MAKROELEMENTI U TLU I BILJCI

Vavetić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of agriculture / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:572528

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Luka Vavetić
Preddiplomski studij smjera Bilinogojstvo

MAKROELEMENTI U TLU I BILJCI

Završni rad

Osijek, 2016.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Luka Vavetić
Preddiplomski studij smjera Bilinogojstvo

MAKROELEMENTI U TLU I BILJCI

Završni rad

Osijek, 2016.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Luka Vavetić
Preddiplomski studij Bilinogojstvo

MAKROELEMENTI U TLU I BILJCI

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu završnog rada:

1. Izv. prof. dr. sc. Vesna Vukadinović, predsjednik
2. Izv. prof. dr. sc. Irena Jug, mentor
3. Doc. dr. sc. Boris Đurđević, član

Osijek, 2016.

Sadržaj

1. UVOD 1
2. DUŠIK 2
2.1 DUŠIK U TLU 3
2.2 DUŠIK U BILJCI 4
2.3 NEDOSTATAK I SUVIŠAK DUŠIKA 7
3. FOSFOR 8
3.1 FOSFOR U TLU 9
3.2 FOSFOR U BILJCI 10
3.3 NEDOSTATAK I SUVIŠAK FOSFORA 12
4. SUMPOR 14
4.1. SUMPOR U TLU 14
4.2. SUMPOR U BILJCI 15
4.3. NEDOSTATAK I SUVIŠAK SUMPORA 17
5. KALIJ 18
5.1. KALIJ U TLU 18
5.2. KALIJ U BILJCI 20
5.3. NEDOSTATAK I SUVIŠAK KALIJA 22
6. KALCIJ 23
6.1. KALCIJ U TLU 24
6.2. KALCIJ U BILJCI 25
6.3. NEDOSTATAK I SUVIŠAK KALCIJA 27
7. MAGNEZIJ 28
7.1. MAGNEZIJ U TLU 29
7.2. MAGNEZIJ U BILJCI 30
7.3. NEDOSTATAK I SUVIŠAK MAGNEZIJA 31
8. ZAKLJUČAK 34
9. LITERATURA 35
10. SAŽETAK 39
11. SUMMARY 40
12. POPIS SLIKA 41
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA 42

1. UVOD

Povećanjem broja stanovništva na Svijetu povećale su se i potrebe za proizvodnjom hrane što uvjetuje ulaganje velikih napora u području poljoprivrednih znanosti sa ciljem ostvarivanja maksimalnih prinosa. Kako bi postigli visoke i stabilne prinose, od iznimne je važnosti osigurati biljkama dovoljnu količinu hraniva, odnosno elemenata biljne ishrane. Svaka biljka za svoj rast i razvoj ima određene zahtjeve u opskrbi biljnim elementima koje biljke uglavnom koriste iz tla.

Tlo je, kao supstrat biljne ishrane, heterogeni materijal koji se sastoji od čvrste, tekuće i plinovite faze, a nastaje djelovanjem pedogenetskih činitelja tijekom procesa pedogeneze. Čvrsta faza tla sastoji se od mineralne i organske komponente. Veći dio mineralnih tvari nalazi se u obliku teško topivih karbonata i fosfata (Pevalek- Kozlina, 2003.), a manji dio je izmjenjivo sorbiran na koloidne čestice tla ili se nalaze u vodenoj otopini tla (najčešće u obliku iona).

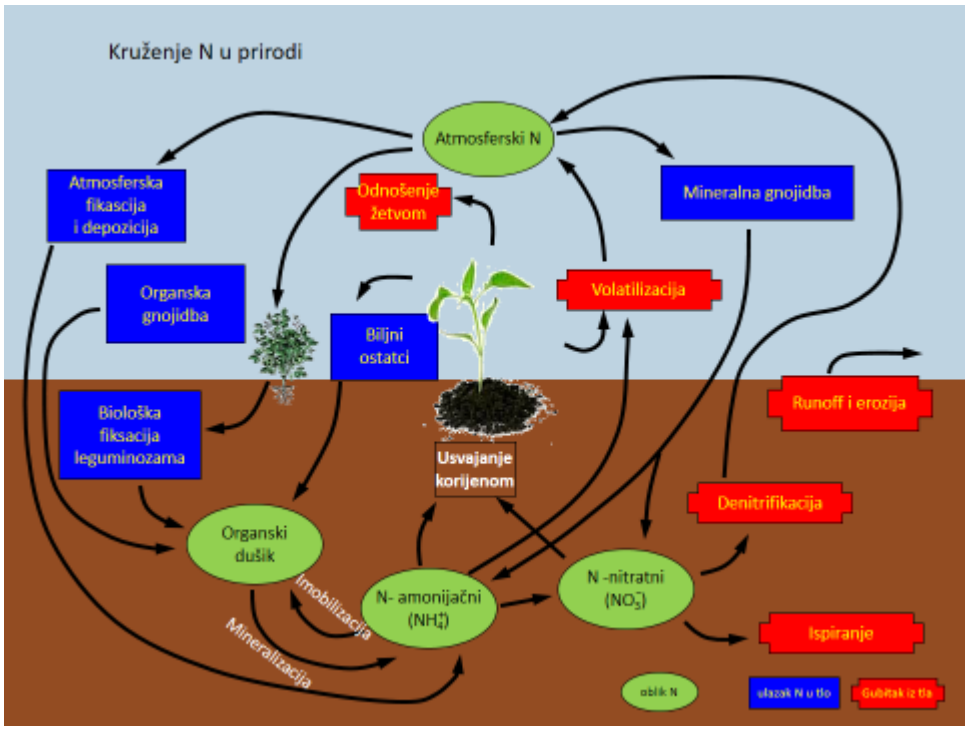
Za normalan rast i razvoj biljaka potrebno je 17 elemenata, od kojih je 9 elemenata (ugljik, kisik, vodik, dušik, sumpor, kalcij, kalij, magnezij i fosfor) potrebno u većoj količini (>0,1 %) te se navedeni nazivaju makroelementima. Porijeklo makroelemenata u tlu može biti anorgansko ili organsko, ovisno potječu li iz minerala Zemljine kore (anorganska hraniva) ili su produkt razgradnje žive tvari, npr. šumske prostirke, humusa, žetvenih ostataka i dr. (organska hraniva). Dušik, fosfor, sumpor, kalij, kalcij i magnezij biljke usvajaju u mineralnom odnosno ionskom obliku, kisik i ugljik u plinovitom obliku, a vodik iz vode.

Makroelementi imaju određenu ulogu u metabolizmu tvari i energije pa tako organogeni elementi (C, O i H) pripadaju skupini konstitucijskih elemenata, zajedno s dušikom, fosforom i sumporom, a kalij, kalcij i magnezij imaju ulogu aktivatora enzima.

Cilj ovog rada je ukazati na značaj i porijeklo makroelemenata, opisati njihovu fiziološku ulogu i koncentraciju u kojoj se nalaze u suhoj tvari biljke, odnosno u tlu.

2. DUŠIK

Dušik pripada skupini esencijalnih elemenata. Izvor dušika je atmosfera, a biljke ga usvajaju se u mineralnom obliku. Kao takav, u biljci čini sastavni dio proteina, nukleinskih kiselina, amida, amina, fotosintetskih pigmenata i drugih spojeva koje čine osnovu života. Najviše ga ima u atmosferi i to u postotku od 78,1 %, ali problem predstavlja mali broj organizama koji ga mogu koristiti kao takvog. Specifičnost kod transformacije iz molekularnog dušika u mineralni oblik jest veliki utrošak energije u iznosu od 946 kJ, dok je prelazak mineralnog oblika dušika u molekularni puno lakši što dovodi do velikih gubitaka dušika iz tla (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).



Slika 1. Ciklus kruženja dušika u prirodi

(Izvor: Jug I. http://ishranabilja.com.hr/literatura/tloznanstvo/Elementi.pdf)

2.1 DUŠIK U TLU

U tlu se dušik nalazi u organskom i anorganskom obliku. U organskom dijelu, dušik se nalazi u humusu i nepotpuno razloženim biljnim i životinjskim ostacima te predstavlja potencijalni izvor hraniva za biljku (Harmsen i Kolenbrander, 1965.), dok anorganski dio predstavlja mineralni oblik, koji je slabo zastupljen u tlu i biljci je potpuno pristupačan.

Abiotski čimbenici, poput klime, matičnog supstrata, topografije terena itd., značajno utječu na ukupnu količinu dušika u tlu (npr. tla koja se nalaze u području hladnijeg klimata imaju veći sadržaj organske tvari što rezultira i većom koncentracijom dušika).

Dušik u tlu sastavni dio je ciklusa kruženja dušika u prirodi (Slika 1.). Primarni izvor dušika je atmosfera, gdje se dušik nalazi u vidu čvrsto povezane plinovite molekule N_2. Oranični sloj nekog dušikom bogatog tla sadrži oko 3 tone ukupnog dušika po akru, dok atmosferski sloj iznad istog područja sadrži oko 35, 000 tona elementarnog dušika (Stevenson, 1965.). Izvori dušika u tlu mogu biti i gnojidba (antropogeni utjecaj) ili električna pražnjenja u atmosferi (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Dušik se u tlu nakuplja pod utjecajem živih organizama i to najviše radom onih mikroorganizama koji imaju sposobnost vezanja molekularnog dušika iz atmosfere i izgradnje vlastite organske tvari. Enzim nitrogenaza sudjeluje u mehanizmu mikrobiološkog vezanja dušika. Enzim nitrogenaza je kompleks dvaju proteina. Prvi protein ima molekularnu masu 220 000 kDa, a sadrži željezo, molibden i sumpor ($2MoFe_8S_6$). Drugi protein ima molekularnu masu 50 000 kDa te sadrži jedan atom željeza (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Danas, znanost sve više teži genetičkom inženjeringu, kako bi prenijeli nif operon (engl. *nitrogen fixation operon*) s jednog na drugi organizam, npr. *Klebisela pneumoniae* → *Escherichia coli* ili mikorizne gljive *Azotobacter* → *Rhizopogon*. Inokulacijom mikoriznih gljiva na korijen viših biljaka ostvaruje se prijenos mikrobiološki vezanog dušika na biljke koje ne pripadaju porodicama leguminoza, čime se smanjuju potrebe za gnojidbom dušikom pojedinih kultura (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Mineralni dušik iz tla, zbog svoje brze transformacije do nitrata lako može biti podvrgnut ispiranju iz tla (Turner i Rabalais, 2003., Randall i sur., 2008.; Randall i sur., 2010.). Mineralni dušik se može gubiti iz tla i volatizacijom (amonijak), erozijom, denitrifikacijom, isparavanjem N_2 i N_2O u plinovitom obliku, te iznošenjem od strane usjeva (Haynes, 1986.). Nitratni oblik dušika pokretljiv je u tlu. Stoga, u uvjetima velike vlažnosti i descendentnog kretanja vode, dolazi do ispiranja nitrata u niže slojeve tla, pa tako i u podzemne vode pri čemu dolazi do onečišćenja okoliša, a takvi nitrati su zauvijek izgubljeni za biljnu ishranu (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Amonijev ion nije podložan ispiranju jer može biti fiksiran na mineralne gline zbog svog pozitivnog naboja (Haynes, 1986.). Nadalje, dušik može isparavati iz tla u obliku amonijaka koji je u plinovitom stanju, a takav proces naziva se volatizacija. Preduvjet za volatizaciju jest pH tla >6. Pri pH $\leq$ 5 može doći do denitrifikacije, koja predstavlja kemijski ili mikrobiološki proces u kojem dolazi do redukcije nitrata do molekularnog dušika, koji se u plinovitom stanju gubi iz tla. Tla u kojima prevladavaju uvjeti poput niskog pH, velike vlažnosti, slabe prozračnosti i slično, proces denitrifikacije je izrazito brz. U uvjetima niskog pH tla dolazi do gubitaka dušika putem kemodenitrifikacije koja prethodi mikrobiološkoj denitrifikaciji kada nastaje nitritna kiselina (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Mineralni oblici dušika (NH_4^+ i NO_3^-) mogu biti imobilizirani od strane mikroorganizama kroz proces dekompozicije organske tvari, kada je sadržaj dušika općenito nizak u tlu. Amonijev ion, koji je pozitivnog naboja, može se vezati na koloide tla, dok se nitratni oblik ispire, jer je jako mobilan u tlu. Onaj dio dušika koji nije imobiliziran, biti će usvojen od strane biljke (Haynes, 1986.).

2.2 DUŠIK U BILJCI

Dušik je od esencijalne važnosti za život biljke te kao takav ulazi u sastav različitih spojeva bitnih za život biljke, a to su bjelančevine, nukleinske kiseline, klorofili, amini, amidi, alkaloidi i dr. Dušik je vjerojatno i najznačajniji element biljne ishrane, jer osim što je bitan za životne procese same biljke isto tako utječe na proizvodnju organske tvari, čime utječe i na povećanje prinosa, pa kažemo da je dušik najprinosotvorniji element (Kastori, 1983.).

Većina biljaka akumulira dušik u tzv. „N pool“ tijekom vegetacije, pa prelaskom u generativnu fazu taj dušik remobiliziraju ovisno o potrebama (Wiren i sur., 1997.).
Bez obzira na gnojidbu dušikom, anorganskog oblika u tlu vrlo je malo pa biljke i mikroorganizmi tla u konstantnoj su kompeticiji za istim (Kaye i Hart, 1997.).

Suha tvar biljaka sadrži u prosjeku između 2 i 5% dušika. Biljka ga usvaja u mineralnom obliku kao NO_3^- (i do 90 % u povoljnim uvjetima kada je proces nitrifikacije moguć) i NH_4^+ ione (Marschner, 1995.). Proces usvajanja nitratnog i amonijevog oblika su aktivni metabolički procesi nasuprot elektrokemijskom gradijentu te se oko 70 % dušika u nitratnom i amonijevom obliku usvaja putem korijena. Ukoliko dođe do snižavanja temperature, tada se zaustavlja disanje korijena i smanjuje se intenzitet usvajanja dušika, čime se dokazuje da je to aktivan način usvajanja. Biljke preferiraju nitratni oblik kod pH<6, dok iznad pH>7 preferiraju amonijski oblik dušika. Također, u području gnojidbe amonijev ion kompetitivno inhibira usvajanje nitrata (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Starenjem organa, koncentracija dušika se smanjuje. Sadržaj dušika ovisi i o vrsti biljke, pa tako leguminoze sadrže više dušika od bilo koje druge biljke. Plod žitarica također ima specifičnu raspodjelu dušika, pa je tako koncentracija dušika najveća u aleuronskom sloju i klici, dok je endosperm znatno siromašniji. Brojni abiotski čimbenici poput pH, temperature, svjetlosti i dr. utječu na koncentraciju dušika u biljci (Kastori, 1983.).

Proces ugradnje dušika u organsku tvar ne započinje odmah. Najprije se nitratni oblik dušik akumulira u pojedinim organima, kao što su peteljka i listovi, a tek nakon redukcije biljka počinje koristiti dušik u procesu sinteze proteine (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Većina biljnih vrsta sposobna je reducirati nitrate i u korijenu i u nadzemnim organima, a u većini slučajeva to ovisi o postojećoj koncentraciji NO_3^-. U pojedinim slučajevima, kada je koncentracija nitrata u određenoj sredini niža, tada se redukcija nitrata u većem udjelu reducira u korijenu, a u nadzemnim dijelovima manje i obrnuto. Ako su biljke dobro opskrbljene nitratima, povećava se redukcija nitrata u zelenim organima (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Proces redukcije nitrata odvija se u dvije faze: u prvoj fazi reducira se NO_3^- do NO_2, a u drugoj NO_2^- do NH_3. Prvu fazu katalizira enzim nitrit reduktaza koja se sintetizira samo onda ako u citoplazmi ima nitrata, a drugu fazu katalizira enzim nitrit reduktaza u kloroplastima.

Tri su enzima potrebna za uključenje amonijaka u biljni metabolizam – dehidrogenaza glutaminske kiseline, sinteza glutaminske kiseline i sinteza glutamina. Dehidrogenaza glutaminske kiseline katalizira reakciju između amonijaka i alfa ketoglutarne kiseline, te se ova reakcija odvija u dvije faze. U prvoj fazi iz alfa ketoglutarne kiseline nastaje alfa imino glutarna kiselina, koja se u drugoj fazi reducira uz pomoć NADPH i prelazi u glutaminsku kiselinu. U navedenom procesu dolazi do reakcije između alfa ketoglutarne kiseline i amonijaka te nakon redukcije, uz pomoć NADPH, nastaje glutaminska kiselina, također akceptor amonijaka. Nadalje, glutamin nastaje reakcijom glutaminske kiseline i amonijaka, uz prisutnost energije ATP-a i magnezija. Glutamin sinteza u kloroplastima predstavlja najznačajniji akceptor amonijaka i zahvaljujući njoj ne dolazi do nakupljanja istog u kloroplastima. Visoke koncentracije amonijaka su otrovne za biljku, stoga je navedeni proces od životne važnosti (Kastori, 1983.).

Brojni su čimbenici koji utječu na količinu aminokiselina u biljkama. Kod nekih vrsta uopće nisu pronađeni tragovi aminokiselina, dok kod drugih dolaze kao slobodne ili vezane. Alanin, glutaminska te asparaginska kiselina su osnovne aminokiseline koje nastaju direktnim spajanjem organske kiseline i amonijaka, dok ostale nastaju prenošenjem amino skupine s jedne aminokiseline na neku ketokiselinu (Kastori, 1983.).

Glutamin i asparagin su najznačajniji amidi, a njihova je uloga važna, jer se smatra kako otklanjaju suvišak amonijaka u biljkama (Kastori, 1983.).

Amini predstavljaju derivate amonijaka, čiji je atom vodika djelomično ili potpuno zamijenjen alkalnim skupinama. Primjerice metil-amin (CH_3NH_2), te neki amini mogu biti sastavni dio koenzima (Kastori, 1983.).

Kako bi se omogućila sinteza bjelančevina potrebna je potrošnja energije iz oko dvadesetak aminokiselina, prisustvo određene količine ugljikohidrata te dušika. Prema značenju u životnim procesima, bjelančevine se dijele na rezervne i konstitucijske. Rezervne su stabilnije, većinom se nalaze u tkivima, odnosno organima u kojima se nakuplja rezervna tvar. Primjerice, kod žitarica najznačajniji su prolamin i glutelin, a kod dikotiledona globulin. Konstitucijske, s druge strane, imaju važnu ulogu u prometu tvari biljke, lako se uključuju u metaboličke procese te lako podliježu promjenama. Najznačajnije su nukleoproteini i lipoproteini. Nadalje, s obzirom na kemijski sastav, dijele se na jednostavne i složene. U jednostavne ubrajamo albumin, globulin, glutein, prolamin,

a u složene lipoproteini, nukleoproteini, fosforoproteini, kromoproteini i glukoproteini (Kastori, 1983.).

Bjelančevine u biljci nisu postojane, nego se konstantno razlažu i stvaraju, a obnavljanje je brže u listu nego u korijenu. Aminokiseline nastale razgradnjom bjelančevina, ponovno se koriste za sintezu novih bjelančevina, a to je izrazito prisutno kod potpuno odraslih biljaka. Nadalje, ponekad mladi dijelovi biljke nisu sposobni sintetizirati aminokiseline te ih dopremaju iz drugih dijelova, na temelju čega možemo zaključiti kako u biljci traje konstantan promet dušika između pojedinih organa i tkiva. Pretjeranom gnojidbom pospješuje se sinteza bjelančevina na račun ulja u biljkama koje nakupljaju ulje ili na račun šećera kod biljaka koje akumuliraju ugljikohidrate (Kastori, 1983.).

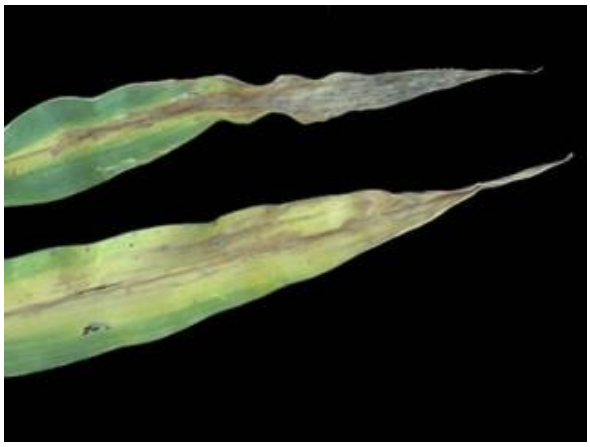
Prema mnogobrojnim istraživanjima, dokazano je kako dušik pozitivno utječe na veličinu lisne površine i njezinu fotosintetsku aktivnost (Jug i sur., 2010.), tj. na intenzitet i produktivnost fotosinteze. Primjerice, pri nedostatku dušika sadržaj klorofila u biljci suncokreta smanjuje se za 37 %, a intenzitet fotosinteze za 41 %. Dušik, također, pozitivno djeluje i na otpornost biljaka prema bolestima i visokim i niskim temperaturama (Kastori, 1983.).

2.3 NEDOSTATAK I SUVIŠAK DUŠIKA

Nedovoljna ishranjenost biljaka dušikom dovodi do smanjenja lisne površine, list poprima blijedozelenu boju zbog smanjenja biosinteze klorofila te se javlja, kao posljedica navedenog, smanjeni intenzitet fotosinteze i sušenje listova (Slika 2.). Nedostatak se primjećuje i na samom porastu biljke, koji je primjetno manji nego kod biljaka optimalno opskrbljenih dušikom, dok je korijen duži, ali slabo razgranat. Primjerice, kod šećerne repe, korijen je mali uz višu koncentraciju saharoze, ali je ukupna količina šećera manja radi znatno nižeg prinosa korijena. Nedostatak dušika može se otkloniti primjenom dušičnih, organskih gnojiva kao i uzgojem leguminoznih biljaka (Kastori, 1983.).

Prema istraživanju Kristeka i sur. (2011.) utjecaj dušične gnojidbe na prinos i kvalitetu korijena šećerne repe rezultiralo je značajno većim prinosom korijena i šećera, kako na kvalitetnijim tlima, tako i na siromašnijim, u vlažnim i sušnim godinama. Ryle i

Hesketh (1969.) su utvrdili kako nedostatak dušika kod kukuruza, pamuka i graha uzrokuje smanjenu asimilaciju ugljika.



Slika 2. Nedostatak dušika (Izvor: http://ishranabilja.com.hr/hraniva/Dusik.html)

Luksuzna ishrana dušikom uzrokuje razvoj veće vegetativne mase i takve biljke su podložnije polijeganju (dolazi do povećanja parenhimskih stanica na račun sklerenhimskih, pri čemu stabljika postaje mekša i podložnija mehaničkim ozljedama, pa tako vjetar i kiša uzrokuju polijeganje biljke). Korijen je kraći i deblji, pa je takvim biljkama smanjena otpornost na sušu (Kastori, 1983.).

Liu i sur. (2014.) u svom istraživanju navode kako povećan unos dušika značajno utječe na akumulaciju nitratnog dušika u lišću salate koji se konzumiraju i kao takvi značajno mogu narušiti ljudsko zdravlje te ukazuju na važnost optimalne gnojidbe dušikom.

3. FOSFOR

U tlu i biljkama dolazi u peterovalentnom obliku. Fosfor pripada skupini nemetala te ima veliki značaj za biljku jer je konstituent makromolekularne strukture nukleinskih kiselina, fosfolipida, enzima i dr. Istraživanjima je do sada utvrđeno kako čak 170 minerala sadrže fosfor (Vukadinović i Vukadinović, 2011., Holford, 1997.).

3.1 FOSFOR U TLU

Fosfor se u tlu nalazi u organskom i mineralnom obliku. Ukupna količina fosfora kreće se u granicama od 0,03-0,20 % od čega većina tala sadrži između 60 do 80 % mineralnog oblika fosfora (Holford, 1997.) i 20 do 40 % organski vezanog fosfora (Richardson, 1994.). Anorganski oblici fosfora obuhvaćaju niz različito topljivih fosfornih spojeva:

- *Vodotopljivi fosfati* su najslabije zastupljena frakcija u tlu čijim porastom koncentracije fosfora, posebice nakon gnojidbe, dolazi do brze transformacije u manje topljive oblike.
- *Fosfor topljiv u kiselinama* dijeli se na fosfor topljiv u slabim te topljiv u jakim kiselinama. Topljivost u slabim kiselinama najčešće se određuje u otopini amonijeva acetatlaktata i tada je riječ o AL- topljivom fosforu čiji je pH 3,75 te razlaže sekundarne kalcijeve i druge fosfate, ali i svježe istaložene tercijarne fosfate. Frakcija koja se otapa u jakim kiselinama vezana je za tercijarne fosfate, apatite, fosforite, željezove fosfate i slično, odnosno fosfor koji se svrstava u teške razložive rezerve tla.
- *Fosfor topljiv u lužnatim otopinama* ostaje u tlu nakon tretmana s kiselinama i djelomično je topljiv u lužnatoj sredini. Primjerice, fosfati željeza i aluminija djelomično se tope u situaciji kada je pH veći od 8, a pritom grade hidrokside u obliku taloga. Hidroksilni se ioni mogu zamijeniti fosfatnim anionima na izmjenjivačkom kompleksu tla.
- *Teško topljivi fosfor*, grupa je spojeva neraspoloživa za biljnu ishranu. Otapanje je moguće izvesti u smjesi HCl i HNO_3 ili fluorovodičnoj kiselini. Fosfor iz ove frakcije najčešće mijenja siliciji u kristalnoj rešetci minerala nakon razgradnje (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Organski fosfor tla akumulira se kao rezultat razgradnje biljnih ostataka, ali i mikrobioloških kemosintetskih procesa u tlu. Ukoliko organska tvar sadrži manje od 0,2 % fosfora u procesu mineralizacije, cjelokupna količina oslobođenog fosfora biti će usvojena od strane mikroorganizama za svoje potrebe. S obzirom na navedeno, biljke ostaju uskraćene za oslobođeni fosfor do ugibanja mikroorganizama te opisanu pojavu nazivamo biološkom imobilizacijom fosfora. Organski fosfor nije direktno pristupačan biljci, ali ima

vrlo važnu ulogu kao potencijalna rezerva fosfora za ishranu biljaka. Organski fosfor postaje pristupačan biljci nakon procesa mineralizacije na koji značajno utječe temperatura, pH tla, vlaga u tlu i sadržaj organske tvari. Prema Džamić i Stevanović (2007.) optimalna temperatura za odvijanje mineralizacije kreće se u intervalu od 25 do 35°C.

Koleracijska veza između ugljika i organske frakcije tla je vidljiva, jer kao i kod dušika, tako i kod fosfora, vrlo je važan omjer ugljika i fosfora u organskoj tvari. Tako će do imobilizacije fosfora doći ukoliko je C/P omjer veći od 300:1, dok će do mobilizacije fosfora doći ukoliko se isti omjer suzi na 200:1 (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Na pristupačnost fosfora ponajviše utječe pH reakcija tla, tj. zasićenost adsorpcijskog kompleksa bazama. U kiselim se tlima pretežito nalaze fosfati seskvioksida, dok se u neutralnim i lužnatim tlima nalaze kalcijevi fosfati, topljiviji od prethodno navedenog oblika. Produktivnost tla je pod značajnim utjecajem raspoloživosti fosfora te je važno konstantno održavati i prilagođavati pH vrijednost tla. Kalcizacija kiselih tala snažnije utječe na povećanje prinosa, čak i više nego gnojidba fosforom na kiselim tlima (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Mikroorganizmi su uključeni u procese koji utječu na transformaciju i pristupačnost fosfora, a njihova biomasa predstavlja potencijalni izvor fosfora koji je imobiliziran u njima (Richardson, 2001.).

3.2 FOSFOR U BILJCI

Biljka za ishranu koristi fosfor u anionskom obliku i to isključivo kao $H_2PO_4^-$ i HPO_4^{2-}, ugrađujući ga u organsku tvar bez redukcije (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Pristupačnost fosfora ovisi o ortofosfatnoj kiselini koja različito disocira ovisno o pH reakciji tla, pa tako porastom pH sve je više HPO_4^{2-} i PO_4^{3-} iona, dok smanjivanjem pH dolazi do smanjenja istih. Koncentracija $H_2PO_4^-$ iona je vrlo mala u vodenoj fazi tla, a nadoknada iz topljivih oblika fosfora je spor proces, pa je samim time biljka često u nedostatku navedenog. Prema Broadley i sur (2004.) koncentracija fosfora u biljkama koje su dobro opskrbljene hranivima, kreće se od 0,4 do 1,5 %, a fosfor je uglavnom sastavni

dio nukleinskih kiselina i nukleotida, fosforiliranih međuprodukata tijekom izmjene tvari i energije, membranskih fosfolipida i dr. Anorganska frakcija fosfora najzastupljenija u mlađim tkivima te reprodukcijskim organima. Potrebe biljaka za fosforom ovise o fazama rasta, pa su tako veće potrebe početkom vegetacije, kada biljka razvija korijenov sustav i kada se odvija prijelaz iz vegetacijske u reprodukcijsku fazu života (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Biljka u normalnim uvjetima vrlo brzo usvaja ione fosfora. Postoji tzv. „dvostruka kinetika“ pri usvajanju iona (sustav I i II), te se smatra kako je pri niskoj koncentraciji fosfata aktivan sustav I koji se nalazi na plazmalemi i predstavlja aktivan proces usvajanja, a pri visokoj sustav II koji se nalazi na tonoplastu te predstavlja pasivan proces usvajanja. Upravo to potvrđuje kako je proces usvajanja fosfata aktivan proces. Kastori (1983.) navodi kako je u brojnim istraživanjima primijećeno da kod određenih biljaka, gdje je izraženija metabolička aktivnost, dolazi do intenzivnijeg usvajanja fosfora.

Na usvajanje fosfora, dakle, utječu brojni čimbenici. Ukoliko korijen intenzivno usvaja ione fosfata te proces defosforilacije protječe optimalno, tada se premještanje fosfora u nadzemne organe odvija normalno. Transport fosfora inhibira se niskim sadržajem kisika u pedosferi. Niska temperatura, herbicidi i fiziološki aktivne tvari imaju veći utjecaj na transport fosfora u biljci, nego na njegovo usvajanje u samu biljku. Spomenuti je transport najintenzivniji u mladom lišću u kojem dolazi retranslokacijom i usvajanjem od korijena. Retranslokacija ovisi i o količini fosfora koji se nalazi u biljci, stoga, ukoliko se u biljci nalazi manja količina navedenog elementa, tada će i retranslokacija fosfora, iz starijih u mlađe organe, biti intenzivnija. Transport se fosfora odvija preko floema u pravcu korijena. Zbog intenzivne je translokacije prihranjivanje biljaka preko lista vrlo zastupljeno u poljoprivrednoj proizvodnji (Kastori, 1983.).

Najveći dio fosfora premješta se u zrno tijekom razvijanja generativnih organa. Prema tome, u fazi fiziološke zrelosti najveći dio fosfora smješten je u samom zrnu. Nadalje, puno je veća koncentracija fosfora u mlađim biljkama i njihovim organima. U biljkama koje sadrže i više nego dovoljno fosfora u njima prevladava neorganska frakcija fosfora, pošto je njegova ugradnja u organske spojeve ograničena, pa se tako suvišan fosfor nakuplja u neorganskom obliku. Na temelju udjela mineralnog i organskog fosfora može se procijeniti razina fosfora u biljci i metabolizam biljke. Povećanje koncentracije neorganske frakcije znak je poremećaja u biljnom metabolizmu. U starijim je listovima veći udio

neorganskog fosfora, dok je u mlađim listovima, tkivima i stanicama velika količina fosfora vezana u organske spojeve, posebice u nukleinske kiseline. Potrebe za fosforom ovise o fazama rasta biljke. U najranijim fazama rasta kao i u fazi stvaranja generativnih organa, vidljiva je najveća potreba za fosforom. Iznošenje fosfora iz tla ovisi o vrsti kulture (primjerice za 100 kg prinosa zrna kukuruza iz tla se iznosi oko 0,5 kg fosfora, dok za pšenicu 0,4, a šećernu repu 0,07 kg fosfora) (Kastori, 1983.).

Fosfor ima značajnu ulogu u brojnim spojevima biljke, tako su procesi poput fotosinteze i glikolize nezamislivi bez estera fosforne kiseline (Kastori, 1983.).

Količina anorganske frakcije fosfora znatno je veća u vegetativnim nego u generativnim organima, a upravo navedena frakcija fosfora predstavlja rezervu fosfata u metabolizmu biljke. Prema Wang i sur. (2006.) nedostatak fosfora utječe na metaboličke procese u samoj biljci te njegov nedostatak smanjuje sintezu nukleinskih kiselina, a povećava se udio nebjelančevinastih dušičnih spojeva na račun bjelančevina u biljci. Nadalje, fosfor ima bitnu ulogu i u prometu ugljikohidrata, jer njegovim nedostatkom dolazi do smanjenja sinteze polisaharida škroba, celuloze i drugih. Intenzitet disanja povećava se u nedostatku fosfora, a kao posljedica toga je nepovoljan prijenos oslobođene energije u biljkama. Pri nedostatku dušika dolazi do polijeganja biljke koja je manje otporna na bolesti te se navedene reakcije mogu ublažiti dodavanjem fosfora (Kastori, 1983.).

3.3 NEDOSTATAK I SUVIŠAK FOSFORA

Fosfor je element od esencijalne važnosti za životne procese u biljkama i pri njegovom nedostatku biljka se ponaša na specifičan način koji se može objasniti kao brza razgradnja i ponovna sinteza fosfornih spojeva. Upravo zbog takvog ponašanja biljka može neko vrijeme živjeti bez vidljivih poremećaja (Kastori, 1983.).

Slab rast biljke prvi je uočljivi simptom nedostatka fosfora, a njega slijede i slabiji razvoj korijenovog sustava, odgođena cvatnja i zrioba te smanjena tvorba proteina, povišeni sadržaj amida i niži sadržaj vitamina (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Prema Sirkar i sur. (2000.) slaba ishranjenost biljaka fosforom dovodi do smanjenog prinosa i kvalitete zrna što je uvjetovano nedovoljnom količinom fosfora u tlu koja je neophodna za usvajanje dušika od strane biljke (Schippers i sur, 2006.).

U fazi dužeg nedostatka fosfora dolazi do povećane sinteze antocijana u listovima, a kao posljedica lišće postaje crvenkasto, crveno-ljubičasto ili tamnoljubičasto (Slika 3.). Fosfor se premješta iz starijih listova u mlađe listove, pa sukladno tome, navedeni nedostaci prvo se uočavaju na starijem lišću. Ishrana fosforom bitna je u početnoj fazi rasta, posebice zbog razvoja korijenovog sustava, pa se pri nedostatku istog, javlja poremećaj rasta korijena, koji je kraći i manje razgranat (Kastori, 1983.).

Iako je pojava suviška fosfora u biljci vrlo rijetka, do nje može doći prekomjernom gnojidbom fosfornim gnojivima. Suvišak fosfora odraziti će se smanjenim rastom biljke i pojavom tamnomrkih pjega, dok u ekstremnim količinama dolazi do otpadanja listova. Fosfor ima važnu ulogu u prijelazu biljke iz vegetativne u generativnu fazu, stoga u njegovoj prekomjernoj količini izaziva se efekt skraćivanja vegetacijskog razdoblja, a ubrzava se pojava faze cvjetanja. Morfološke posljedice uočavaju se tek kada je sadržaj fosfora u biljkama povećan za pet do deset puta. Suvišak fosfora povezan je i s transportom drugih elemenata i to ponajprije željeza, čiji se transport u biljci smanjuje pri suvišku fosfora te dolazi do pojave interkostalne (međužilne) kloroze. Slična se pojava događa i sa cinkom, bakrom, borom i manganom (Kastori, 1983.).



Slika 3. Nedostatak fosfora kod kukuruza u ranom porastu
(Izvor: http://www.greenersideoflife.com/uncategorized/diagnosing-and-treating-phosphorus-deficiency/)

4. SUMPOR

Važnost sumpora u poljoprivrednoj proizvodnji poznata je duže od stoljeća. Stalnim korištenjem koncentriranih dušičnih i fosfornih gnojiva koja ne sadrže sumpor, kao i smanjenje korištenja pesticida koji sadrže sumpor, iznošenje sumpora usjevima te ispiranje istog iz tla, doveli su do smanjenja količine sumpora u tlu. Stoga je, u suvremenoj održivoj poljoprivredi, važno osigurati adekvatnu količinu sumpora potrebnu biljci, kao i poznavati količinu sumpora koja se transformira u tlu te procese mikrobiološke imobilizacije sumpora, mineralizacije, oksidacije i redukcije (Lucheta i Lambais, 2012.).

U prirodi je vrlo rasprostranjen element, a potječe iz matičnih stijena, najviše u sulfidnom obliku te se tijekom njihovog raspadanja oslobađa, a nakon toga vrlo brzo i oksidira. U prirodi postoje sumporne bakterije koje su zadužene za navedenu oksidaciju sumpora, a najznačajnije su *Thiobacillus thixidans, Beggiatoa, Thiotrix* i druge. Tijekom oksidacije sulfida do H_2SO_4 oslobađa se energija koju mikroorganizmi koriste u procesu kemosinteze za asimilaciju ugljikova (IV) oksida. Nadalje, ukoliko je CO_2 odsutan, oslobođenu energiju mikroorganizmi akumuliraju u obliku ATP-a. (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

4.1.SUMPOR U TLU

U tlu se sumpor nalazi u organskom i anorganskom obliku. Od ukupne količine sumpora u tlu (0,01-0,25 %) 80-90 % sumpora je u organskom obliku, a 10-20 % u mineralnom. Mineralni oblik sumpora predstavljen je sumporom u mineralima, sumporom u lako topivim i teško topivim solima, adsorbirani sumpor i sumpor u vodenoj otopini tla. Sumpor u mineralima nije direktno pristupačan biljkama već su potrebne određene transformacije za prelazak u pristupačni oblik. Biljci pristupačan sumpor je frakcija sumpora koja se nalazi u vodenoj otopini tla.

Prema Kersteszu i Mirleau (2004.) količina sumpora u tlu ovisi o ravnoteži između imobiliziranog topljivog sumpora i mineralizacije organske frakcije sumpora. Vlaga, pH reakcija tla, prisutnost biljnog pokrova, način poljoprivredne proizvodnje te naročito mikrobiološka aktivnost i raznolikost su čimbenici koji utječu na imobilizaciju i

mineralizaciju sumpora u organskoj tvari. U dobro prozračenim tlima, organska tvar s C/S omjerom širim od >400 izaziva imobilizaciju SO_4^{2-} koji je pristupačan biljci, dok organski ostaci podliježu mineralizaciji ukoliko je C:S < 200. Ukoliko su temperature niže od 10°C, mineralizacija dušika je smanjena, kao i kod temperatura iznad 40°C. Optimalni uvjeti za mineralizaciju sumpora su vlaga tla 60 % poljskog vodnog kapaciteta, pH 6 do 7 i temperatura oko 30°C (Lucheta i Lambais, 2012.).

Sumpor se u prirodi nalazi u različitim oksidacijskim stanjima između -2 i +6, gdje je HS^- najreduciraniji oblik, dok je sulfat SO_4^{2-} najviše oksidirani oblik sumpora. Sumporovodik H_2S je najstabilniji oblik sumpora. Anorganska frakcija sumpora zastupljena je u tlu s tek 5 % od ukupne količine sumpora, a izvori su mineralizacija organskog sumpora, kisele kiše, pesticidi i mineralna gnojiva. Anorganska frakcija sumpora u tlu gubi se vezanjem sulfata na adsorpcijski kompleks, erozijom, iznošenjem usjeva i dr. (Lucheta i Lambais, 2012.).

Sulfatni anion vrlo je pokretljiv u tlu, stoga podliježe ispiranju iz tla. Na područjima s velikom količinom oborina ispire se i preko 100 kg/S/ha godišnje. Sumpor se gubi i volatizacijom u redukcijskim uvjetima u obliku H_2S. Suvišak u tlu nije poželjan jer dovodi do zakiseljavanja tla i na taj način dolazi do izumiranja šuma (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Mikrobiološka aktivnost i raznolikost u tlu od izuzetne je važnosti za navedeni element. Prema Winogradsykom (1887.) bakterija *Beggiatoa* sposobna je koristiti H_2S kao izvor energije kako bi mogla fiksirati atmosferski CO_2. U tlu omjer ugljika, dušika i sumpora približno je 125:10:1,2, dok se odnos između fosfora i sumpora konstantno mijenja, ovisno o dubini profila s promjenom sadržaja organske tvari (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

4.2.SUMPOR U BILJCI

Sumpor se ubraja u skupinu neophodnih konstitucijskih elemenata (Kastori, 1983.). Usvaja se pretežito u anionskom obliku kao SO_4^{2-}. Prije nego se ugradi u organsku tvar, odvija se redukcija sumpora. Osim sulfatnog oblika, sumpor se lako usvaja i iz atmosfere u obliku SO_2 (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Iako biljke preferiraju usvajanje sulfatnog

oblika putem korijena, također se i lišćem mogu apsorbirati manje količine SO_2. Koncentracija sumpora u biljci varira između 0,1 i 0,5 % (Lucheta i Lambais, 2012.).

Rezultati brojnih istraživanja pokazuju kako se sumpor intenzivno premješta u akropetalnom pravcu, dok je premještanje u bazipetalnom puno sporije. Sumpor usvojen putem lista je pronađen u nadzemnom dijelu i u korijenu, ali u puno manjoj količini, čime se dokazuje kako je sumpor pokretljiv u oba smjera, ali sporije u bazipetalnom smjeru. Reutilizacija sumpora je spora, stoga, u situacijama kada dolazi do nedostatka sumpora, prve promjene će se vidjeti na mlađim listovima (Kastori, 1983.).

Organska je frakcija sumpora, u reduciranom obliku, više zastupljena u mladim biljnim dijelovima, dok se u starijim pretežito nalazi oksidirani oblik. Dijelovi biljke koje sadrže dovoljne količine sumpora bogate su i proteinima (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Uloga sumpora u metabolizmu biljaka je višestruka: konstitucijska (ulazi u sastav bjelančevina, lipida i dr.), katalitička (aktivni je centar nekih enzima, sastavni dio koenzima i dr.), sudjeluje u održavanju ravnoteže oksido-redukcijskih procesa u stanici, inicijator je diobe stanica, povezan je s lancem prijenosa elektrona i drugo. (Kastori, 1983.).

Sumpor ima važnu ulogu u biosintezi metionina i cisteina. Važnost cisteina nije samo kao konstituent proteina, već je i esencijalan zbog svog doprinosa u katalizi brojnih enzimatskih reakcija. Također je važan i za sintezu vitamina, biološku fiksaciju dušika i dr. (Lucheta i Lambais, 2012.). Jedna od najvažnijih uloga sumpora u strukturi proteina je osiguravanje disulfidne veze između polipeptidnih lanaca, jer upravo navedena veza stabilizira polipeptidnu strukturu i daje svoj doprinos konformaciji proteina enzima (Kastori, 1983.). Sumpor sudjeluje u građi enzima (ureaze, proteaze i dr.), sadrže ga vitamini kao što su biotin i tiamin, kao i različiti antibiotici te je sastavni dio sekundarnih biljnih tvari, primjerice, glukozida. Sudjeluje u održavanju ionske ravnoteže u protoplazmi te se smatra kako sumpor ima ulogu i u otpornosti biljaka prema suši i niskim temperaturama (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Na temelju različitih istraživanja uočena je povezanost amonijevih i sulfatnih iona. Upravo sumpor ima značajnu ulogu u održavanju ravnoteže sume aniona i kationa te je pri ishrani biljaka amonijevih soli zabilježeno znatno povećanje usvajanja sumpora. Važnu ulogu ima i u otpornosti na sušu, jer se smatra kako SO_4^{2-} i HPO_4^{2-} imaju značajnu ulogu u održavanju optimalnog stanja

hidratacije koloida protoplazme. Prema brojnim istraživanjima deficit sumpora utječe na smanjivanje koncentracije klorofila što uvjetuje smanjenu fotosintezu. Otpornost prema niskim temperaturama objašnjena je na način da se disulfidna veza može stvarati i na niskim temperaturama te veže bjelančevine koje se nalaze s obje strane lipidnog sloja membrane. Kada dolazi do kaljenja, SH grupa povećava otpornost prema oksidaciji i samim time povećava se otpornost na niske temperature. Prema navedenom, ukoliko dolazi do gubitaka SH grupe, biljke ugibaju (Kastori, 1983.).

4.3.NEDOSTATAK I SUVIŠAK SUMPORA

Simptomi nedostatka sumpora vrlo su slični simptomima nedostatka dušika, stoga ih je teško razlikovati. Nedostatak sumpora prvo se javlja na najmlađim listovima, dok najstariji listovi obično ne odumiru. Primjećuje se sporiji rast biljke, a listovi dobivaju žuto-zelenu boju te kasnije nastupa kloroza lista (Slika 4.). Stablo biljke je kraće, tanje i niže u fazama nedostatka sumpora, dok su listovi deblji, kraći i uži (Kastori, 1983.).



Slika 4. Promjena boje lišća biljaka kao posljedica nedostatka sumpora (Izvor: http://ishranabilja.com.hr/hraniva/Sumpor.html)

Suvišak se može pojaviti u atmosferi i tlu. Prekomjerna količina sumpora za posljedicu ima klorozu listova koji su manji, s tamnim pjegama i ranijim sazrijevanjem plodova. Sve se češće podiže svijest vezana za okoliš i zagađenje SO_2, ali osjetljivost na

sumporov dioksid ovisi o pojedinim vrstama. Na biljkama kod kojih je zabilježen porast koncentracije sumporovog dioksida primijećen je smanjeni intenzitet fotosinteze i transpiracije, kao i nakupljanje suhe tvari (Kastori, 1983.).

5. KALIJ

Kalij je sedmi najzastupljeniji element u zemljinoj kori. Liebig (1841.) je prvi prepoznao esencijalnu važnost kalija za rast biljaka. Kalijev klorid (KCl) najvažniji je izvor kalija za biljnu ishranu i smatra se jednim od najvažniji biljnih hraniva (Kafkafi i sur., 2001.). Rasprostranjen je u prirodi, pripada skupini alkalnih metala, a u biljkama i tlu se nalazi u obliku jednovalentnog kationa s redukcijskim svojstvima. Ne ulazi u sastav organske tvari, ali je, istovremeno, od neizmjerne važnost za biljku jer ima ulogu specifičnog aktivatora enzima te služi kao i elektrolit jer zbog visoke koncentracije u protoplazmi snažno utječe na hidratiziranost protoplazme. Kalij ima vrlo važnu ulogu u fotosintezi, floemskom transportu asimilata, metabolizmu dušika, otpornosti biljaka na sušu, mraz, salinitet i patogene (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

5.1.KALIJ U TLU

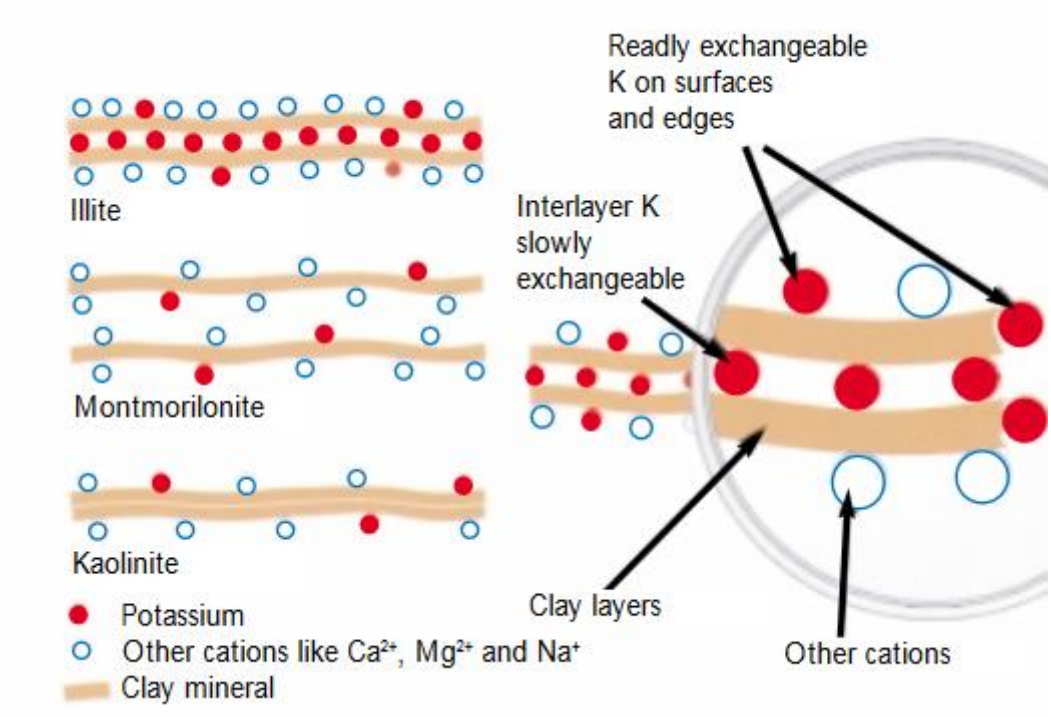
Sadržaj kalija u tlima je vrlo promjenjiv i kreće se u intervalu od 0,5-2,5 %, a potječe iz primarnih minerala liskuna, feldspata i drugih čijim raspadanjem se oslobađa kalij koji se, većim dijelom, odmah veže za adsorpcijski kompleks. Zbog navedenog je razloga pokretljivost kalija u tlu niska te je opasnost od ispiranja zanemariva, osim na pjeskovitim i lakšim tlima (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Mobilnost kalija povezana je sa sadržajem i sastavom gline koja se nalazi u tlu. Kalijevi ioni, koji se nalaze na rubovima minerala gline i na vanjskom rubu međuslojeva, mogu biti zamijenjeni relativno lako s drugim kationima (ekvivalentnom supstitucijom), čime kalij prelazi u otopini tla i postaje pristupačan za biljku (Johnston, 2003.).

S druge strane, kalij se može fiksirati u minerale gline čak i trajno (Slika 5.). Najveću fiksaciju kalija pokazuje vermikulit, dok sposobnost fiksacije uopće nemaju kaoliniti,

kloriti i glimeri, malu imaju montmoriloniti, a promjenjivu iliti (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Kalij se u tlu može podijeliti u četiri skupine: kalij topljiv u vodi koji je direktno pristupačan za biljku i mikroorganizme, za biljku relativno pristupačan izmjenjivi kalij koji se može izmjenjivati s površine minerala gline, neizmjenjivi kalij te strukturne forme kalija koje se smatraju teže pristupačnim ili čak apsolutno nedostupnim za biljnu ishranu (Zorb i sur., 2014.).

Kalij se najčešće izmjenjuje s viševalentnim kationima, od kojih su najznačajniji kalcij i magneziji. Također se vrlo lako zamjenjuje i s amonijevim kationom zbog sličnog promjera i naboja. Fiksacija je kalija jača u oraničnom sloju, a viši sadržaj kalija uočen je kod teških, glinastih tala. Kalij se u humusu nalazi u koncentraciji od 0,1%, stoga je za biljnu ishranu isključivo odgovoran kalij koji se nalazi na adsorpcijskom kompleksu (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Čimbenici koji utječu na fiksaciju kalija u tlu su: vrsta glinenih minerala, vlažnost, kompeticijski ioni, pH reakcija tla, ali i konstantno vlaženje i sušenje tla. Proces fiksacije kalija je jako brz, dok je proces otpuštanja istog kalija dosta spor zbog snažnog vezivanja između kalija i minerala gline (Zorb i sur., 2014.).



Slika 5. Kalij i minerali gline (Izvor: Johnston, A.E., 2003.)

Pojedini mikroorganizmi u tlu poput *Psedomonas spp., Burkholderia spp., Bacillus mucilaginosus* i dr. sposobni su osloboditi kalij vezan za minerale gline izlučivanjem organskih kiselina (Zorb i sur., 2014.). Iskoristivost neizmjenjivog kalija ovisi o različitim vrstama biljaka. Primjerice, šećerna repa je učinkovitija u mobiliziranju kalija nego pšenica i ječam. Prema istraživanjima, šećerna repa usvaja 3 do 6 puta više kalija po jedinici dužine korijena nego pšenica i ječam (Zorb i sur., 2014.).

5.2.KALIJ U BILJCI

Kalij, kao esencijalni element biljne ishrane, ima važnu fiziološku ulogu. Njegova uloga može se podijeliti u dvije osnovne funkcije: aktivacija enzima i regulacija permeabilnosti živih membrana. Kalij sudjeluje u radu enzima na način da aktivira ili modulira rad čak 40-ak enzima, a to svojstvo objašnjeno je malom veličinom atoma, mogućnošću promijene konformacije proteina te oslobođenjem aktivnih mjesta na enzimima (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Koncentracija kalija u usjevima značajno varira u rasponu od 0,4 – 4,3 % (Zorb i sur, 2014.) što ovisi o vrsti usjeva, godini, lokaciji i gnojidbi. Prema Öborn i sur (2005.) koncentracija kalija u usjevima je često u ispod 2.5- 3.5 % što predstavlja veliki problem jer je za mnoge usjeve kritična koncentracija kalija između 0.5-2 % u suhoj tvari. Biljke koje su dobro opskrbljene kalijem tijekom rasta bolje će se nositi sa stresom izazvanim vanjskim utjecajima (Zorb i sur., 2014.). Dovoljna opskrbljenost biljaka kalijem dovodi do smanjene potrošnje vode za sintezu suhe tvari, dok nedostatak kalija dovodi do bržeg gubljenja turgora i manje otpornosti na sušu (Jug i sur, 2008.)

Biljke kalij usvajaju u obliku kationa iz otopine tla ili s adsorpcijskog kompleksa. Sa stajališta biljne ishrane jako važan je antagonizam između kalija i drugih iona, kao što su amonijev ion, natrij, magnezij, kalcij i bor u hranjivoj sredini. Ukoliko je povećana prisutnost kalija, to će za posljedicu imati manje nakupljanje kalcija i obrnuto, a takva pojava zove se Ehrenbergov „kalcij - kalij“ zakon. Također se uviđa i povezanost amonijevog iona i kalija, jer pri istom pH vrijednosti tla biljka će usvajati manje kalija, ukoliko je prisutan NH_4^+ ion. Biljke intenzivno usvajaju kalij. Smatra se kako biljke jedino dušik intenzivnije usvajaju nego kalij. Nadalje, biljka također usvaja kalij preko lista, te

folijarna gnojidba kalijem može biti uspješna, jer je pokretljivost kalija u biljci dobra u oba smjera i akropetalno i bazipetalno. Na usvajanje kalija utječu različiti čimbenici kao što su temperatura, pH reakcija, koncentracija kisika, starost biljke i slično. Prema tome, mlađe biljke će intenzivnije usvajati kalij nego starije zbog različitih potreba za kalijem u određenim fazama svog razvoja (Kastori, 1983.).

Kalij je element koji sudjeluje u osmoregulaciji i održavanju turgora stanice. Veće koncentracije kalija u stanici stvaraju uvjete u kojima se voda kreće u stanici putem osmoze kroz pore na membrani stanice. Fotosinteza je proces u kojem biljke koriste energiju Sunca za stvaranje ugljikohidrata. Nastali šećer sadrži ugljik koji je porijeklom od CO_2 koji se nalazi u zraku, a biljka ga usvaja putem lišća kroz puči. Kalij utječe na regulaciju mehanizma rada puči te otvaranjem puči usvaja se ugljikov (IV) oksid kroz list. Međutim, većina vode usvojena na taj način gubi se evapotranspiracijom kroz puči, pa u slučaju nedostatka vode, biljka mora zatvoriti puči kako bi konzervirala vodu. Otvaranje i zatvaranje puči regulirano je od strane kalcija koji je koncentriran u stanicama zapornicama. Veće koncentracije kalija u stanicama uzrokuju otvaranje puči, a kada je koncentracija kalija u stanicama zapornicama niska, puči se zatvaraju (Johnston, 2003.). Abscisinska kiselina (ABA) signalizira zatvaranje puči u nedostatku vode. Suprotan efekt imaju ioni kalija i kalcija te malat čijim ulaskom u stanice zapornice dolazi do otvaranja puči (Vukadinović i sur, 2014.).

Pri nedostatku kalija zabilježena je povećana kiselost u biljnim stanicama, pošto je kalijeva uloga neutralizacija organskih kiselina koje nastaju u metabolizmu biljke. Kalij utječe na transformacije svjetlosne u kemijsku energiju, kao i na procese u kojima se stvara ATP. Navedeno se može objasniti kada biljka nije dovoljno opskrbljena kalijem, smanjuje se reakcijska brzina enzima koji sudjeluju u procesu sinteze, a povećava se aktivnost onih enzima koji sudjeluju u razlaganju složenih organskih spojeva u niže molekularne. Nadalje, kalij utječe i na metabolizam dušičnih spojeva, jer je za sintezu enzima nitrat reduktaze potreban kalij. Također je vrlo bitan i za sintezu proteina, jer pri nedostatku kalija dolazi do nakupljanja niskomolekularnih dušičnih spojeva, najprije aminokiselina, a ukoliko je prisutan nedostatak kalija kroz duže vremensko razdoblje, dolazi do nakupljanja amina koji mijenjaju pH stanice i djeluju toksično. Kalij povoljno djeluje na otpornost biljaka na sušu, bolesti i patogene (Vukadinović i sur, 2014.).

Zanimljivo je spomenuti da natrij može djelomično zamijeniti kalij u njegovim fiziološkim funkcijama, ali samo na nespecifičan način (Vukadinović i Vukadinović, 2011). Navedena zamjena najuspješnija je kod porodice *Chenopodiaceae*, odnosno vrste ove porodice najbolje reagiraju na prisutnost natrija. Zbog sličnosti kalija i natrija u fizikalno-kemijskim svojstvima, pretpostavlja se da natrij može zamijeniti kalij u nekim životnim procesima koji nisu specifični za taj ion, primjerice regulaciji osmotskog tlaka u stanici i slično. Natrij donekle može zamijeniti ulogu kalija u otvaranju puči. Prema nekim istraživanjima, kod dodavanja natrija šećernoj repi koja je bila u nedostatku kalija, dogodilo se povećanje fotosinteze za 20 % u usporedbi sa šećernom repom kojoj je nedostajao kalij (Kastori, 1983.).

5.3.NEDOSTATAK I SUVIŠAK KALIJA

Ponekad biljka sadrži i do 5 % kalija u suhoj tvari, prema tome zahtjevi biljke za kalijem gotovo su jednaki kao i za dušikom. Kalij se još naziva i elementom mladosti, jer je većinom više zastupljen u mlađim biljkama. Nedostatak kalija održava se na cjelokupan rast i razvoj biljaka, jer ulazi u sve važne funkcije u metabolizmu. Zbog svoje visoke pokretljivosti premješta se iz starijih u mlađe dijelove, stoga je u nedostatku rast biljaka usporen (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Simptomi nedostatak kalija prvo se zapažaju na mlađem lišću, koje je manje veličine, ali normalne ili čak tamnije boje (vjerojatno zbog neometane sinteze kloroplastnih pigmenata uz reducirani rast). Kod starijeg lišća vršak lista posmeđi (rubna nekroza) i dolazi do savijanja lišća prema dolje (Slika 6.).



Slika 6. Rubna nekroza i savijanje lišća kao posljedica nedostatka kalija kod kukuruza (Izvor: http://www.strikepointpioneer.com/potassium-required-in-forage-crop-programs/)

Stabljika je tanja, samim time i slabije otporna na polijeganje, a internodiji su kraći. Korijen biljke u nedostatku kalija je kraći, manje razgranat te se broj i veličina korijenovih dlačica smanjuje pa kao takav lako podložan za napad parazita (Kastori, 1983.).

U slučaju nedostatka kalija biljke brzo venu, zbog čega su neotporne na visoke temperature i nedostatak vlage. U uvjetima deficita kalija biljka ima sniženi turgor i djeluje uvenulo. Nedostatak kalija obično se zapaža na lakim, pjeskovitim tlima i "teškim" tlima koji imaju veliku sposobnost fiksacije kalija (Kastori, 1983.).

Suvišak se u prirodi rijetko javlja i to u slučajevima primjene prekomjerne količine gnojidbe kalijem, te eventualno kod zaslanjenih tala. Ukoliko dođe do suviška kalija, biljka ima poteškoće s usvajanjem istog, ali i sa usvajanjem kalcija, mangana, bora i cinka. (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

6. KALCIJ

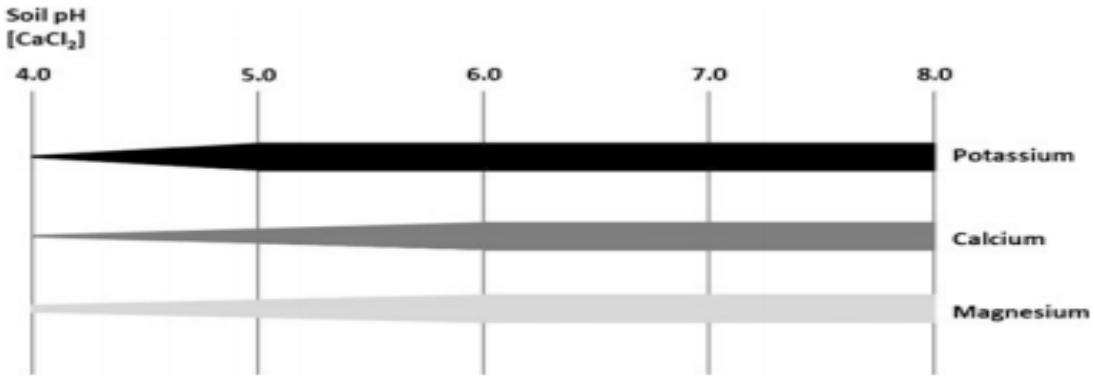
Kalcij pripada skupini zemnoalkalijskih metala sa sposobnošću izgradnje kompleksnih spojeva. Primarni minerali silicija i sekundarni minerali kalcija, kao što su dolomit ($CaCO_3$ x $MgCO_3$), kalcit ($CaCO_3$) i gips ($CaSO_4xH_2O$) te različiti kalcijevi fosfati predstavljaju glavne izvore kalcija u tlu te se njihovom razgradnjom oslobađa kalcij

koji gradi nove sekundarne minerale ili je u tlu pretežito izmjenjivo sorbiran (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Fiziološka uloga kalcija ogleda se u procesu fotosinteze, disanja, zaštite biljke od toksičnog djelovanja suviška pojedinih elemenata, smanjenju hidratiziranosti protoplazme itd.

6.1.KALCIJ U TLU

Kalcij je, najčešće, u tlima zastupljen s oko 0.2 do 2.0 %, a primjerice karbonatna tla sadrže i preko 10 % kalcija u anorganskoj frakciji. U tlu se pojavljuje kao dvovalentni kation Ca^{2+} te je većinom zastupljen na adsorpcijskom kompleksu, dok je u vodenoj fazi svega 1-5 % izmjenjive količine kalcija (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Karbonatna tla su izuzetno bogata kalcijevim karbonatom ($CaCO_3$) te njegova prisutnost izravno ili neizravno utječe na raspoloživost fosfora, dušika, magnezija, kalija, mangana bakra, cinka i željeza. Pri pH 7-8 odvija se brza nitrifikacija amonijskog oblika u nitratni oblik. Zbog ispiranja nitrata, pri navedenom procesu, nastaju problemi u ishrani dušikom, ali se također, dušik može gubiti i putem volatizacije (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).



Slika 7. Shema biljci pristupačnih mineralnih hraniva u ovisnosti o pH tla (Izvor: Gransee, A. i Führs, H., 2013.)

U kiselim je tlima pH tla nizak, javlja se nedostatak kalcija i baza općenito (Slika 7.), a agrotehničkom mjerom kalcizacije doprinosi se povišenju pH tla. Kalcij ima

nezamjenjivu ulogu u održavanju pH tla, time utječe na raspoloživost drugih elemenata, ponajprije bora, željeza, bakra, cinka i mangana (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Prema Lončariću i sur. (2007.) kalcizacijom kiselog lesiviranog tla karbokalkom, već nakon 7 mjeseci, dolazi do očekivanog povećanja pH reakcije tla i povećanja pristupačnosti fosfora. Spomenuto dokazuje koncentracija fosfora u kupusu i povećana pristupačnost AL-pristupačnog fosfora u tlu.

Do izravne toksičnost H^+ dolazi u ekstremno kiselim tlima pri pH<4, dok je česta toksičnost iona Al^{3+} i Mn^{2+} kod tala s pH<5. Kod pH >4,2 toksičnost H^+ je indirektna i to putem aktivacije teških metala. Kisela tla naročito loš utjecaj imaju na nodulaciju leguminoza bakterijama iz roda Rhizobium i Bradyrhizobium. Za određivanje količine materijala za kalcizaciju postoje brojne metode, ali vrlo je pouzdana metoda izračuna pomoću hidrolitičke kiselosti. Najčešći materijali za kalcizaciju su: mljeveni kalcijev karbonat, lapor, dolomit, saturacijski mulj iz šećerana te drugi otpadni materijali koji sadrže kalcij. Kalcizaciji treba pristupiti mudro i oprezno, jer dovodi do drastičnih promjena u tlu, pritom najviše utječe na raspoloživost hraniva, posebice fosfora i mikroelemenata (izuzev molibdena) (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Kalcij utječe povoljno na procese amonifikacije, nitrifikacije, biološke fiksacije dušika i oksidacije sumpora, jer navedeni element ima vrlo važan utjecaj u održavanju strukture tla i zajedno s humusnim tvarima omogućuje vezanje čestica tla u strukturne agregate. Navedenim se poboljšava vodnozračni režim tla i oksido-redukcijski procesi, kao i biogenost tla (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

6.2.KALCIJ U BILJCI

Koncentracija kalcija u biljkama prosječno iznosi 0,1-0,5 %. Biljke ga usvajaju kao dvovalentni kation Ca^{2+}. Kalcij se pretežito usvaja aktivnom zonom korijena, ali smatra se kako je usvajanje kalcija meristemskim stanicama pasivan proces, a starijim, vakuoliziranim stanicama, aktivan (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Kalcij je prisutan u brojnim staničnim organelima kao što su mitohondriji, kloroplasti, ribosomi i drugi. (Kastori, 1983.).

Biljke usvajaju kalcij iz otopine tla i transportiraju ga ksilemom. Može prolaziti kroz citoplazmu stanica povezanu plazmodezmom, što se naziva put po simplastu, ili kroz prostor između stanica, što se naziva putem po apoplastu. Put po apoplastu i simplastu, odnosno njihov doprinos u transportu kalcija do ksilema, zasad je nepoznat, ali sudjeluju u transportu kalcija, omogućuju stanicama korijena usvajanje Ca^{2+} te kontrolu količine ulaska kalcija do ksilema i sprječavanje nakupljanja toksičnih kationa u nadzemnom dijelu biljke kroz navedene puteve (White i Broadley, 2003.).

Afinitet korijena biljaka prema kalciju je manji u odnosu na druge elemente. Primjerice, koncentracija kalija u otopini tla je osam do deset puna manja od kalcija, a biljka unatoč tome usvaja u većoj količini kalij nego kalcij (Kastori, 1983.). Pokretljivost kalcija u biljci je osrednja. Kalcij je pokretljiv bazipetalno, a akropetalno vrlo slabo. Zbog slabe pokretljivosti kalcija unutar biljke, novoformirani organi opskrbljuju se kalcijem isključivo iz otopine tla. Reutilizacija kalcija iz starijih u mlađe novoformirane organe moguća je samo iz stabljike i korijena, dok je kalcij u starijim listovima nepokretljiv te se time objašnjava nakupljanje istoga u starijim listovima (Kastori, 1983.).

Kalcijeva uloga u stanici biljaka od izuzetne je važnosti. Ulazi u sastav kalcij-pektinata koji se nalazi u staničnoj stijenci i na taj način ima značajnu ulogu u održavanju strukture same stanice. Kalcij ima veliki utjecaj i u regulaciji permeabilnosti stanične membrane, jer je dokazano kako se, u nedostatku kalcija, permeabilnost membrane povećava, različite tvari i ioni lakše ulaze u stanicu te cijeli proces dovodi do negativnih posljedica. Pri nedostatku kalcija, prvi vidljivi simptomi zahvaćaju stanice parenhimskog tkiva, jer pektinaza izlazi iz stanice i razlaže se središnja lamela. Na taj način postepeno dolazi do autolize stanice i tkivo poprima tamnu boju. Također, kalcij utječe i na fotosintezu. Njegovim nedostatkom dolazi do narušavanja lamelarnog sustava kloroplasta, koji za posljedicu ima smanjenje fotosinteze. S druge strane, kalcij nema utjecaja na cikličnu i necikličnu fosforilaciju izoliranih kloroplasta, usvajanje CO_2, cikličnu i necikličnu sintezu ATP u izoliranim kloroplastima, kao niti na disanje u mraku. Gubitkom kalcija u listovima dolazi do povećanja koncentracije natrija, ali se javlja i poremećaj u diobi stanica. Njegova je uloga vrlo mala u aktivaciji enzima, jer aktivira samo mali broj enzima i to nespecifično.

Kalcij je značajan i u neutralizaciji suvišne kiselosti staničnog sadržaja, posebice vakuola, jer u biljkama djeluje kao Ca- fosfatni pufer sustav. Kalcij je faktor sinteze

oksalocetne kiseline, koja lako veže K, Na, N, B, P i Ca, pa je samim time kalcij bitan faktor za opskrbljenost biljaka navedenim elementima (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). S oksalnom kiselinom kalcij stvara teško topljive soli koje se nakupljaju u posebnim stanicama ili se talože na staničnoj stijenci. Kalcij ima ulogu i u očuvanju semipermeabilnosti stanične membrane, pa uslijed antagonističkih odnosa s nekim drugim ionima, poput kalija i magnezija, može izazvati fiziološki nedostatak nekog iona, ali češće štiti samu biljku od pretjeranog nakupljanja nekih iona, koji u većoj koncentraciji mogu negativno, pa čak i toksično, djelovati na biljku (Kastori, 1983.).

Fiziološku ulogu kalcija, kod njegovog deficita, može djelomice preuzeti stroncij koji mu je kemijski vrlo sličan (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Kalcij i stroncij imaju vrlo slične fizičko-kemijske osobine, stoga je njihova zamjena moguća. Međutim, nisu sve kulture pokazale jednaku uspješnost pri zamjeni navedenih elemenata. Primjerice, kod kukuruza, krastavca i suncokreta takva zamjena bila je uspješna, dok je grašak lošije reagirao od prethodno navedenih kultura. Povezanost navedena dva elementa uvidjela se i u intenzitetu usvajanja od strane biljke. Pri nedostatku kalcija, biljka je usvajala više stroncija i obrnuto. Prema Kastoriju (1983.) stroncij ne može u potpunosti zamijeniti kalcij, a koliko će zamjena biti uspješna ovisit će o biljnoj vrsti.

6.3.NEDOSTATAK I SUVIŠAK KALCIJA

Deficit kalcija prvo se zapaža na mlađem lišću, sporiji je razvoj korijenovog sustava kao i same biljke. Pri dužem nedostatku kalcija dolazi do pojave nekroze mlađeg lišća koje se često uvija te polijeganja biljke (slabljenje staničnih stijenki). Nadalje, voće i povrće u nedostatku kalcija pokazuju nižu koncentraciju kalcija u plodu nego u lišću. Ova razlika u sadržaju kalcija povezana je s mehanizmom transporta kalcija unutar biljke. Lišće se opskrbljuje potrebnim kalcijem koji dolazi putem ksilema. Kada dođe do lista, kalcij ima tendenciju zadržavanja na istom mjestu i akumulacije (Simon, 1977.). Pokretljivost je kalcija putem floema vrlo loša te se ne može mobilizirati iz starijih organa (White i Broadley, 2003.).

Tla koja sadrže nižu količinu kalcija, imaju i nisku pH vrijednost što za posljedice ima povećanje pristupačnosti mekih metala poput Al, Zn, Mn, Cr, Ni i drugih koji mogu

toksično djelovati na biljku. S druge strane, neki elementi, koji su biljci potrebni, u kiseloj sredini prelaze u teško pristupačne (Kastori, 1983.).



Slika 8. Pojava gorkih jamica na plodovima jabuke kao posljedica nedostatka kalcija (Izvor: http://ishranabilja.com.hr/hraniva/Kalcij.html)

Nedostatak kalcija prvo će se uočiti na mlađem lišću u vidu kloroze i nekroze, a zatim će istu posljedicu doživjeti i starije lišće. Nekroza obuhvaća cijeli list, počevši od vrha i ruba lista. Boja lista se mijenja, jer dolazi do nakupljanja antocijanina. Kao što je ranije navedeno, kalcij utječe na turgor biljke, pa se smanjenjem turgora lišće počinje uvijati. Posljedica je nedostatka kalcija polijeganje stabljike te kraći razvoj korijena. Nadalje, reducira se broj reproduktivnih organa, često otpadaju cvjetovi te dolazi do slabije reprodukcije polena. Pojava gorkih jamica „bitter pit“ (Slika 8.) kod jabuka dolazi uslijed nedostatka kalcija. Smatra se kako do pojave „bitter pit“ dolazi zbog nepovoljne distribucije kalcija u drvenastim biljkama, jer se kalciji intenzivno nakuplja u listovima mlađih izdanaka, dok samo mali dio dođe do ploda (Kastori, 1983.).

Suvišak kalcija zasad nije dovoljno istražen, ali smatra se kako pri suvišku istog dolazi do slabijeg usvajanja svih biogenih elemenata (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Suvišak kalcija dovodi do slabijeg usvajanja, primjerice, B, Mn, Fe, Cu i Zn, pa uslijed toga, dolazi do kloroze, a posebice su na to osjetljive voćke (Kastori, 1983.).

7. MAGNEZIJ

Magnezij je u litosferi zastupljen sa 2,1 % te pripada skupini zemnoalkalijskih metala. Od kompleksnih spojeva koje magnezij gradi, najvažniji je klorofil. Magnezij ima značajnu ulogu u metabolizmu ugljikohidrata, proteina i masti, aktivira veliki broj enzima te s drugim kationima utječe na koloide protoplazme, zbog čega je od neizmjerne važnosti za ishranu bilja (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

7.1.MAGNEZIJ U TLU

Magnezij potječe iz primarnih minerala kao što su silikati i bazični minerali te iz sekundarnih, dolomita i magnezita. Njihovim raspadanjem dolazi do oslobađanja iona magnezija Mg^{2+} te kao takav ponovo gradi sekundarne minerale ili se veže na adsorpcijski kompleks tla. Magnezij je u tlu zastupljen sa 0,1-1 %, dok je u karbonatnim tlima koncentracija magnezija puno veća (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Izuzev silikata, karbonati kao što su magnezit i dolomit, ali i kalcit, izvor su magnezija. Veći sadržaj magnezija zabilježen je na glinovitim tlima. Magnezij se veže u međuslojeve silikata pa takav magnezij nije mobilan. Mobilnim postaje tek kada prođe dugotrajan i vrlo spor procese trošenja (Gransee i Fuhrs, 2013.). Izmjenjivi oblik magnezija zauzima do 20 % adsorpcijskog kompleksa tla ili 20-400 ppm, a povoljan je sadržaj između 5-15 % KIK-a. U vodenoj je fazi vrlo mala količina Mg^{2+} (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Izvori magnezija u tlu su i sekundarni mineralni gline zajedno s organskom tvari tla koji predstavljaju aktivnu frakciju tla. Upravo te čestice gline imaju svojstva koloida i negativne su po naboju pa mogu adsorbirati katione, kao i organska tvar.

U usporedbi s drugim kationima poput kalija, kalcija i amonijevog iona, magnezij je mobilniji u tlu. To se svojstvo, odnosno ponašanje u tlu, može opisati kao njegovo unikatno kemijsko svojstvo. Iako je ionski radijus magnezija manji od kalcija, kalija ili natrija, njegov je hidratizirani radijus uvelike veći. Jedna od posljedica slabijeg vezanja magnezija za koloide tla je što dovodi do, u usporedbi s drugim kationom, veće koncentracije magnezija u otopini tla. Ovo se negativno održava na mobilnost magnezija u tlu i biljnu ishranu magnezijem. Mobilnost magnezija za posljedicu ima ispiranje značajne količine istog iz tla. Prema različitim istraživanjima, većina magnezija ispire se u jesen i

zimu kada je pozitivna vodna bilanca. Rezultati raznih istraživanja zabilježila su velike oscilacije u ispiranju magnezija, a ona se mogu objasniti količinom padalina, kiselom pH reakcijom (prisutnošću vodikovih iona), koncentracijom kalcija, koncentracijom bikarbonata i KIK-om, ovisno o prisutnosti gline i organske tvari (Gransee i Fuhrs, 2013.).

7.2.MAGNEZIJ U BILJCI

Koncentracija magnezija u biljkama prosječno iznosi 0,1-1,0 % u ST, a u dobro opskrbljenim biljkama 0,15-0,35 % u ST (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Osim što je, kao sastavni dio klorofila, od neizmjerne važnosti za biljku, magnezij je važan i za promet energije, funkciju ribosoma, promet rezervnih tvari i drugo (Kastori, 1983.).

Kako bi se što bolje shvatilo usvajanje magnezija od strane različitih usjeva, važno je spomenuti antagonizam K - Mg. Zanimljiv fenomen kod kojeg dolazi do kompeticije kationa za usvajanjem, vrlo je česta pojava u tlima gdje hraniva nisu izbalansirana. U tlima dobro opskrbljenim pristupačnim kalcijem, kalijem i manganom, došlo je do smanjenog usvajanja magnezija (Gransee i Fuhrs, 2013.). Primjerice, biljka kukuruza usvajala je manje magnezija kada je u otopini tla bila veća koncentracija kalija. S druge strane, utvrđeno je, primjerice kod soje, kako u nedostatku kalija, biljka više usvaja magnezij. Nadalje, utvrđen je antagonizam između magnezija i mangana, a zahvaljujući tome, ponekad se može spriječiti toksično djelovanje mangana na način da se biljci dodaje određena količina magnezija. Kada se objašnjava mehanizam usvajanja iona, važno je napomenuti kako se usvajaju putem prenositelja. Kalcij, bariji i stroncij imaju zajedničkog, dok magnezij ima drugog prenositelja (Kastori, 1983.).

Pokretljivost magnezija povezuje se s kalcijem, pošto se uviđa dosta sličnosti između navedenih elemenata. Magnezij se, kao i kalcij, nakuplja u starijim listovima i u akropetalnom pravcu premješta pretežno transpiracijskim tokom. Ipak, za razliku od kalcija, magnezij se relativno dobro kreće i kroz floem. Time se objašnjava veća koncentracija magnezija nego kalcija u plodovima. U nedostatku magnezija, isti se element premješta iz korijena u mlađe organe. Zbog mogućnosti retranslokacije magnezija iz starijih u mlađe dijelove, nedostatak se prvo uviđa na starijim listovima (Kastori, 1983.).

Jug (2008.) u svojim istraživanjima na istoku Hrvatske navodi značajan utjecaj vlažnosti tla i gnojidbe na koncentraciju magnezija u suhoj tvari izdanaka kukuruza. Koncentracija magnezija bila je 83 % veća u sušnim uvjetima u odnosu na izdanke kukuruza uzgajane u vlažnim uvjetima, a gnojidbeni tretman kalijevim sulfatom uzrokovao je nižu koncentraciju magnezija u odnosu na ostale tretmane gnojidbe upravo zbog antagonističkog odnosa kalija i magnezija.

Od ukupne količine magnezija u biljci, čak 50 % je slobodno, stoga je ion Mg^{2+} vrlo značajan elektrolit protoplazme, dok je 15 % ugrađeno u klorofil. Žitarice, posebno riža i pšenica, najbolje reagiraju na magnezij (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Magnezij sadrži visok afinitet prema pirofosfatnoj strukturi ATP-a i ADP-a te sposobnost da između nje i enzima, odnosno, supustrata, stvara helatnu veza. Utječe na gotovo sve procese fosforilacije stanice u kojima se energija prenosi, npr. glikolizu, Krebsov ciklus, fotosintetičku fosforilaciju, redukciju suflata i dr. U nekim slučajevima Mn^{2+}, Zn^{2+}, Co^{2+} ili Ca^{2+} mogu preuzeti ulogu magnezija, no efikasnost je manja. Kako bi se maksimalno odvijala produkcija organske tvari biljaka, opskrbljenost magnezijem mora biti dovoljna, jer ima višestruku ulogu u procesima fotosinteze (Kastori, 1983.).

Magnezij utječe na nakupljanje ugljikohidrata, pa pri određenim uvjetima može povećati sadržaj škroba, primjerice, kod krumpira i šećerne repe, ili nakupljanje ugljikohidrata u zrnu. Također utječe i na metabolizam dušika, jer u nedostatku magnezija dolazi do povećane koncentracije nebjelančevinastih dušičnih spojeva na račun bjelančevina. Magnezij ima utjecaj i na makrostrukuturu ribosoma. Nedostatkom magnezija dolazi do disocijacije ribosoma na manje podjedinice, pa se tako ribosom 80 S raspada na 60 i 40 S podjedinice, a ribosomi 70 S na 50 i 30 S podjedinice. Dodavanjem magnezija podjedinicima omogućava se ponovo spajanje i nastajanje ribosoma. Neposredno utječe i na vodni režim biljaka, jer zajedno s kationima utječe na bubrenje koloida protoplazme. Prema različitim istraživanjima, biljke su pokazale manji sadržaj slobodne vode i veći udio vezane vode te je intenzitet transpiracije bio veći kod biljaka koje su pokazivale nedostatak magnezija (Kastori, 1983.).

7.3.NEDOSTATAK I SUVIŠAK MAGNEZIJA

Nedostatak magnezija se uočava prvo na starijem lišću u vidu interkostalne kloroze (Slika 9.) (zbog razgradnje kloroplastnih pigmenata čiji je magnezij sastavni dio). Kloroza je svijetlozeleno obojenje međužilnog prostora s izraženom zelenom nervaturom. Kod jačeg nedostatka list prvo poprima narančastu boju, zatim crvenu, pa purpurnu, a nakon toga dijelovi lista prelaze u nekrotične površine, dok su lisne žile i dalje zelene. Žita su, primjerice, u fazi vlatanja jako osjetljiva na slabu opskrbljenost magnezijem, jer u navedenoj fazi imaju najveću koncentraciju kloroplastnih pigmenata.

Deficit magnezija se odražava na sintezu klorofila, intenzitet fotosinteze i sintezu proteina. Pri nedostatku magnezija dolazi do nakupljanja saharoze u listovima biljaka, jer spomenuti nedostatak djeluje inhibirajuće na transport saharoze putem floema (Cakmak i Yazici, 2010.).

Nitratni ion pospješuje usvajanje magnezija, dok kalcizacija negativno utječe na opskrbljenost biljke magnezijem. Kisela tla obično sadrže dosta Mn^{2+} koji inhibitorno djeluje na usvajanje magnezija, pa su biljke na takvim tlima slabo opskrbljene magnezijem. (Kastori, 1983.).



Slika 9. Simptom nedostatka magnezija na vinovoj lozi
(Izvor: http://www.omafra.gov.on.ca/IPM/english/grapes/plant-nutrition/magnesium.html)

Suvišak magnezija dovodi do smanjenja koncentracije kalcija i kalija u biljci pa su simptomi jednaki nedostatcima ranije navedenih elemenata. Kod monokotiledona lišće se

uvija, ne razvija se potpuno i ostaje u rukavcu, nakon nekog vremena odumire i otpada (Kastori, 1983.).

8. ZAKLJUČAK

Uloga i značaj makroelemenata u tlu i biljci od iznimnog su značaja za postizanje visokih, stabilnih prinosa i proizvoda visoke kvalitete. Biljke za svoj rast i razvoj koriste Sunčevu energiju pretvarajući je u kemijsku procesom fotosinteze pri čemu osim organogenih (C, H i O) zahtijevaju i više mineralnih elemenata. Elemente biljne ishrane koji su biljci neophodni za rast i razvoj svrstavamo u klasu neophodnih (esencijalnih) elemenata, a ukoliko ih biljka zahtjeva više od 0,1 % tada govorimo o makroelementima. Poznavanje izvora makroelemenata u tlu kao supstratu biljne proizvodnje, oblicima u kojima se nalaze u tlu kao i njihovoj bioraspoloživosti, od presudne je važnosti za biljnu proizvodnju. Svaki makroelement ima svoju posebnu fiziološku ulogu u kojoj je vrlo teško zamjenjiv nekim od drugih elemenata. Poznavanje fiziološke uloge pojedinih elemenata, reakciju biljke na njegov nedostatak odnosno suvišak omogućava racionalnije provođenje gnojidbe kao jedne od najvažnijih agrotehničkih mjera sa ciljem postizanja maksimalnih prinosa uz očuvanje okoliša i tla kao uvjetno obnovljivog resursa.

9. LITERATURA

1. Broadley, M. R., Bowen, H. C.., Cotterill, H. L, Hammond, J. P.. Meacham, M. C., Mead, A., White. P.J. (2004.): Phylogenetic variation in the shoot mineral concentration of angiosperms. Journal of Experimental Botany 55:321–336.
2. Cakmak, I., Yazici, A.M. (2010.): Magnesium: A Forgotten Element in Crop Production. Better Crops, 94(2): 23-25.
3. Gransee, A., Führs, H. (2013.): Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. Plant and Soil, 386: 5-21.
4. Džamić, R., Stevanović, D. (2007.): Agrohemija. Partenon, Beograd.
5. Harmsen, G.W., Kolenbrander, G.J. (1965.): Soil inorganic nitrogen. U: Bartholomew, W.V, Clark F.E. (ur.) Soil nitrogen. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc, 43-92.
6. Haynes, R. (1986.): Mineral nitrogen in the plant- soil system. Academic Press, New York.
7. Holford, I.C.R. (1997.): Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. Aust J Soil Res, 35:227–239.
8. Johnston, A.E. (2003.): Understanding potassium and its use in agriculutre. EFMA, 1-40.
9. Jug, I., Jug, D., Vukadinović, V., Stipešević, B., Vukadinović, V. (2008.): The influence of the temperature and hybrid on accumulation of dry matter and N, P, K content in maize seedlings in controlled conditions. Cereal Research Communications, 36, 2 (S5); 931-934.
10. Jug, I. (2008.): Uzroci kloroze kukuruza na černozemu istočne Hrvatske / doktorska disertacija. Osijek: Poljoprivredni fakultet Osijek, 17.07. 2008, 121.
11. Jug, I., Jug, D., Đurđević, B., Horvat, T., Habada, V., Brozović, B. (2010.): Effect of nitrogen fertilization under reduced soil tillage on chloroplast pigments concentration in leaves of winter wheat. 1st International Scientific Conference-CROSTRO, Soil tillage-Open approach, Osijek, 09-11 September 2010. 72-78.
12. Jug I. – prezentacije predavanja za studente. Elementi biljne ishrane http://ishranabilja.com.hr/literatura/tloznanstvo/Elementi.pdf pristup: 23.09.2016.

13. Kafkafi, U., Xu, G., Imas, P., Magen, H., Tarchitzky, J. (2001.): Potassium and chloride in crops and soils: The role of potassium chloride fertilizer in crop nutrition. International Potash Institute, Basel.
14. Kastori, R. (1983): *Uloga elemenata u ishrani biljaka*. Matica srpska, Novi Sad.
15. Kaye, J.P., Hart, S.C. (1997.): Competition for nitrogen between plants and soil microorganisms. Tree, 12: 139-143.
16. Kristek, A., Kristek, S., Antunović, M., Varga, I., Katušić, J., Besek, Z. (2011.): Utjecaj tipa tla i gnojidbe dušikom na prinos i kvalitetu korijena šećerne repe. Poljoprivreda, 17: 16-22.
17. Liebig, J. (1841.): The organic chemistry and its application on agriculture and physiology. Verlga, Viehweg, Braunschweig.
18. Lončarić, Z., Rastija, D., Karlić, K., Popović, B., Đurđević, B., Engler, M. (2007.): Mineralna gnojidba fosforom i kalcizacija: II. Promjene kemijskih osobina tla. Zbornik radova, 42. hrvatski i 2. međunarodni simpozij agronoma. Zagreb, 76-80.
19. Liu CW, Sung Y, Chen BC, Lai HY (2014.): Effect of nitrogen fertilizers on the growth and nitrate content of Lettuce (Lactuca sativa L.). Int J Environ Res Public Health, 11: 4427–4440.
20. Lucheta, A.R., Lambis, M.R. (2012.): Sulfur in agriculture. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 36: 1369-1379.
21. Marschner, H. (1995.): Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. Academic Press, London.
22. Öborn, I., Andrist-Rangel, Y., Askekaard, M., Grant, C.A., Watson, C.A., Edwards, A.C. (2005.): Critical aspects of potassium management in agricultural systems. Soil Use Manage, 21:102–112.
23. Pevalek-Kozlina, B. (2003.): Fiziologija bilja. Profil. Zagreb
24. Randall, G.W., Delgado, J.A., Schepers, J.S. (2008.): Nitrogen management to protect water resources, in J.S. Schepers, W.R. Raun, R.F. Follett, R.H. Fox, and G.W. Randall (eds.), Nitrogen in Agricultural Systems. Agronomy Monograph 49, Soil Science Society of America, pp. 911-946
25. Randall, G.W., Goss, M.J., Fausey. N.R. (2010.): Nitrogen and Drainage Management To Reduce Nitrate Losses to Subsurface Drainage, in J.A. Delgado, and R.F. Follett (eds.), Advances in Nitrogen Management for Water Quality, Soil and Water Conservation Society

26. Richardson, A.E. (2001.): Prospects for using soil microorganism to improve the acquistion of phosphorus by plants. Funct Plant Biol, 28: 897-906.
27. Richardson, A.E. (1994.): Soil microorganisms and phosphorus availability. Soil Biota, 50–62
28. Ryle, G.J.A., Hesketh, J.D. (1969.): Carbon dioxide uptake in nitrogen- deficient plants. Acsess, 9: 451-454.
29. Simon, E.W. (1977.): The symptoms of calcium deficiency in plants. The New Phytologist, 80: 1-15.
30. Sirkar, R.K., Shit, D., Maitra, S. (2000.): Competition functions, productivity and economics of chickpea based intercropping system. Ind. J. Agron., 45, 681-686.
31. Schippers, P., Weerd, H.V.D.,. Klein, J.D., Jong, B.D. (2006.): Scheffer. Impacts of agricultural phosphorous use in catchments on shallow lake water quality: Abouts buffers, time delays and equilibria. Sci. Total Environ. 369, 280-294.
32. Stevenson, F.J. (1965.): Origin and distribution of nitrogen in soil. U: Soil nitrogen. Amer. Soc. Agron., Madison, WI, 1-42.
33. Turner, R.E., Rabalais, N.N. (2003.): Linking Landscape and Water Quality in the Mississippi River Basin for 200 Years, Vol. 53 No. 6, BioScience 563-57.
34. Vukadinović, V., Jug, I., Đurđević, B. (2014.): Ekofiziologija bilja. NSS, Osijek.
35. Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2011.): Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet, Osijek.
36. Wang, X., K. Yi, Y. Tao, F. Wang, Z. Wu, D. Jiang, X. Chen, L., Zhu P. Wu (2006.): Cytokinin represses phosphate-starvation response through increasing of intracellular phosphate level. Plant Cell Environ., 29, 1-6.
37. White, P.J., Broadley, M.R. (2003.): Calcium in Plants. Annals of Botany, 92: 487-511.
38. Winogradsky, S. (1887.): Über schwefelbacterien. Bot. Zeitung, 45: 489-610.
39. Wiren von N, Gazzarrini, S., Frommer, W.B. (1997.): Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. Plant and Soil, 196: 191-199.
40. Zorb, C., Senbayram, M., Peiter, E. (2014.): Potassium in agriculture- status and perspectives. J Plant Physiol, 171: 656-669.
41. http://www.strikepointpioneer.com/potassium-required-in-forage-crop-programs/ pristup: 22.09.2016.
42. http://ishranabilja.com.hr/hraniva/Dusik.html pristup: 23.09.2016.
43. http://ishranabilja.com.hr/hraniva/Sumpor.html pristup:23.09.2016.

44. http://ishranabilja.com.hr/hraniva/Kalcij.html pristup: 23.09.2016.
45. http://www.greenersideoflife.com/uncategorized/diagnosing-and-treating-phosphorus-deficiency/ pristup: 25.09.2016
46. http://www.omafra.gov.on.ca/IPM/english/grapes/plant-nutrition/magnesium.html pristup: 24.09.2016.

10. SAŽETAK

Razvoj poljoprivrednih znanosti od iznimnog je značaja za poljoprivrednu proizvodnju i cjelokupno stanovništvo Svijeta. Povećanjem broja stanovnika sukladno se povećava i potražnja za hranom, zbog čega se ulažu veliki napori u području poljoprivrednih znanosti. Cilj ovog rada bio je ukazati na značaj makroelemenata u biljci i tlu kao supstratu uzgoja bilja. Od potrebnih 17 elemenata za normalan rast i razvoj biljke, 9 elemenata (ugljik, kisik, vodik, dušik, sumpor, kalcij, kalij, magnezij i fosfor) pripada skupini makroelemenata, jer su biljci potrebni u većoj količini (>0,1%). Nedostatak ili suficit navedenih elemenata uzrokuje značajne promjene u metabolizmu biljke ali i svojstvima tla, jer svaki od njih ima određenu fiziološku ulogu u biljci i utječe na fizikalna, biološka i kemijska svojstva tla. Poznavanjem utjecaja makroelemenata na tlo i biljku moguće je racionalnije koristiti gnojidbu s ciljem ostvarivanja maksimalnih prinosa u poljoprivrednoj proizvodnji.

Ključne riječi: makroelementi, tlo, biljka

11. SUMMARY

The development of agricultural science is of utmost importance to agricultural production and the entire population of the world. As the number of inhabitants increased along with the demand for food, significant efforts have been made in the field of agricultural science. The aim of this study was to highlight the importance of macroelements in the plants and the soil as substrate for plant cultivation. From 17 elements necessary for normal growth and development of plants, 9 elements (carbon, oxygen, hydrogen, nitrogen, sulfur, calcium, potassium, magnesium and phosphorus) belong to the group of macroelements, because the plan requires them in large quantity (> 0.1 %). The lack or surplus of those elements causes significant changes in the metabolism of the plants as well as in the soil properties, because each of them has a specific physiological role in plants and affects the physical, biological and chemical properties of the soil. Knowing the impact of macroelements to the ground and plants, it is possible to rationally use the fertilization in order to achieve maximum yield in agricultural production.

Keywords: macroelements, soil, plants

12. POPIS SLIKA

Slika 1. Ciklus kruženja dušika u prirodi 2

Slika 2. Nedostatak dušika 8

Slika 3. Nedostatak fosfora kod kukuruza u ranom porastu 13

Slika 4. Promjena boje lišća biljaka kao posljedica nedostatka sumpora 17

Slika 5. Kalij i minerali gline 19

Slika 6. Rubna nekroza i savijanje lišća kao posljedica nedostatka kalija kod kukuruza 22

Slika 7. Shema biljci pristupačnih mineralnih hraniva u ovisnosti o pH tla 24

Slika 8. Pojava gorkih jamica na plodovima jabuke kao posljedica nedostatka kalcija 27

Slika 9. Simptom nedostatka magnezija na vinovoj lozi 32

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Poljoprivredni fakultet u Osijeku
Završni rad

MAKROELEMENTI U TLU I BILJCI
MACROELEMENTS IN SOIL AND PLANTS
Luka Vavetić

Sažetak

Razvoj poljoprivrednih znanosti od iznimnog je značaja za poljoprivrednu proizvodnju i cjelokupno stanovništvo Svijeta. Povećanjem broja stanovnika sukladno se povećava i potražnja za hranom, zbog čega se ulažu veliki napori u području poljoprivrednih znanosti. Cilj ovog rada bio je ukazati na značaj makroelemenata u biljci i tlu kao supstratu uzgoja bilja. Od potrebnih 17 elemenata za normalan rast i razvoj biljke, 9 elemenata (ugljik, kisik, vodik, dušik, sumpor, kalcij, kalij, magnezij i fosfor) pripada skupini makroelemenata, jer su biljci potrebni u većoj količini (>0,1%). Nedostatak ili suficit navedenih elemenata uzrokuje značajne promjene u metabolizmu biljke ali i svojstvima tla, jer svaki od njih ima određenu fiziološku ulogu u biljci i utječe na fizikalna, biološka i kemijska svojstva tla. Poznavanjem utjecaja makroelemenata na tlo i biljku moguće je racionalnije koristiti gnojidbu s ciljem ostvarivanja maksimalnih prinosa u poljoprivrednoj proizvodnji.
Ključne riječi: makroelementi, tlo, biljka

Summary

The development of agricultural science is of utmost importance to agricultural production and the entire population of the world. As the number of inhabitants increased along with the demand for food, significant efforts have been made in the field of agricultural science. The aim of this study was to highlight the importance of macroelements in the plants and the soil as substrate for plant cultivation. From 17 elements necessary for normal growth and development of plants, 9 elements (carbon, oxygen, hydrogen, nitrogen, sulfur, calcium, potassium, magnesium and phosphorus) belong to the group of macroelements, because the plan requires them in large quantity (> 0.1 %). The lack or surplus of those elements causes significant changes in the metabolism of the plants as well as in the soil properties, because each of them has a specific physiological role in plants and affects the physical, biological and chemical properties of the soil. Knowing the impact of macroelements to the ground and plants, it is possible to rationally use the fertilization in order to achieve maximum yield in agricultural production.
Key words: macroelements, soil, plants

Datum obrane: