

ALTERNATIVNI NAČINI SNABDEVANJA VIŠEGODIŠNJIH KRMNIH LEGUMINOZA FOSFOROM

Dalibor Tomić¹, Vladeta Stevović¹, Dragan Đurović¹, Milomirka Madić¹, Miloš Marjanović¹, Nenad Pavlović¹

Izvod: U poslednje vreme, svedoci smo kontinuiranog rasta cena fosfornih đubriva koja postaju sve manje dostupna, naročito u zemljama u razvoju. Pored toga, mala pokretljivost fosfora u zemljištu i njegova imobilizacija u oblike nedostupne biljkama doprinose manjoj efikasnosti fosfornih đubriva primenjenih preko zemljišta. Da bi se ovi problemi umanjili, teži se pronalaženju alternativnih rešenja za snabdevanje višegodišnjih krmnih leguminoza fosforom, koja bi u budućnosti mogla doprineti ekonomičnom i efikasnom rešavanju problema nedostatka fosfora u biljkama. Jedno od takvih rešenja je folijarno đubrenje. Međutim, danas se radi i na oplemenjivanju biljaka u pravcu stvaranja genotipova sa boljom arhitekturom korena. Takođe, radi se na selekciji genotipova koji mogu da koriste fosfor iz teško rastvorljivih fitiata, kao i selekciji u pravcu intenziviranja simbioze sa mikoriznim gljivama koje doprinose mobilnosti fosfora u zemljištu.

Ključne reči: đubrenje, fosfor, višegodišnje krmne leguminoze

Uvod

Velike površine zemljišta širom sveta koje se koriste za poljoprivrednu proizvodnju siromašne su lako pristupačnim fosforom, zbog čega je biljna proizvodnja na njima ograničena (Richardson, 2009.). Oko 17,5 miliona tona fosfornih stena se u toku godine preradi, a oko 85% ovih materijala se koristi za proizvodnju đubriva (Cordell et al., 2009.). Istraživanja pokazuju da su rezerve fosfora ograničene i procenjuju se na oko 50 - 80 godina korišćenja (Isherwood, 2000.). Predviđa se da će vrhunac u ponudi fosfornih đubriva biti oko 2033. godine (Cordell et al., 2009.). Pored toga, svetske rezerve fosfora su koncentrisane u samo nekoliko zemalja sveta što otežava njihovu distribuciju. Već smo svedoci stalnih povećanja cena fosfornih đubriva koje će se nastaviti i u budućnosti. Mnogim državama, posebno zemljama u razvoju ovo predstavlja dodatno opterećenje za dugoročnu održivost poljoprivrede.

Mala pokretljivost fosfora u zemljištu i njegova imobilizacija u oblike nedostupne biljkama doprinose manjoj efikasnosti primenjenih fosfornih đubriva preko zemljišta, čak i na plodnim zemljištima (Yoneyama et al., 2012.)

U poslednje vreme se sve više razmatraju moguće alternativne opcije klasičnim sistemima đubrenja fosforom, kako bi biljke bile optimalno ishranjene, a sistemi

¹Univerzitet u Kragujevcu, Agronomski fakultet u Čačku, Cara Dušana 34, Čačak, Srbija (dalibort@kg.ac.rs);

proizvodnje održivi (Cordell et al., 2009.). Cilj rada je bio da se izvrši analiza mogućih alternativnih rešenja za snabdevanje biljaka fosforom koja bi bila efikasna i u budućnosti bi mogla u određenoj meri da zamene upotrebu klasičnih fosfornih đubriva.

Usvajanje fosfora iz zemljišta

Zemljišni fosfor egzistira u različitim formama uključujući neorganski i organski fosfor (Turner et al., 2002.). Biljke mogu uzimati fosfor iz zemljišta preko korena u obliku $H_2PO_4^-$ i HPO_4^{2-} (Jianbo, 2011.). Pored njih, u zemljištu egzistira još oko 170 drugih različitih mineralnih frakcija koje sadrže fosfor (Holford, 1997.). Prirodna koncentracija ortofosfata u zemljišnom rastvoru je često niža od potrebne za normalan rast biljaka (Raghothama and Karthikeyan, 2005.). Mala difuzija fosfora u zemljištu ograničava njegovu dostupnost u rizosferi. Veliki broj zemljišta u svetu sadrži dovoljnu količinu ukupnog fosfora, ali je on teško dostupan za biljke, odnosno efikasnost korišćenja fosfornih đubriva od strane biljaka je jako niska (Richardson, 2009.). Oko 80% od primenjene količine fosfornih đubriva se brzo imobilize u druge oblike osim ortofosfata (Raghothama and Karthikeyan, 2005.). To uglavnom rezultira njegovom akumulacijom u zemljištu u oblicima koji su teško dostupni biljkama ili to je tzv. "fiksiran" fosfor. Prema Turner et al. (2002.) zemljište akumulira veliku količinu organskih fosfata što čini 50-80% ukupnog fosfora. Među organskim fosfatima uglavnom dominira fitin.

Ukupna dinamika fosfora u sistemu biljka-zemljište zavisi od integralnog uticaja transformacije fosfora, njegove pristupačnosti za biljku, vezivanja za zemljište, rizosfere i biljnih procesa (Turner et al., 2002.). Prema Furihata et al. (1992.) kod viših biljaka, najveća stopa usvajanja fosfora je pri pH vrednosti zemljišta između 5 i 6, kada se on nalazi uglavnom u obliku $H_2PO_4^-$. Pri đubrenju crvene deteline fosforom na kiselom zemljištu, utvđena je značajna pozitivna korelacija između pH vrednosti zemljišta i pristupačne količine fosfora, kao i između količine dostupnog fosfora u zemljištu i njegovog sadržaja u izdancima (Ribera et al., 2010.). Prema López et al. (2007.) dostupnost molibdena za crvenu detelinu se povećava sa đubrenjem fosforom.

Alternativni načini snabdevanja biljaka fosforom

Folijarno đubrenje je jedan od načina da se biljke obezbede dovoljnom količinom fosfora potrebnom za rast i razvoj. Još su Koontz and Biddulph (1957.) ukazali da je folijarno đubrenje fosforom najbolji način za ishranu pasulja. Količina translociranog fosfora u roku od 24 sata zavisila je od lisne površine i koncentracije fosfora na površini tretiranih listova. Više fosfora se translocira sa donjih starijih listova u odnosu na mlađe gornje listove. Veoma mladi listovi nisu usvajali fosfor. Količina dopremljenog fosfora do korena je bila u proporciji sa udaljenosti listova. Najjače usvajanje fosfora je bilo u vidu NaH_2PO_4 . Translokacija fosfora sa lista zavisila je i od brzine sušenja na površini lista.

Istraživanja pokazuju da biljke imaju širok spektar morfološke i fiziološke adaptacije na nedostatak fosfora (Richardson et al., 2009.). Njihovo prilagođavanje nedostatku fosfora je povezano sa nizom metaboličkih i fenotipskih promena, a podrazumeva i strategiju štednje internog fosfora. Pri nedostatku fosfora, biljke mogu razvijati adaptivne mehanizme kako bi olakšale efikasno usvajanje i translokaciju, ali i da bi efikasno koristile dostupni fosfor, premeštanjem iz starijih tkiva do mlađih tkiva koja aktivno rastu (Jianbo, 2011.). Pored toga, postoje različite mogućnosti povećanja pristupačnosti fosfora iz zemljišta. Biljke se prilagođavaju nedostatku fosfora modifikacijama u rastu i strukturi korena, oslobađanjem različitih korenskih eksudata kao što su kisele fosfataze, interakcijama sa mnogim zemljišnim mikroorganizmima kao što su mikorizne gljive (Richardson et al., 2009.). Zato su molekularni mehanizmi koji regulišu ove procese, a koji su regulisani različitim genima, od velike važnosti i predmet su istraživanja mnogih naučnika. Danas se teži da metodama selekcije i oplemenjivanja biljaka ti geni budu iskorišćeni, što može doprineti da ovi mehanizmi budu praktično upotrebljeni kod novih sorti i hibrida kako bi oni mogli bolje da koriste fosfor iz zemljišta.

Prema Ramaekers et al. (2010.) postoje tri osnovne strategije za rad na boljem iskorišćavanju fosfora iz zemljišta od strane biljaka. To su: a) prirodna selekcija biljaka na bolje usvajanje fosfora iz zemljišta, b) genetski inženjering kojim se uvode geni koji poboljšavaju usvajanje fosfora i c) upotreba poljoprivrednih praksi za poboljšanje rasta biljaka primenom inokulacije korena mikoriznim gljivama.

U prirodi postoji ogromna genetička varijacija biljaka u pogledu efikasnosti usvajanja fosfora. Oplemenjivanje biljaka u pogledu ove osobine je veoma važno za budući razvoj poljoprivredne proizvodnje (Veneklaas et al., 2012.). Jedan od odgovora biljaka na nedostatak fosfora je povećanje odnosa između korena i stabla u korist korena (Ramaekers et al., 2010.). Kod tolerantnijih genotipova na nedostatak fosfora, taj odnos je veći u odnosu na manje tolerantne genotipove (Hermans et al., 2006.).

U zemljišnim ekosistemima se pored ostalih jedinjenja sintetiše i fitin koji biljke slabo koriste (Richardson, 2009.). Fosfor iz fitina biljke mogu iskoristiti tek nakon njegove mineralizacije do ortofosfornih jona (H_2PO_4^-). Za to su potrebne fitaze, odnosno hidrolitički enzimi koji katalizuju postepenu razgradnju fitina (Barrientos et al., 1994.). Fitaze se mogu smatrati posebnim oblikom kisele fosfataze. Poznato je nekoliko fitaza kao što su histadin kisela fosfataza, ljubičasta kisela fosfataza, β -propeller fitaza i cistein fosfataza (Lei et al., 2007.). Li et al. (1997.) navode da nedostatak fosfora povećava izlučivanje fitaza iz korena mnogih biljaka. Biljke kao što je crvena detelina mogu da luče fitazu iz korena (Greaves et al., 1963.). To može biti od velikog značaja za obezbeđivanje korišćenja organskog fosfora iz zemljišta. Dodavanjem fosfora dolazi do smanjenja intenziteta lučenja fitaze. Kako bi se fitin iz zemljišta u većoj meri koristio od strane biljaka, danas se radi na stvaranju transgenih biljaka. One imaju sposobnost da proizvode veće količine fitaza (Lei et al., 2007.). To potvrđuju Ma et al. (2009.) koji su radili na stvaranju genotipova bele deteline sa navedenim osobinama.

Pored biljaka, značajan deo mikroorganizama u zemljištu poseduju fitaze, koje mogu da hidrolizuju natrijum fitate oslobađajući neorganske fosfate (Greaves et al., 1963.). Kasnija istraživanja su pokazala da su fitaze široko distribuirane u biljnim i životinjskim tkivima mnogim gljivicama i bakterijama (Scott, 1991.). Intenziviranjem rada ovih mikroorganizama može se doprineti boljem iskorišćavanju fosfora od strane biljaka.

Jedan od važnih mehanizama biljke za snabdevanje fosforom je da formira simbiotske odnose sa mikoriznim gljivama (Yoneyama et al., 2012.). Pomoću dobro razvijenih hifa, mikorizne gljive apsorbuju mineralna hraniva iz zemljišta i pomeraju ih prema korenu. Za uzvrat, gljive od biljaka uzimaju neke produkte fotosinteze. Za bolje grananje i razvoj hifa kod gljivica mogu biti odgovorni strigolaktoni koje biljke luče na svom korenu. Nedostatak pristupačnog fosfora kod mnogih biljnih vrsta pojačava sintezu strigolaktona koji stimulišu razvoj mikoriznih gljiva u rizosferi i tako povećavaju sadržaj pristupačnog zemljišnog fosfora. Istraživanja su pokazala da se ovaj mehanizam takođe može iskoristiti u postupcima selekcije i oplemenjivanja biljaka.

Zaključak

Pored unošenja fosfora preko zemljišta, najrašireniji način u praksi za brzo rešavanje problema nedostatka fosfora je putem folijarne prihrane. Međutim, u poslednje vreme se sve više radi na oplemenjivanju biljaka u različitim pravcima, koji omogućuju lakše snabdevanje biljaka imobilisanim fosforom u zemljištima. Ovo je moguće zahvaljujući korišćenju gena koji regulišu različite procese u biljkama. Kod nekih biljaka se vrši oplemenjivanje na modifikacije u rastu i strukturi korena. Jedan od pravaca za bolje usvajanje fosfora iz zemljišta je oplemenjivanje biljaka na bolje lučenje fitaza koje oslobađaju fosfor vezan u fitatima. Takođe, vrši se oplemenjivanje biljaka u pravcu formiranja simbiotskih odnosa sa mikoriznim gljivama koje pomažu kretanje fosfora iz zemljišta prema rizosferi. Primena ovih mogućnosti u budućnosti može doprineti smanjenju problema nedostatka fosfornih đubriva i povećanju prinosa kako višegodišnjih krmnih leguminoza tako i ostalih useva.

Napomena

Istraživanja u ovom radu deo su projekta broj 451-03-68/2022-14 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

Barrientos L., Scott J.J., Murthy N.P.P. (1994). Specificity of Hydrolysis of Phytic Acid by Alkaline Phytase from Lily Pollen. *Plant Physiology*. 106(4): 1489–1495.

- Cordell D., Drangert J.O., White S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*. 19: 292–305.
- Furihata T., Suzuki M., Sakurai H. (1992). Kinetic characterization of two phosphate uptake systems with different affinities in suspension-cultured *Catharanthus roseus* protoplasts. *Plant Cell Physiology*. 33: 1151–1157.
- Greaves M., Anderson G., Webley D.A (1963). Rapid Method for Determining Phytase Activity of Soil Micro-organisms. *Nature*. 200: 1231–1232.
- Hermans C., Hammond J.P., White P.J., Verbruggen N. (2006). How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? *Trends Plant Science*. 11: 610–617.
- Holford I.C.R. (1997). Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Australian Journal of Soil Research*. 35: 227–239.
- Isherwood K.F. (2000). Mineral fertilizer use and the environment. International Fertilizer Industry Association. United Nations Environment Programme, Paris. pp. 53.
- Jianbo S., Lixing Y., Junling Z., Haigang L., Zhaohai B., Xinping C., Weifeng Z., Fusuo Z. (2011). Phosphorus dynamics: from soil to plant. *Plant Physiology*. 156: 997–1005.
- Koontz H., Biddulph O. (1957). Factors affecting absorption and translocation of foliar applied phosphorus. *Plant Physiology*. 32: 463–470.
- Lei X., Porres J., Mullaney E., Brinch-Pedersen H. (2007). Phytase: source, structure and application. Chapter in: J. Polaina, A.P. MacCabe (Eds.), *Industrial Enzymes*. 505–529.
- Li M., Osaki M., Madhusudana Rao I. (1997). Secretion of phytase from the roots of several plant species under phosphorus-deficient conditions. *Plant and Soil*. 195: 161–169.
- López R., Alvear M., Gianfreda L. Mora M. (2007). Molybdenum availability in Andisols and its effect on biological parameters of soil and red clover (*Trifolium pratense* L.). *Soil Science*. 172(11): 913–924.
- Ma X.F., Wright E., Ge Y., Bell J., Xi J., Bouton H.J., Wang Z.Y. (2009). Improving phosphorus acquisition of white clover (*Trifolium repens* L.) by transgenic expression of plant-derived phytase and acid phosphatase genes. *Plant Science*. 176: 479–488.
- Raghothama G.K., Karthikeyan S.A. (2005): Phosphate acquisition, *Plant and Soil*. 274: 37–49.
- Ramaekers L., Remans R., Rao M.I., Blair W.M., Vanderleyden J. (2010). Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. *Field Crops Research*. 117: 169–176.
- Ribera E.A., Mora L.M., Ghiselini V., Demanet R., Gallardo F. (2010). Phosphorus-molybdenum relationship in soil and red clover (*Trifolium pratense* L.) on an acid soil. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*. 10(1): 78 - 91.
- Richardson A.E., Hocking P.J., Simpson R.J., George T.S. (2009). Plant mechanisms to optimise access to soil phosphorus. *Crop and Pasture Science*. 60:124–143.
- Richardson E.A. (2009). Regulating the phosphorus nutrition of plants: molecular biology meeting agronomic needs. *Plant and Soil*. 322: 17–24.

- Scott J. J. (1991). Alkaline phytase activity in nonionic detergent extracts of legume seeds. *Plant Physiology*. 95: 1298–1301.
- Turner L., Paphazy J.M., Haygarth M.P., McKelvie D.I. (2002). Inositol phosphates in the environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B, Biological Sciences*. 357: 449–469.
- Veneklaas J.E., Lambers H., Bragg J., Finnegan M.P., Lovelock E.C., Plaxton C.W., Price A.C., Scheible W.R., Shane W.M., White J.P., Raven A.J. (2012). Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. *New Phytologist*. 195: 306–320.
- Yoneyama K., Xie X., Kim H., Kisugi T., Nomura T., Sekimoto H., Yokota T., Yoneyama K. (2012). How do nitrogen and phosphorus deficiencies affect strigolactone production and exudation? *Planta*. 235: 1197–1207.

ALTERNATIVE METHODS OF SUPPLYING PERENNIAL FORAGE LEGUMINOSES WITH PHOSPHORUS

Dalibor Tomić¹, Vladeta Stevović¹, Dragan Đurović¹, Milomirka Madić¹, Miloš Marjanović¹, Nenad Pavlović¹

Abstract

Recently, we have witnessed a continuous rise in the prices of phosphorus fertilizers, which are becoming less and less available, especially in developing countries. In addition, the low mobility of phosphorus in the soil and its immobilization in forms inaccessible to plants contribute to the lower efficiency of phosphorus fertilizers applied through the soil. In order to reduce these problems, efforts are being made to find alternative solutions for supplying perennial forage legumes with phosphorus, which could in the future contribute to an economical and efficient solution to the problem of phosphorus deficiency in plants. One such solution is foliar fertilization. However, today we are also working on breeding plants in the direction of creating genotypes with better root architecture. Also, we are working on the selection of genotypes that can use phosphorus from sparingly soluble phytates, as well as the selection in the direction of intensifying symbiosis with mycorrhizal fungi that contribute to the mobility of phosphorus in the soil.

Key words: fertilization, phosphorus, perennial forage legumes

¹University of Kragujevac, Faculty of Agronomy Čačak, Cara Dušana 34, Čačak, Serbia (dalibort@kg.ac.rs)