

TOLERANCE OF PLANTS TO HIGH CONCENTRATIONS OF METALS IN THE SOIL IN ORDER TO ENSURE THE ECOLOGICAL STABILITY OF A PARTICULAR ECOSYSTEM

Gordana Bogdanović

Academy of Applied Technical and Preschool Studies Nis, Department Vranje, Serbia,
gordana.bogdanovic@akademijanisanis.edu.rs

Tijana Milanović

Academy of Applied Technical and Preschool Studies Nis, Department Vranje, Serbia,
tijana.milanovic@akademijanisanis.edu.rs

Jelena Marković

Academy of Applied Technical and Preschool Studies Nis, Department Vranje, Serbia,
jelena.markovic@akademijanisanis.edu.rs

Abstract: Heavy metals in the soil are often found in inaccessible form. By constantly growing plants on contaminated soil, it is possible to translate them from inaccessible to accessible forms and thus reduce the content of hard-to-reach metals. Specific plant communities, endemic species and endemic flora that grow and survive on contaminated soil with heavy metals are the result of many ecological studies. The survival of a certain plant species, on such land, enables the ability to adapt and adapt to specific environmental conditions. Heavy metal tolerance mechanisms allow plants to evolve. This system, in some plants, prevents the entry of toxic metals into root cells. While, in other plants, the process is the opposite. The flow of metals from the roots to the plant is not prevented. These types of plants, called accumulators, have developed special mechanisms for detoxifying high levels of accumulated metals in root cells. Also, bioaccumulation of extremely high concentrations of metals is possible. Indicators are called the third group of plants. These types of plants show increased accumulation of metals in the soil. By growing appropriate types of plants, it is possible to reduce the content of harmful effects of heavy metals in the soil, which is a very economical method with positive results. The movement of metals through intercellular membranes is conditioned by proteins, which perform this transport function. The metal uptake mechanism is selective. Plants absorb some ions more than others, while for some they do not have a developed ability to absorb. The selectivity of ion uptake depends on the structure and properties of the membrane as a transporter. These characteristics are responsible for the recognition, binding and transfer of certain ions. There are two ways to absorb heavy metals through plants. The first way is the adoption from the soil through the roots and transport to the aboveground parts of plants (tree and leaf). Another way is to adopt them through the leaves and transport them through the roots into the soil. With the growth of plants, the content of heavy metals gradually increases in plant organs. When the amount of bioavailable heavy metals cannot be accumulated by plants, there will be no increase in plant content. In addition to the ability of plants to adapt to specific environmental conditions, an important factor is the composition and structure of the soil. From these factors can be distinguished: pH value and content of organic matter in the soil. The pH value of the soil can affect the bioavailability of the metal and the very process of metal uptake through the roots. The dynamics of microelements and heavy metals in the soil is greatly influenced by organic matter itself. Special attention is paid to finding plant species that would accumulate certain heavy metals and thus remove them from the soil. The biomass of these plants is not used for food, but is dried, burned and deposited in designated places.

Keywords: Tolerance, soil, plants, ecosystem

TOLERANCIJA BILJAKA NA VISOKE KONCENTRACIJE METALA U ZEMLJIŠTU U CILJU EKOLOŠKE STABILNOSTI ODREĐENOG EKOSISTEMA

Gordana Bogdanović

Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš, Odsek Vranje, Republika Srbija
gordana.bogdanovic@akademijanisanis.edu.rs

Tijana Milanović

Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš, Odsek Vranje, Republika Srbija
tijana.milanovic@akademijanisanis.edu.rs

Jelena Marković

Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš, Odsek Vranje, Republika Srbija
jelena.markovic@akademijanisanis.edu.rs

Rezime: Teški metali u zemljištu često se nalaze u nedostupnom obliku. Stalnim uzgojem biljaka na kontaminiranom zemljištu, moguće je ih je prevesti iz nedostupnih u dostupne forme i time smanjiti sadržaj teško dostupnih metala. Specifične biljne zajednice, endemične vrste i endemične flore koje rastu i opstaju na kontaminiranom zemljištu teškim metalima, su rezultat mnogih ekoloških istraživanja. Opstanak određene biljne vrste, na takvom zemljištu, omogućava sposobnost adaptacije i prilagođavanja specifičnim uslovima sredine. Mehanizmi za toleranciju teških metala omogućavaju da biljke evoluiraju. Ovim sistemom, kod nekih biljaka, sprečava se unos toksičnih metala u ćelije korena. Dok, kod drugih biljaka, proces je suprotan. Ne dolazi do sprečavanja protoka metala iz korena u biljku. Ove vrste biljaka, koje se nazivaju akumulatori, razvile su specijalne mehanizme za detoksikaciju visokog nivoa akumuliranih metala u ćelije korena. Takođe, moguća je i bioakumulacija izuzetno visokih koncentracija metala. Indikatore nazivamo treću grupu biljaka. Ove vrste biljaka pokazuju povećanu akumulaciju metala u zemljištu. Gajenjem odgovarajućih vrsta biljaka, omogućava se smanjenje sadržaja štetnog uticaja teških metala u zemljištu, što predstavlja veoma ekonomičnu metodu sa pozitivnim rezultatima. Kretanje metala kroz međućelijske membrane je uslovljeno proteinima, koji vrše tu transportnu funkciju. Mehanizam usvajanja metala je selektivan. Biljke usvajaju neke jone više od drugih, dok za neke nemaju razvijenu sposobnost usvajanja. Selektivnost usvajanja jona zavisi od strukture i osobina membrana kao transportera. Ove karakteristike zaslužne su za prepoznavanje, povezivanje i prenos određenih jona. Postoje dva načina usvajanja teških metala putem biljaka. Prvi način je usvajanje iz zemljišta putem korena i transport u nadzemne delove biljaka (stablo i list). Drugi način je usvajanje putem lišća i njihov transport kroz koren u zemljište. Sa rastom biljaka, sadržaj teških metala se postepeno povećava u biljnim organima. Kada količina biodostupnih teških metala ne može biti akumulirana od strane biljaka, neće doći do povećanja sadržaja u biljci. Pored sposobnosti adaptacije biljaka na specifične uslove ekološke sredine, važan faktor je i sastav i struktura zemljišta. Od tih faktora mogu se izdvojiti: pH vrednost i sadržaj organske materije u zemljištu. pH vrednost zemljišta može da utiče na biodostupnost metala i na sam proces usvajanja metala putem korena. Na dinamiku mikroelemenata i teških metala u zemljištu ima veliki uticaj sama organska materija. Posebna pažnja se posvećuje pronalaženju biljnih vrsta koje bi akumulirale određene teške metale i na taj način ih iznosile iz zemljišta. Biomasa ovih biljaka se ne koristi za ishranu, već se suši, spaljuje i deponuje na za to određenim mestima.

Gljučne reči: Tolerancija, zemljište, biljke, ekosistem

1. UVOD

Na prvom mestu uzroka zagađenja voda, zemljišta i same životne sredine nalaze se teški metali. Toksičnost koja dolazi kao produkt dejstva metala, prvo se skladišti i nakuplja u gornjim slojevima zemljišta. Direktni uticaj metala odražava se prvenstveno na zdravlje ljudi, zatim na biljni svet, ili na životnu sredinu. Najbolji način da se ovakav uticaj toksina spreči je uklanjanje teških metala iz zemljišta. Postupak „čišćenja“ ili remedijacije zemljišta podrazumeva upotrebu mikroorganizama, viših biljaka i helatora, prirodnih ili sintetičkih.

Neke biljne vrste imaju osobinu upijanja teških metala iz zemljišta. Koriste se brzorastuće biljne vrste i određene drvenaste vrste. Biljne vrste koje mogu biti fitoremedijatori, razlikuju se po sposobnosti nakupljanja i distribucije teških metala.

Stepen tolerancije na teške metale u zemljištu se razlikuje od nivoa zemljišta do kojeg dolazi biljna vrsta. Osobinu tolerantnosti na teške metale iz zemljišta biljke su razvile kao jednu vrstu adaptacije na specifične uslove životne sredine.

2. ADAPTIVNE OSOBINE BILJAKA NA POVEĆANE KONCENTRACIJE TEŠKIH METALA

Ekološka stabilnost ekosistema je održiva kada postoji interakcija između toksina teških metala i same biljke. Takođe, postoji i smanjenje rizika od ulaska teških metala u lanac ishrane. Zahvaljujući svojim adaptivnim osobinama, biljke su razvile specifične mehanizme za usvajanje i akumulaciju i detoksikaciju teških metala (Meharg, 1994).

Adaptivna osobina biljaka na dejstvo toksina teških metala je različita. Hiperakumulacija teških metala je dokazana kod malog broja biljaka. Sposobnost ekotipova koji su predodređeni za usvajanje određenog metala u velikim količinama je mala, u odnosu na adaptirane biljne vrste koja rastu na samom području.

Biljna vrsta, da bi izbegla stres, prilagođava se rastom korena u dubinu, zaobilazeći teške metale. Biljke izbegavaju stres i formiranjem mikoriznih asocijacija, akumulacijom jona u ćelijskom zidu i eksudacijom helatora (Stikić and Jovanović, 2012).

Za biljku je veoma važna kontrola koncentracije mikroelemenata u citosolu. Može doći do disbalansa u metabolizmu, usled nekontrolisane apsorpcije toksina esencijalnih mikromolekula i neesencijalnih elemenata (Cobbett, 2000).

Moguće je lako prepoznati zemljište koje je puno toksinima teških metala, jer je uglavnom degradirano, a samim tim je i koncentracija mineralnih materija ograničena (Veneklaas et al., 2003).

Tolerantnost biljaka na visoke koncentracije teških metala često se razlikuje taloženjem malata ili citrata. Fizički i hemijski parametri zemljišta, pH vrednost, granulacija zemljišta utiču na usvajanje određenih toksina metala (Sharma and Dubey, 2005).

3. MEHANIZMI USVAJANJA I DISTRIBUCIJE TEŠKIH METALA U BILJKAMA

Mehanizmi usvajanja i distribucije teških metala u biljkama su veoma važni i značajni za balans ekosistema.

Na slici *a* prikazana je mobilizacija jona metala, koji utiču na eksudacija helatora iz korena kao i acidifikacija rizosfere.

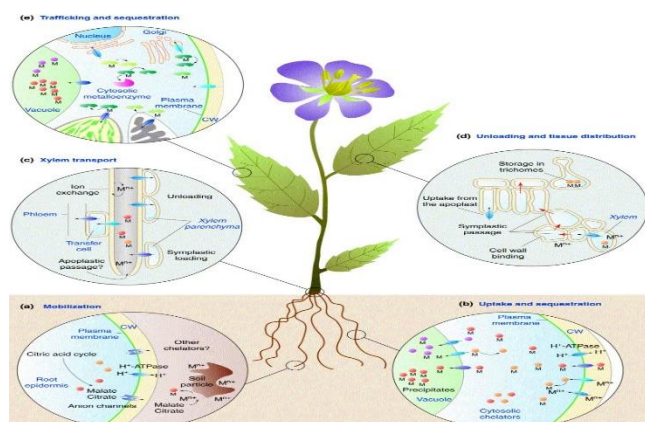
Na slici *b* prikazana je ćelija u kojoj dolazi do heliranja metalnih jona i akumulacije njihovog viška u vakuoli.

Na slici *c* prikazan je ksilem, u kojem dolaze teški metali usvojeni preko korena. U ksilemu se metali nalaze kao hidratizani joni ili kao metal-helator kompleksi.

Na slici *d* prikazan je proces dospevanja metala u apoplast lista. Tu dolazi do preraspodele u različitim tipovima ćelija, gde se metali kreću od ćelije do ćelije preko plazmodezmi. Transport određenih koncentracija je moguć i do trihoma.

Na slici *e* prikazana je distribucija esencijalnih metala. Sam proces je intracelularno regulisan preko transportera koji se nalaze na membranama (Zhang i sar., 2020; Verma and Kuila., 2019).

Slika 1: Mehanizmi uključeni u proces usvajanja i akumulacije metala u biljkama, prema Clemens et al. (2002).



4. ZNAČAJ AKTIVNOG TRANSPORTA ESENCIJALNIH ELEMENATA

Aktivan transport esencijalnih elemenata i uticaj toksina teških metala deluju na metabolizam biljaka. Akumulacija nikla, kadmijuma i cinka može uticati na smanjenje nivoa ili odsustvo gvožđa kod biljaka. Količina usvajanja gvožđa i kalcijuma zavisi od inhibicije rasta korena prouzrokovanim određenim metalima. Dostupnost kadmijuma zavisi od adaptivne sposobnosti korena (Mench and Martin, 1991).

Povećane koncentracije dostupnosti esencijalnih elemenata dovode do smanjenih koncentracija usvajanja teških metala. Teški metali mogu da poremete balans u mineralnoj ishrani biljaka. Svojim adaptivnim mehanizmima biljke prevazilaze neke nutritivne probleme koji se mogu javiti na različitim tipovima zemljišta. Ti nutritivni problemi mogu izazvati modifikaciju rizosfere i transportnih mehanizama u korenu. Dok adaptivni mehanizmi utiču na pristupačnost i usvajanje teških metala (Nešković et al., 2003).

Nedostatak fosfora direktno utiče na produkciju biomase u mnogim ekosistemima, jer je važan element za rast biljaka. U procesu fotofosforilacije i procesu disanja, ulazi u sastav ATP-a (Đukić, 2006). Fosfor učestvuje u aktivaciji enzima i regulisanju metaboličkih procesa. Smanjenje koncentracije ili nedostatak fosfora utiče na transfer energije koja omogućava funkcionisanje jonskih pumpi (Luka i sar., 2018).

5. HIPERAKUMULACIJA

Hiperakumulatori imaju sposobnost akumulacije izuzetno visokih količina teških metala. Ove nakupine metala, skladište se u listovima i u nadzemnim delovima biljaka. U ovu grupu pripadaju biljne vrste koje su razvile adaptivne sposobnosti da rastu i opstaju na zemljištima bogatim metalima. Hiperakumulatori mogu da akumuliraju

metale u koncentracijama koje su i do 100 puta veće od normalnih koncentracija u biljkama (Gonnelli and Renela, 2012).

Sposobnost biljaka da umanje količinu teških metala u kontaminiranim zemljištima zavisi od produkcije biokoncentracionih faktora (biomase). To predstavlja odnos koncentracije metala u tkivima izdanka ili korena i koncentracije metala zemljištu. Određen je kapacitetom biljnog organa prema usvajanju metala i njegove sposobnosti da akumulira, skladišti i detoksikuje metale. Sa druge strane, održava metabolizam, rast i produkciju biomase (Alagić i sar., 2013).

Identifikovano je preko 520 vrsta biljaka hiperakumulatora iz oko 110 familija biljaka. U najznačajnije i najrasprostranjenije familije pripadaju *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cyperaceae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Poaceae*, *Violaceae* i *Eupobiaceae*. Zanimljivo je da 25% detektovanih hiperakumulatora pripada familiji *Brassicaceae*. Kumulaciju više vrsta metala ima rod *Alyssum* (Bhargava et al., 2012).

Akumulaciju nikla ima skoro 80% taksona. Dok samo 0,5% biljaka akumulira kadmijum u biljnim organima. Familije *Fabaceae*, *Asteraceae* i *Rubiaceae*, imaju sposobnost hiperakumulacije selen.

Biljke su razvile pojačanu akumulaciju metala da bi stvorile odnos sa susednim biljkama. Drugi razlog je radi odbrane od brojnih neprijatelja u prirodi (kao što su to neki patogeni i herbivori organizmi) (Antonijević i sar., 2012).

6. UTICAJ TEŠKIH METALA NA KONCENTRACIJE FOTOSINTETSKIH PIGMENATA

Veliki broj istraživanja pokazuju da određeni teški metali (npr: kadmijum i olovo), spečavaju fotosintezu menjajući strukturu hloroplasta, karotenoida, biosintezu hlorofila, fotooksidaciju vode, enzime, transport elektrona i usvajanje ugljen-dioksida. Kadmijum zaustavlja proces fotosinteze, uništavanjem tilakoidnih membrana u listovima. Takođe, uzrokuje oksidativni stres, smanjuje sadržaj pigmenata i zastupljenost hloroplasta u ćeliji (Sharma., 2020).

7. ZAKLJUČAK

Mehanizmi koji su biljke razvile kako bi izbegle toksično dejstvo teških metala su: mehanizam ekskludera i sposobnost tolerancije. Mehanizam ekskludera imaju biljke koje smanjuju biodostupnost zemljišnih metala (smanjuju ekspresiju proteina transportera odgovornih za usvajanje metala), izbegavajući ulazak teških metala u koren. Biljke ekskluderi mogu se svrstati u fitoremedijatore, zbog sposobnosti fitostabilizacije.

Biljke su razvile mehanizam tolerancije koji podrazumeva smanjivanje štete tokom usvajanja metala, na usvajanje i detoksifikaciju metala na jedan kontrolisani način. Grupa biljaka svrstana je u hiperakumulatore metala. Kod ove grupe biljaka, metali se detoksifikuju helatizacijom u citosolu i deponovanjem u vakuole. Translokacija metala iz korena do nadzemnih delova, putem ksilema i distribucija putem tkiva spoljašnjih organa, dolazi do deponovanja u tkivima koja su fotosintetički neaktivna. Hiperakumulatori koncentruju velike količine teških metala u nadzemnim organima, bez javljanja bilo kakvog fitotoksičnog efekta, što ih upravo čini idealnim rešenjem za primenu u fitekstrakciji/fitoakumulaciji, kao najefikasnijem vidu fitoremedijacije.

LITERATURA

- Alagić, S.Č., Šerbula S.S., Tošić S.B., Pavlović A.N., & Petrović J.V. (2013). Bioaccumulation of Arsenic and Cadmium in Birch and Lime from the Bor Region, Arch Environ Contam Toxicol 65 (4), 671-682.
- Antonijević, M.M., Dimitrijević, M.D., Milić, S.M., & Nujkić, M.M. (2012). Metal concentrations in the soils and native plants surrounding the old flotation tailings pond of the Copper Mining and Smelting Complex Bor (Serbia). Journal of Environmental Monitoring 14 (3), 866-877.
- Bhargava, A., Carmona, F.F., Bhargava, M., & Srivastava, S. (2012). Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals, Review. J Environ Manage, 105:103-20.
- Clemens, S., Palmgren, M.G., & Krämer, U. (2002). A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. Trends Plant Science. 7 (7): 309-315.
- Cobbett, C. S. (2000). Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification. Plant Physiology. 123: 825–832.
- Đukić, M. (2006). Fiziologija biljaka. Šumarski fakultet, Beograd.
- Gonnelli, C., & Renella, G. (2012). Chromium and Nickel. In Alloway BJ (ed) Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Environmental Pollution (22). Third Edition, Springer Dordrecht Heidelberg New York London, pp. 313-334.
- Luka, Y., Highina, B.K., & Zubairu, A. (2018). Bioremediation: A Solution to Environmental Pollution-A Review” American Journal of Engineering Research (AJER), 7 (2), 101-109.
- Mench, M., & Martin, E. (1991). Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zea mays L.*, *Nicotiana tabacum L.* And *Nicotiana rustica L.* Plant and Soil. 132: 187–196.
- Nešković, M., Konjević, R., & Čulafić, L. (2003). Fiziologija biljaka. NNN International. Beograd.

- Sarker, S. C., Ghosh, S. R., Hossain, M., Ghosh, R. C., Razia, S., Sushmoy, D. R., & Noor, M. M. (2019). Impact of aluminium (Al³⁺) stress on germination and seedling growth of five wheat genotypes. *SAARC Journal of Agriculture*, 17(1), 65-76. doi:<https://doi.org/10.3329/sja.v17i1.42762>
- Sharma, I. (2020). Bioremediation Techniques for Polluted Environment: Concept, Advantages, Limitations, and Prospects. *Trace Metals in the Environment – New Approaches and Recent Advances*.
- Sharma, P., & Dubey S.R. (2005). Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* vol.17 (1): 35-39.
- Stikić, R., & Jovanović, Z. (2012). Fiziologija stresa biljaka. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Veneklaas, E.J., Stevens, J., Cawthray, G.R., Turner, S., Grigg, A.M., & Lambers, H. (2003). Chickpea and white lupin rhizosphere carboxylates vary with soil properties and enhance phosphorus uptake. *Plant and Soil* 248: 187–197.
- Verma, S., & Kuila, A. (2019). Bioremediation of heavy metals by microbial process. *Journal Environmental Technology & Innovation*, ISSN:2352-1864, Vol.14, Extent 100369.
- Zhang, H., Yuan, X., Xiong, T., Wang, H., & Jiang, L. (2020). Bioremediation of cocontaminated soil with heavy metals and pesticides: Influence factors, mechanisms and evaluation methods. *Chemical Engineering Journal*, 398, 125- 657.