999.
- [26] M. D. Jakovljević i S. D. Blagojević, „Određivanje sadržaja teških metala u prehrambenim proizvodima”, III jugoslovenski simpozijum prehrambene tehnologije, Beograd, 04-06. februar 1998.god., Sekcija VII – Analitika u prehrambenoj tehnologiji. Podsekcija: Teški metali u namirnicama prehrambene tehnologije, *Zbornik radova*, Sveska V, 185-190.
- [27] Grupa autora, „Teški metali u životnoj sredini”, Urednik R. Kastori, Naučni institut za ratarstvo i povrstarstvo, Novi Sad, 1997.
- [28] G. F. Kirkbright, and M. Sargent, „Atomic Absorbtion and Fluorescence Spectrometry”, Academic Press, London, 1974.
- [29] R. L. Zimdahl, and D. E. Koeppe, In „Lead in the Environment”, W.R.Boggess (Ed.), National Science Foundation, Washington D.C., 1977, pp. 99-104.
- [30] J. M. Pacyna, In „Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment”, T.C.Hutchinson and K.M.Meema (Eds.), *SCOPE 31*, John Wiley&Sons, Chiechester, 1987.
- [31] D. Greninger, V. Kollonitsh, and C.H. Kline, „Lead Chemicals, International Lead Zinc Research Organisation”, New York, 1974.
- [32] G. Niketić-Aleksić, B. Bukvić, M. Vereš i M. Jakovljević, „Sadržaj makro i mikroelemenata u sokovima od voća i povrća”, *Hrana i ishrana*, **17**(5-6), 1976, s. 219-227.
- [33] J. E. Fergusson, „The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects”, Pergammon Press, Oxford, 1990.
- [34] J. R. Abernathy, In „Arsenic - industrial, biomedical, environmental perspectives”, W.H. Lederer and R.J. Tensterheim (Eds.), Reinhold Publ.Corp., New York, 1983.
- [35] R. D. Graham, In „Copper in Soils and Plants”, J. F. Loneragan, A. D. Robson, and R. D. Graham (Eds.), Academic Press, Sydney, 1981, pp.141-163.

- [36] A. J. Parker, In "Copper in Soils and Plants", J. F. Loneragen, A. D. Robson and R. D. Graham (Eds.), Academic Press, Sydney, 1981, pp.1-22.
- [37] J. O. Nriagu (Ed.), "Copper in the Environment. Part I. Ecological Cycling", John Wiley, New York, 1979.
- [38] J. O. Nriagu (Ed.), "Copper in the Environment. Part II. Health Effects", John Wiley, New York, 1979.
- [39] V. M. Shorrocks, and B. J. Alloway, "Copper in Plant, Animal and Human Nutrition", Copper Development Association., Potfers Bor, 1987
- [40] J. W. Gatrell, In "Copper in Soils and Plants", J.F. Loneragen, A.D. Robson and R.D. Graham (Eds.), Academic Press, New York, 1981, pp. 313-349.
- [41] B. J. Aylett, In "The Chemistry, Biochemistry and Biology of Cadmium", Webb (Ed.), M. Elsevier, Amsterdam, 1979, pp.1-43.
- [42] I. Thornton, "Sources and Pathways of Cadmium in the Environment", In G.F. Nordberg, L. Alessio and R.F.M. Herber (Eds.), "Cadmium in the Human Environment", International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, 1992.
- [43] J. O. Nriagu (Ed.): "Cadmium in the Environment. Part I. Ecological Cycling", John Wiley, New York, 1980.
- [44] A. P. Jackson, B. J. Alloway, "Transfer of Cadmium From Soils to the Human Food Chain, in D.C. Adriano (Ed.), "Biogeochemistry of Trace Metals", Lewis Publisher, Baton Rouge, Fla., 1992, pp.109-158.
- [45] D. Tošković, and M. B. Rajković, "The Application of Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) for Determination of the Content of Heavy Metals in Food Products the Inlacquered Tins are Filled With", Journal of Agricultural Sciences, 45 (1), 2000, pp. 61-72.
- [46] Pravilnik, „Dozvoljene količine metala, nemetala i nekih specifičnih kontaminanata u namirnicama izražene u mg/kg odn. mg/l”, Službeni list SRJ, broj 5, 1992, s. 83-85.
- [47] D. Bogdanović, „Izvori zagađenja zemljišta kadmijumom”, Letopis naučnih radova, 26 (1), 2002, s. 32-42.
- [48] R. Weber, and B. Hrynerik, "Effect of Lead and Soil Contaminations on Heavy Metals Content in Spring Wheat Crops", Nukleonika, 45, 2000, pp. 137-140.
- [49] M. Youssef, and Chino, "Movement of Metals from Soil to Plant Roots, Water, Air and Soil Pollution Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1991, pp. 57-58 and pp. 249-258.
- [50] B. O. Berthelesen, L. Ardal, E. Steinnes, G. Abrahamsen, and A. Stuanes, "Mobility of Heavy Metals in Pine Forest Soils as Influenced by Experimental Acidification", Water, Air and Soil Pollution, 73, 1994, pp. 29-48.
- [51] P. S. Hooda, and B. J. Alloway, "The Effect of Liming on Heavy Metal Concentration in Wheat, Carrots and Spinach Grown on Previously Sludge Applied Soils", Journal of Agricultural Science (Revue), JASIAB, Vol. 127 (3), 1996, pp. 289-294.

- [52] A. Rana, and A. Masood (2000): "Heavy Metal Toxicity: Effect on Plant Growth Metal Uptake by Wheat, and on Free Living Azotobacter" <http://resources.metapress.com/pdf>
- [53] D. Stevanović, M. Jakovljević i R. Pavlović, „Akumulacija teških metala u povrću u zavisnosti od njihovog sadržaja u zemljištu”, *Savremena poljoprivreda*, 50 (1-2), 2001, s. 31-35.
- [54] R. Filipović-Trajković, M. Jablanović i Z. Ilić, „Uticaj aero-zagađenja na sadržaj teških metala u povrću poreklom iz industrijskih zona Kosmeta”, *Savremena poljoprivreda*, 50 (1-2), 2001, s. 37-40.
- [55] Lj. Babincev i Lj. Rajaković, „Određivanje sadržaja olova u spanaću primenom potenciometrijske striping analize”, *Journal of Engineering & Processing Management*, Vol. 2 No(1), 2010, s. 35-44.
- [56] C. C. Biddappa, M. Chino, and K. Kumazawa, "Migration of Heavy Metals in Two Japanese Soils", *Plant and Soil*, 66, 1982, pp. 299-316.
- [57] A. C. Chang, A. L. Page, and F. T. Bingham, "Heavy Metal Absorption by Winter Wheat Following Termination of Cropland Sludge Applications", *Journal Environment Quality*, 11, 1982, pp. 705-708.
- [58] T. M. Minkina, A. P. Samokhin, and O. G. Nazarenko, "Translocation of Heavy Metals in Soil-Plant System", In "Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-ecosystems", Kluwer Academic Publishers, 2001, pp. 360-361.
- [59] H. Hattory, and M. Chino, "Growth, Cadmium, and Zinc Contents of Wheat Grown Enriched with Cadmium and Zinc", in "Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-ecosystems", Kluwer Academic Publishers, 2001, pp. 462-464.
- [60] M. B. Rajković, S. D. Blagojević, M. D. Jakovljević, and M. M. Todorović, "The Application of Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) for Determining the Content of Heavy Metals in Phosphogypsum", *Journal of Agricultural Sciences*, 45 (2), 2000, pp. 155-164.
- [61] R. Kastori, N. Petrović i I. Arsenijević-Maksimović, „Teški metali i biljke”, Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 1997.
- [62] Službeni glasnik Republike Srbije, broj 23 (1994): „Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja”, 1994.
- [63] A. Pavlović, S. Milošević i I. Gržetić, „Teški metali u pšenici Beograda”, *Hemijski pregled*, 6, 2007, s. 152-159.
- [64] V. Miletic, B. Blagojevic, R. Rudan, and S. Miletic, "Pb and Cd as Indicators of Pollution of Soil and Wheat", 2nd International Conference of the Chemical Societies of the South-Eastern European Countries on Chemical Sciences for Sustainable Development, June 6-9, 2000, Halkidiki, Greece, Book of Abstracts, Volume I, p. 92, PO043
- [65] R. Kastori i N. Petrović, „Teški metali i pesticidi u zemljištu”, Poljoprivredni fakultet, Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 1993.

- [66] W. Savage, W. Berry, and D.A. Reed, "Metals in the Environment", *Journal of Plant Nutrition*, 3 (1981) pp. 129-138.
- [67] R. Kastori, „Uticaj teških metala na životne procese biljaka”, *Savremena poljoprivreda*, Novi Sad, 1993.
- [68] M. Jakovljević, S. Blagojević, D. Stevanović i Lj. Martinović, „Zavisnost između sadržaja različitih oblika teških metala i nekih parametara plodnosti zemljišta”. U „Uređenje, korišćenje i očuvanje zemljišta”, S. Dragović (urednik), 1997, s. 181-187.
- [69] P. Raičević, „Vrednovanje zemljišta kao prirodnog resursa pive planine i predlog mera za racionalno korišćenje”, *Magistarska teza*, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2008.
- [70] A. Кабата-Пендиас и X. Пендиас, „Микроэлементы в почвах и растениях”. Мир, Москва, 1989.
- [71] M. Ubavić i D. Bogdanović, „Agrohemija”, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad. 2001.
- [72] M. Ubavić, D. Bogdanović i D. Dozet, „Teški metali u zemljištima Vojvodine”, U knjizi: „Teški metali i pesticidi u zemljištu”, R.Kastori (urednik), Poljoprivredni fakultet, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 1993, s. 217-222.
- [73] B. Škrbić, S. Ćupić i J. Cvejanov, "Determination of Heavy Metals in Wheat Samples", *Fiziologija-Physiology*, 12 (2002) pp. 12-15.
- [74] V. Hadžić, Lj. Nešić, M. Belić i N. Milojković, „Teški metali i pesticidi u zemljištima Vojvodine”, Poljoprivredni fakultet, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 1993.
- [75] M. Radulović, „Proučavanje mobilnosti nikla, hroma i fluora u nekim tipovima zemljišta Zetske ravnice”, *Doktorska disertacija*, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Zemun, 2001.
- [76] B. J. Alloway, "Soil Processes and the Behaviour of Metals". In "Heavy Metals in Soils", B.J. Alloway (Ed.), WC2H7BP, London, 1990.
- [77] S. P. McGrath, "Chromium and Nickel". In: "Heavy metals in Soils", B. J: Alloway (Ed.), Blackie Academic & Professional, Glasgow, UK, 1995, pp. 152-178.
- [78] R. Šovljanski, S. Lazić, S. Obradović i D. Beker, „Sadržaj teških metala, selena i ostaci organohloriniranih insekticida u pšenici”, *Žito-hleb*, 18 (1-2), 1991, s. 1-55.
- [79] R. Kastori, „Uloga elemenata u ishrani biljaka”, *Matica srpska*, Novi Sad, 1983.

WHEAT SAMPLES AND HEAVY METALS

Miloš Rajković¹, Mirjana Stojanović², Đorđe Glamočlija¹, Dragan Tošković³,
Violeta Miletić⁴, Violeta Stefanović⁵, Časlav Lačnjevac¹
tosked@ptt.rs

¹University of Belgrade, Faculty of Agriculture, 11080 Zemun, Serbia

²Institute for Technology of Nuclear and other Raw Materials, 11000 Belgrade, Serbia

³University of East Sarajevo, Faculty of Technology, 75400 Zvornik, Republic of Srpska, B&H

⁴University of Nis, Faculty of Occupational Safety, 18000 Nis, Serbia

⁵PDS Institute Tamis, 26000 Pancevo, Serbia

Abstract

Plants have an important role in circuit of heavy metals in nature. Heavy metals are input into food chains mainly through plants. One of the ways in which heavy metals are input into food products is through contaminated plants and animals used for their production. So, if the plants are cultivated on soil with high content of heavy metals then one part of these metals will be input into their organism. The usage of such plants for domestic animals nourishment will lead to their contamination with heavy metals. Meat, milk and eggs of these animals will be of poor quality considering the high level of heavy metals in them. The other, not less significant way of contamination of food products with heavy metals is the technological process in which they have been made. Namely, due to some irregularities in technological processes it can come to input of certain metals in amounts which are higher than regulated. It can come to contamination by metal particles during its mincing in the mill, by irregular keeping and storage, and as one of the main sources of contamination is the air in the industrial zones. Plants assimilate undesired metals from the soil, and in certain conditions through leaves. These elements are accumulated largely in the root area than in organs above earth. That is the reason why the knowledge of mechanisms of accumulation, distribution and metabolism of heavy metals in plants is of high ecological, scientific and practical significance. Especially because heavy metals are among toxic matters which pollute the environment.

This is the reason why wheat is selected for the analysis of the influence of heavy metals on plant culture in this paper. Wheat has dominant role in world's diet, characteristic of strategic product and it covers significant part (almost one third) of total agricultural area of plants culture planted.

Key words: *wheat, heavy metals, atomic absorption spectrophotometry (AAS), soil.*

