

Važnost i uloga kalcija u ishrani bilja

Suhanek, Boris

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:817293>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-22**



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](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Boris Suhanek

Sveučilišni prijediplomski studij poljoprivreda

Modul Bilinogojstvo

Važnost i uloga kalcija u ishrani bilja

Završni rad

Osijek, 2024.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Boris Suhanek

Sveučilišni prijediplomski studij

Modul Bilinogojstvo

Važnost i uloga kalcija u ishrani bilja

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu završnog rada:

1. Prof. dr.sc. Boris Đurđević, mentor
2. Prof. dr. sc. Irena Jug, član
3. Prof. dr. sc. Brigita Popović, član

Osijek, 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Sveučilišni prijediplomski studij Poljoprivreda, modul Bilinogjostvo
Boris Suhanek

Završni rad

Važnost i uloga kalcija u ishrani bilja

Sažetak:

Kalcij je najrasprostranjeniji zemnoalkalijski metal u zemljinoj kori. Kalcij igra veliku ulogu održavanju strukture i teksture tla te pomaže u održavanju pH-vrijednosti tla. U kiselim tlima i vlažnim klimama dolazi do njegovog ispiranja te deficita kalcija u tlu, nasuprot kad ga je previše u tlu blokira skoro sve ostale elemente. Kalcij je jedan od makroelemenata u ishrani bilja, ima važnu ulogu za rast i razvoj biljke te tako sudjeluje u staničnim i enzimatskim aktivnostima. Deficitom kalcija u biljci dolazi do pada kvalitete, stabilnosti i visine prinosa. Kalcizacija je jedna od agrotehničkih mjera za popravak tala, koristi se na kiselim tlima, a osim neutraliziranja kiselosti tla poboljšava i strukturalna svojstva tla. Osim kalcija za kalcizaciju mogu se koristiti i materijali s udjelom magnezija u svojoj strukturi. Mora se održavati zdravo tlo ne samo zbog proizvodnje hrane nego da se može održati ekosustav i agroekosustav.

Ključne riječi: kalcij, tlo, biljka, održivost tla, kalcizacija, antagonizam, deficit.

21 stranica, 6 slika, 32 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
Undergraduate University Study Agriculture, course Plant production

BSc Thesis

Importance and role of calcium in plant nutrition.

Summary:

Calcium is the most abundant alkaline earth metal in the earth's crust. Calcium plays a major role in maintaining soil structure and texture and helps maintain soil pH. In acidic soils and humid climates, it is washed away and there is a deficit of calcium in the soil, on the contrary, when there is too much of it in the soil, it blocks almost all other elements. Calcium is one of the macroelements in the nutrition of plants, it plays an important role in the growth and development of the plant and thus participates in cellular and enzymatic activities. Deficiency of calcium in the plant leads to a decrease in quality, stability and yield. Calcification is one of the agrotechnological measures for soil repair, it is used on acidic soils, and in addition to neutralizing the acidity of the soil, it also improves the structural properties of the soil. In addition to calcium, materials with magnesium in their structure can also be used for calcification. Healthy soil must be maintained not only for food production but also to maintain the ecosystem and agro-ecosystem.

Keywords: calcium, soil, plant, soil sustainability, calcification, antagonism, deficit.

21 pages, 6 figures, 32 references

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. KALCIJ U TLU.....	2
2.1. Antagonizam kalcija prema drugim elementima ishrane bilja u tlu.....	3
2.1.1. <i>Utjecaj kalcija na raspoloživost dušika</i>	4
2.1.2. <i>Utjecaj kalcija na raspoloživost fosfora</i>	4
2.1.3. <i>Utjecaj kalcija na raspoloživi kalija, magnezija i sumpora</i>	5
2.1.4. <i>Utjecaj kalcija na raspoloživi mikroelemenata</i>	6
2.2. Ispiranje kalcija u tlu	6
3. KALCIJ U BILJCI	8
3.1. Nedostatak kalcija u biljci	10
3.1.1. <i>Nedostatak kalcija u jabuci</i>	10
3.1.2. <i>Nedostatak kalcija u rajčici</i>	11
3.1.3. <i>Nedostatak kalcija u šećernoj repi</i>	12
3.2. Suvišak kalcija u biljci.....	13
4. KALCIZACIJA	14
4.1. Materijali za kalcizaciju i gnojidbu kalcijem	14
4.1.1. <i>Karbonatni izvori</i>	15
4.1.2. <i>Okisni izvori</i>	16
4.1.3. <i>Sulfatni izvori</i>	16
4.2. Izračunavanje potrebe za kalcizacijom.....	16
5. ZAKLJUČAK.....	18
6. POPIS LITERATURE.....	19

1. UVOD

Kalcij je peti najčešći element u Zemljinoj kori zastupljen u količini od 3,54 %. Najrasprostanjeniji je zemnoalkalni metal i esencijalan je mineral za život. Njegova uloga u ljudskom i biljnom svijetu je neprocjenjiva. Neophodan je element za rast i razvoj biljaka. Ima ulogu u većini fizioloških procesa kao što su rast i čvrstoća stanica, regulacija enzimskih procesa, slanje signala unutar biljnih tkiva, utjecaj na stabilnost i propustljivost membrana. Omogućuje čvršću strukturu stanica biljnih tkiva, čime ih štiti od napada patogena i mehaničkih oštećenja. Osim strukture, kalcij regulira osmozu i transport vode u biljnoj stanici, što je bitno za održavanje turgora biljke te ima ulogu sekundarnog senzora u stanici (Marschner, 2012.). Raspoloživost kalcija u biljci ovisi o pH-vrijednosti tla i o prisutnosti iona unutar strukturnih agregata tla. Vukadinović i Vukadinović (2011.) navode da se kalcij gubi iz kiselih tala kad je količina oborina veća od 600-700 mm god⁻¹. Deficit kalcija u tlu događa se zbog ispiranja iz oraničnog u dublje slojeve tla te istiskivanja kalcija s adsorpcijskog kompleksa kiselotvornim ionima kao što su nitrati, kloridi i sulfidi. Tla s visokim udjelom magnezija, kalija i natrija mogu smanjiti dostupnost kalcija antagonističnim djelovanjem iona koji usporavaju ili onemogućavaju usvajanje kalcija preko korijena. Nedostatak kalcija može uzrokovati otežan rast i razvoj biljke. Simptomi deficita zapažaju se na lišću u obliku nekroza i kloroza, smanjenog rasta korijena i deformacije meristemskog vrha, dok suficit kalcija u biljci može uzrokovati probleme s usvajanjem svih ostalih biogenih elemenata. Najpoznatiji simptom deficita kalcija u biljci primjetan kod plodonosnog povrća poznat je kao vršna trulež (White i Broadley, 2012.). U nepovoljnim uvjetima za adsorpciju kalcija potrebno je provoditi niz agrotehničkih mjera. Kalcizacija je jedna od starih praksi za poboljšanje strukture tla kojom se povećava pH-vrijednost prema neutralnoj vrijednosti s ciljem bolje pristupačnosti ostalih biogenih elemenata (Fageria, 2013.). Cilj ovog završnog rada je razumjeti važnost i ulogu kalcija u ishrani bilja kao bitnog faktora za postizanje visokih i stabilnih prinosa usjeva.

2. KALCIJ U TLU

Prisutnost kalcija u tlu može se pratiti do primarnih minerala silicija i sekundarnih minerala kalcija, uključujući kalcit (CaCO_3), dolomit ($\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$) gips ($\text{CaSO}_3 \times 2\text{H}_2\text{O}$) i razne kalcijeve fosfate. Pri razgradnji ovi minerali oslobađaju kalcij koji se prvenstveno nalazi u tlu u izmjenjivom sorbiranom obliku ili se koristi za stvaranje sekundarnih minerala. Rezerve kalcija u anorganskom obliku kreću se od 0,2 % do 2,0 %, dok karbonatna tla često imaju rezerve koje prelaze 10% (White i Broadley, 2003.). Što se tiče organske rezerve kalcija u tlu, ona je općenito od malog značaja kada se radi o opskrbi biljaka hranjivim tvarima. Tipično, većina dostupnog kalcija u tlu postoji u izmjenjivom obliku, s prosječnom koncentracijom u rasponu od 400 do 4000 ppm. Kao rezultat, Ca^{2+} ima tendenciju dominirati adsorpcijskim kompleksom, čineći preko 80 % njegovog sastava (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Vodena faza tla obično sadrži širok raspon elemenata i spojeva. Koncentracija kalcija u tlu obično se kreće 1-5% izmjenjive količine između 20 i 150 ppm. Uočeno je da, kada vodena faza sadrži koncentraciju kalcija ispod 1 mekv dm^{-3} , dolazi do smanjenja prinosa usjeva. Kalcij je nezamjenjiv kada je riječ o ulozi koju igra u održavanju pH tla pod kontrolom, jer njegovo djelovanje neizravno utječe na dostupnost svih ostalih elemenata (Marschner, 2012.). Struktura tla primarno je podržana kalcijem koji omogućuje da se čestice međusobno vežu tvoreći agregate. Ima neizravnu, ali veliku ulogu u vodno-zračnom režimu tla i oksidacijsko-redukcijskim procesima. Štoviše, kalcij znatno poboljšava biogenost tla obzirom da potiče amonifikaciju, nitrifikaciju, biološku fiksaciju dušika (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Karbonatna tla imaju bogatu koncentraciju kalcijevog karbonata (CaCO_3) u gornjem sloju, a pH između 7,5 i 8,5 posljedica je puferskog učinka hidrogenkarbonata. Obično se javljaju u područjima koja imaju polusuhu ili vlažnu klimu, iako mogu nastati i na karbonatima u drugim klimatskim regijama. Na tipovima tala koja sadrže visoke koncentracije karbonata često dolazi do poremećaja ishrane biljaka, što se očituje razvojem različitih vrsta kloroza i usporavanjem rasta biljaka. Uzrok je nedostupnost, prvenstveno elemenata u tragovima, kao i izravna toksičnost hidrogenkarbonatnog aniona (HCO_3^+). Prisutnost CaCO_3 izravno ili neizravno utječe na dostupnost dušika, fosfora, magnezija, kalija, mangana, cinka i bakra (Rowley i sur., 2020.). Kisela tla imaju mnogo manje kalcija te se često na takvim tlima preporučuje gnojidba kalcijem u vidu kalcizacije. Kalcizacija je agrotehnička mjera koja se koristi pri primjeni vapnenih materijala za neutralizaciju kiselosti tla. Međutim, treba napomenuti da, ako je unošenje materijala za kalcifikaciju veće od potrebnog, to može dovesti do niza ozbiljnih problema. Na primjer,

povećanje oksidacijskih procesa može rezultirati smanjenjem organske tvari u tlu te dostupnosti fosfora i svih mikroelemenata, čime se dugoročno smanjuje plodnost. Štoviše, višak kalcija unesen u tlo ne može se ukloniti praktički ni pod kojim uvjetima, što ga čini apsolutno neisplativim. Gubitak nastaje zbog ispiranja iz kiselog tla ili padalina koje prelaze 600-700 mm godišnje. U tim uvjetima ispiranje je u prosjeku 80-100 kg Ca ha⁻¹ godišnje⁻¹, a ponekad i mnogo više, posebno u blizini industrijskih područja s kiselim kišama, gdje može dosegnuti nekoliko stotina kilograma po hektaru godišnje (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Održavanje zdravog tla kroz mjere popravka od najveće je važnosti za poljoprivredu i održivost ekosustava. Degradacija tla, uzrokovana čimbenicima kao što su erozija, iscrpljivanje hranjivih tvari i kontaminacija, predstavlja značajnu prijetnju sigurnosti hrane i zdravlju okoliša. Bez zdravog tla, pogodnost uzgoja usjeva se smanjuje, što dovodi do smanjene poljoprivredne produktivnosti i nestašice hrane. Nadalje, degradacija tla može rezultirati povećanim onečišćenjem vode, gubitkom bioraznolikosti i ugroženim uslugama ekosustava (Đurđević i sur., 2011.). Stoga je provedba mjera poboljšanja tla ključna za ublažavanje ovih negativnih utjecaja i osiguravanje dugoročne održivosti poljoprivrednih praksi i zdravijeg okoliša. Za poboljšanje svojstva, strukture i plodnosti tla koristi se nekoliko uobičajenih mjera. Tehnike rotacije usjeva i pokrovnog usjeva naširoko se koriste za poboljšanje strukture, povećanje sadržaja organske tvari te za smanjenje erozije. Izmjenom različitih usjeva sezonski i sadnjom pokrovnih usjeva tijekom razdoblja ugara, tlo se obnavlja hranjivim tvarima, a erozija se smanjuje na minimum. Dodatno, primjena organske tvari kao što su kompost i staljnak pomaže poboljšanju strukture, zadržavanju vode i razine hranjivih tvari. Ovi prirodni dodaci pružaju održivo rješenje za popravak tla obogaćujući ga esencijalnim hranjivim tvarima i omogućuje zdravu mikrobnu aktivnost. Nadalje, prakse očuvanja poput podrivanja pomažu sprječavanju erozije te ujedno, smanjivanjem otjecanja vode, i održavanju stabilnosti. Ove tehnike su ključne za održavanje zdravlja tla i sprječavanje daljnje degradacije (Jug i sur., 2018.).

2.1. Antagonizam kalcija prema drugim elementima ishrane bilja u tlu

Interakcija između hranjivih tvari u usjevima pri opskrbi jednom hranjivom tvari utječe na apsorpciju i iskorištavanje drugih hranjivih tvari. Interakcije hranjivih tvari mogu biti pozitivne (sinergističke) ili negativne (antagonističke), a moguće je i da interakcija nema. Antagonizam kalcija prema drugim makro i mikro hranjivim tvarima sprječava dostupnost

hranjivih tvari prema usjevima stvarajući različite spojeve i komplekse (Aboyeji i sur., 2020.). Kalcij je dvovalentni ion koji se natječe za mjesto na adsorpcijskom kompleksu tla između drugih hranjivih tvari. Povećanje pH vrijednosti tla zbog sadržaja kalcijevog karbonata također ograničava dostupnost ostalih biogenih elemenata. O sudbini kalcija u tlu odlučuju adsorpcija kalcija od strane organizma, gubici izazvani ispiranjem, adsorpcija koloida gline i ponovno istaloženi kalcij (Marschner, 2012.). Vapnenasta tla prepoznaju se po prisutnost kalcijevog karbonata (CaCO_3) u matičnom materijalu i nakupljanju vapna. To se najlakše prepoznaje po pjenušavosti (šuštenju) koja nastaje kada su ta tla tretirana razrijeđenom kiselinom. Reakcija ovih tala je obično iznad 7, a može biti i do 8,5. Kada ta tla sadrže natrijev karbonat, pH vrijednost može prijeći i 9. U nekim tlima CaCO_3 može koncentrirati u vrlo tvrde slojeve, nazvane kaliče, koji su nepropusni za vodu i korijenje biljaka. Reakcija mineralnih i organskih gnojiva u vapnenačkom tlu uključuje razne reakcije poput volatalizacije amonijaka u obliku plina, fiksiranja fosfora i smanjenja dostupnosti mikronutrijenata te smanjenja vrijednost topljivosti. Prisutnost kalcija u tlu također otežava dostupnost drugih bazičnih kationa (K, Mg) koji se mogu procijeniti omjerom aktivnosti (Palani i Raju, 2019.).

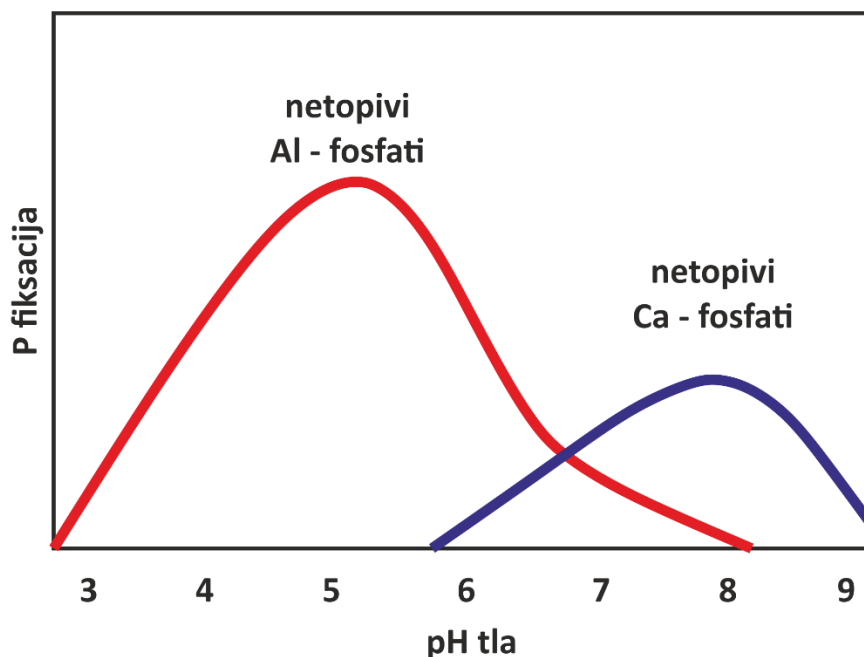
2.1.1. Utjecaj kalcija na raspoloživost dušika

Dušik je važno biljno hranjivo i najčešće ga je manje u odnosu na ostala hranjiva. Biljke ga apsorbiraju kao nitrat (NO_3) preko lista i korijena, a amonijske ione (NH_4^+), kao i amidni oblik, samo preko lista. U vlažnim i dobro prozračenim tlima oblik NO_3 je dominantan. Prije nego što se NO_3 može koristiti u biljci, mora se reducirati. Gubitak dušika kroz NH_3 kreće se od 5 do 35 %, što dovodi do isparavanja u obliku plina amonijaka. Volatalizacija amonijaka jedan je od najčešćih mehanizama gubitka dušika u vapnenačkom tlu. Maqsood i suradnici (2016.) navode da je isparavanje amonijaka izraženije pri visokim pH-vrijednostima tla ($\text{pH} > 7,5$).

2.1.2. Utjecaj kalcija na raspoloživost fosfora

Kada se vapno (CaCO_3) ili dolomit (CaCO_3) unese u tlo u visokim koncentracijama ili u tlima koje prirodno sadrže visoke koncentracije navedenih spojeva, dolazi do niz reakcija fiksacije fosfora koje postupno smanjuju topljivost i konačno njegovu dostupnost za biljku. Fiksacija fosfora kombinacija je površinske adsorpcije na glinenim i vapnenim površinama i taloženja raznih minerala kalcijevog fosfata. Vapno u vapnenačkom tlu reagira s otopinom P u tlu i stvara kalcijev fosfat koji nije raspoloživ biljkama za usvajanje. Spoj kalcijevog

fosfata koji ima nisku vrijednost topljivosti ($K_{sp} 2,07 \times 10^{-33}$) otežava dostupnost fosfora biljci (Slika 1.). Maksimalno smanjenje raspoloživosti događa se pri pH vrijednostima višim od 8,5 (Al Haribi i sur., 2013.).



Slika 1. Fiksacija fosfora

(Izvor: <https://tlo-i-biljka.eu/>)

2.1.3. Utjecaj kalcija na raspoloživi kalija, magnezija i sumpora

Visok sadržaj kalcija u tlu utječe na druge bazične katione kao što su K^+ i Mg^{2+} , dok se dostupnost K^+ može procijeniti omjerom aktivnosti (AREK vrijednosti), tj. povećanje vapna smanjuje AREK vrijednost. Primjena veće količine kalija uzrokuje prekomjerno ispiranje i dovodi do antagonističkog učinka na unos magnezija i kalcija (Lalitha i sur., 2015.). Sumpor se apsorbira preko korijena do biljke kao SO_4^{2-} ion. Koncentracija S u biljkama kreće se između 0,1 i 0,4%. U vapnenačkom tlu netopljivi SO_4^{2-} reagira s $CaCO_3$ te formira gips. Visoka koncentracija CaO u tlu dovodi do veće sorpcije, kao i adsorpcije Ca^{2+} i SO_4^{2+} kao $CaSO_4$ kompleksa ionskoga para. Primjena sumpora iz različitih izvora u vapnenačkom tlu povećava topljivi Ca, Mg, K, SO_4^{2-} zbog oksidacije SO u H_2SO_4 i otapanja $CaCO_3$ (Gayathri i sur., 2019.).

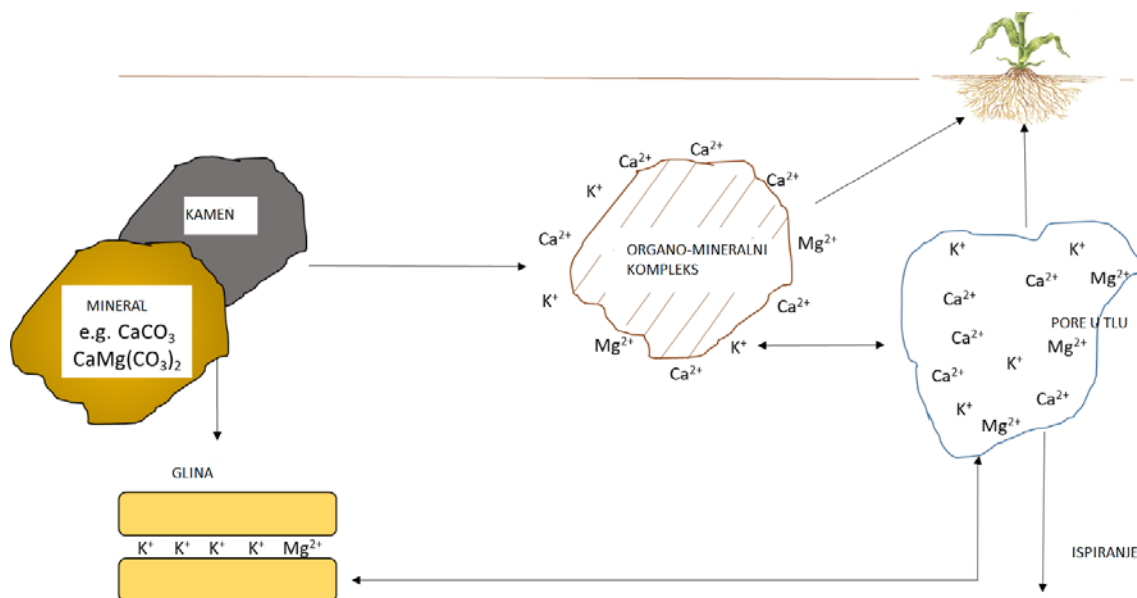
2.1.4. Utjecaj kalcija na raspoloživi mikroelemenata

Unatoč vrlo maloj potrebi mikronutrijenata za rast biljaka oni igraju vitalnu ulogu u usporedbi s drugim glavnim nutrijentima. Na dostupnost utječu neki čimbenici kao što su pH, redoks potencijal i slobodni CaCO_3 . U tlu s visokim sadržajem kalcijevog karbonata raspoloživost mikroelemenata je smanjena zbog povišenog pH tla gdje OH^- reagira s Fe^{3+} , Zn^{2+} i te smanjuje koncentraciju topivih (raspoloživih) hranivih tvari stvaranjem ionskih kompleksa $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Zn}(\text{OH})_2$. Kloroza izazvana vapnom također se opaža kod visokih koncentracija kalcijevog karbonata u tlu (Palani i Raju, 2019.). Kalcit ima važnu ulogu u sorpciji B i pokazuje veću sorpciju B na kalcitu i maksimalnu sorpciju opaženu pri pH vrijednostima tla od 9,5. Bor se adsorbira na CaCO_3 i formira kalcijev oktaorbat čija je topljivost u tlu vrlo slaba i dovodi do smanjene dostupnosti Ca biljkama (Poomguzhali i Pandian, 2019.). Molibden je jedina hranjiva tvar dostupna pri visokim pH vrijednostima tla. Dostupnost molibdena raste s povećanjem sadržaja kalcijevog karbonata u tlu. Dostupnost MoO_4^{2-} povećava se oko deset puta po jedinici povećanja pH vrijednosti tla (Quaggio i sur., 2004.).

2.2. Ispiranje kalcija u tlu

Ograničavajući čimbenik za učinkovit uzgoj biljaka na mnogim poljoprivrednim gospodarstvima u Republici Hrvatskoj je kisela reakcija tla. U kompleksnom pristupu rješavanju problema gospodarenja poljoprivrednim tlima, primjena vapnenih materijala zauzima jedno od vodećih mjesta, uz gnojidbu i obradu tla. Zakiseljavanje tla je složen proces koji uključuje više elementarnih koraka u pedosferi, a taj proces je najintenzivniji u vlažnim i perhumidnim područjima (Lončarić, 2015.). Procesi koji dovode do zakiseljavanja tala mogu se klasificirati kao prirodni ili ljudski izazvani. Uzrok prirodne kiselosti tla dijeli se na geogeno i pedogeno podrijetlo. Razlika između ove dvije vrste kiselosti temelji se na podrijetlu tla; geogena kiselost uzrokovana je razvojem tla na kiselim supstratima, dok je pedogena kiselost uzrokovana razvojem tla na neutralnim i bazičnim supstratima. Zakiseljavanje tla karakterizira niz prirodnih procesa koji se odvijaju trajno. Ti su procesi intenzivniji u tlima koja se razvijaju na neutralnim i bazičnim matičnim tvarima. Unatoč tome što je kisela reakcija u tlima primarno uvjetovana samim kiselim supstratom, na tim mjestima dolazi i do trajnog povećanja kiselosti tla. Zakiseljavanje tla odvija se procesima proizašlima iz sustava prirodnih čimbenika koji zauzvrat imaju učinak na genetsku evoluciju tla. Visoki stupanj zakiseljavanja tla ovisi o sastavu supstrata, o kakvoći tla i raspoloživosti

kiselih iona u tlu, kao i o oborinama, što pridonosi ispiranju baza iz tla. Kao komponenta zakiseljavanja tla, postoji nekoliko procesa koji se mogu identificirati kao dekarbonizacija ili zakiseljavanje (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Dekarbonizacija je proces ispiranja i migracije kalcijevog karbonata CaCO_3 iz gornjih slojeva u donji dio profila. Posljedica reakcije između kalcijevog karbonata i ugljične kiseline je proizvodnja topljivog bikarbonata $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, koji se zatim prenosi kroz sustav protoka vode. Dekarbonizacija je početna faza procesa zakiseljavanja s baznim reakcijom u tlu koje se razvilo na bazičnom supstratu. Debazifikacija je proces ispiranja baza koje se mogu zamijeniti, a te baze su Ca, Mg, K i tako dalje (Slika 2.). U tlima s bazičnom reakcijom to je potaknuto ispiranjem karbonata, a u tlima s neutralnom reakcijom prvenstveno je uzrokovano genezom tla. Zakiseljavanje je proces zamjene baza vodikovim ionima u kompleksu koji je već na toj poziciji. Javlja se u tlu neutralne ili kisele reakcije. Javlja se istovremeno s procesom dekarbonizacije. Postupnim dodavanjem vodikovih iona dolazi do trajnog zakiseljavanja tla. Najvažniji izvor antropogene acidifikacije je intenzivna primjena mineralnih gnojiva. Primjena fiziološki kiselih mineralnih gnojiva u intenzivnom uzgoju biljne proizvodnje, pogotovo danas, kada se koriste formulacije gnojiva sa većim koncentracijama aktivnih tvari i manje "balasta", dovodi do zakiseljavanja tla (Mesić i sur., 2009.).



Slika 2. Ciklus kalcija, magnezija i kalija u tlu

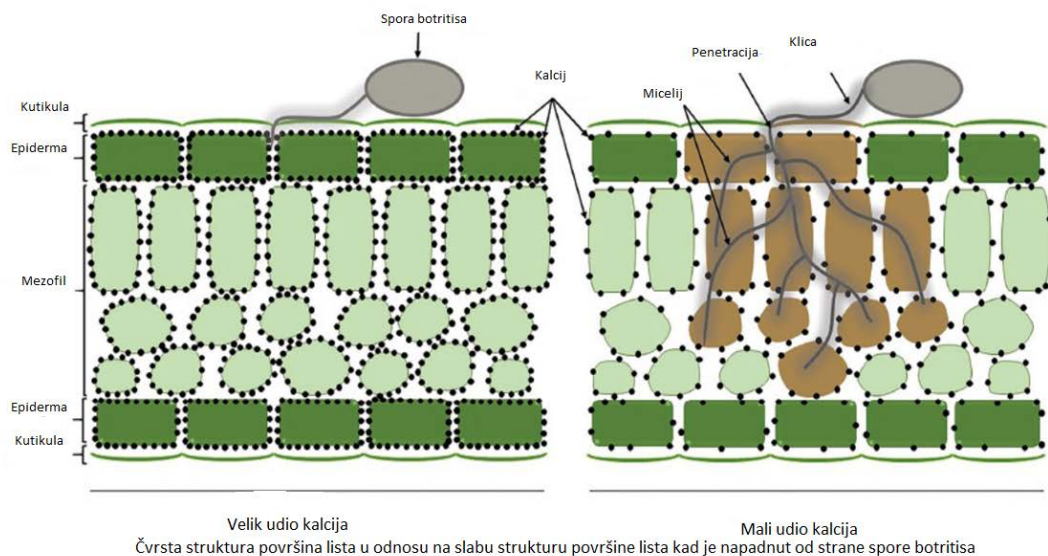
(Izvor: <https://creativecommons.org/>)

3. KALCIJ U BILJCI

Kalcij primarno apsorbira aktivna zona korijena. Međutim, neki vjeruju da je unos kalcija u meristematske stanice pasivan, dok je aktivan u starijim, vakuoliziranim stanicama. Ca ima vrlo važnu ulogu u ishrani biljaka. Postoje dva zakona koja određuju važne odnose Ca; jedan je sadržaj Ca/K (Ehrenbergov zakon), a drugi je omjer Ca/Mg (Loewzakona), tj. omjer $K/(Ca + Mg)$. Unos kalcija znatno je sporiji u usporedbi s većinom drugih elemenata. Biljke apsorbiraju kalcij u ionskom obliku kao Ca^{2+} . U biljkama se on kroz ksilem kreće na dva načina. Prvi je akropetalno kretanje prema gore i događa se tijekom transpiracijske struje. Drugi način je bazipetalno kretanje prema dolje kroz floem. Osim toga, reutilizacija kalcija je vrlo slaba ili se uopće ne događa nakon što stigne na odredište (Yang i Jie, 2005.). Bolja apsorpcija kalcija unutar biljke, odnosno povećana podrška pokretljivosti može se postići gnojidbom $Ca(NO_3)_2$. Koncentracije kalcija u biljkama u prosjeku iznose 0,5 % u ST (u rasponu od 0,1 do > 5 %), gdje je uglavnom čvrsto vezan, a tek manji dio dostupan je kao elektrolit unutar protoplazme (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Trave u prosjeku imaju niži udio kalcija u usporedbi s dvosupnicama. Lišće ima više kalcija od korijenja, pri čemu starije sadrži veće količine nego mlađe lišće, što dokazuje već spomenuti spor transport kalcija unutar biljke. Pokretljivost kalcija u biljkama je ograničena (od fiziološki starijih prema mlađim, aktivnijim dijelovima) pa je reutilizacija (ponovno korištenje) vjerojatno moguća samo iz korijena i stabla gdje je kalcij izdvojen, ali ne i iz starijeg lišća koje sadrži najviše kalcija. Kalcij se nalazi u vrlo malom broju organskih spojeva u strukturi biljke te ima ulogu u formiranju pektina i fitina, koji je sastav soli Ca-Mg inozitolheksafosfata. Također, pojavljuje se u kristalnim tijelima poput oksalata i kalcita (Marschner, 2012.). U biljkama Ca-fosfatni puferski sustav djeluje tako da kalcij sudjeluje u neutraliziranju bilo kakvog viška kiselosti iz staničnog soka, posebice unutar vakuola obzirom da oksalocetna kiselina ima afinitet vezanja s K, Na, N, P, B i Ca. Opskrbljenost biljaka navedenim elementima uvelike ovisi o kalciju. Još jedan uobičajeni oblik u kojem se kalcij manifestira u biljnim stanicama je kroz $CaCO_3$ inkrustacije koje se nalaze u njihovim stijenkama (Slika 3.). Zajedno s drugim jednovalentnim kationima kalij djeluje u izravnoj suprotnosti s kalcijem jer taj dvovalentni kation smanjuje protoplazmatsku hidrataciju, što dovodi do povećanja viskoznosti unutar protoplazme i stabilizacije svih njenih komponenata (Sharma i sur., 2017.). Iako ima značajnu ulogu u stabilizaciji središnje pektinske lamele putem Ca-pektinata, kalcij također sudjeluje kao stabilizator kromosoma i jezgre, što olakšava djelovanje hormona koji utječe na rast biljke kroz aktivnost apikalnog meristema. Posljedica

nedostatka ovog posebnog elementa bila bi nepravilna diferencijacija i dioba u meristematskim zonama, što dovodi do poliploidije u mnogim prilikama zbog nepravilne funkcije fitohormona (White i Broadley, 2003.). Ostali kationi imaju veću ulogu u aktivaciji enzima pa se smatra da učinak kalcija na metabolizam prvenstveno proizlazi iz regulacije poroznosti membrane za različite tvari. Također se radi o dopuštanju prolaska elektrona i protona, što ulogu kalcija čini vrlo važnom u različitim biološkim procesima, posebice u fotosintezi i disanju. Važna je zaštitna uloga kalcija protiv toksičnosti viška mikroelemenata (osim Mo), što dovodi do povećane otpornosti na visok sadržaj soli u tlu (Sharma i sur., 2017.). To također uključuje funkcije senzora (kalmodulin ili proteini modulirani kalcijem) za vanjske i unutarnje podražaje, djelujući na prijenos signala (npr. u obrambenim mehanizmima biljaka). Fiziološku ulogu kalcija kod manjka djelomično preuzima stroncij koji mu je kemijski vrlo sličan (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Leaf Cross Section



Slika 3. Uloga kalcija u staničnoj stijenci

(Izvor: <https://mcfp.jo>)

3.1. Nedostatak kalcija u biljci

Fiziološki poremećaji, kao što su gorke pjege na jabukama te trulež vrhova na rajčicama, lubenicama i paprici, uzrokovani nedostatkom Ca^{2+} , što može ozbiljno smanjiti kvalitetu usjeva i prinos. Ovi poremećaji karakteriziraju tamnosmeđe lezije na mladom brzorastućem tkivu. Zaustavljeni rast i kovrčanje također su česti simptomi kod lisnatog povrća. Čimbenici koji dovode do poremećaja nedostatka kalcija upućuju na postojanje očuvanih mehanizama u voću i povrću koji posreduju u ovim poremećajima. Mehanizmi u podlozi ovih poremećaja mogu biti povezani s inhibicijom nakupljanja Ca^{2+} u zahvaćenim tkivima ili s abnormalnom regulacijom stanične distribucije Ca^{2+} . Smatra se da su uključene i interakcije između Ca^{2+} i drugih hranjivih tvari u zahvaćenom tkivu (Freitas i sur., 2016.).

3.1.1. Nedostatak kalcija u jabuci

Nedostatak kalcija u plodovima jabuke duboko utječe na njihovu kvalitetu i cjelokupno zdravlje biljaka. Dovodi do nekoliko fizioloških poremećaja na plodovima, a glavni među njima je razvoj gorkih pjega koje su trajne i ne mogu se ispraviti kasnijim naporima gnojidbe kalcijem (Gnojdba.info, 2023.). Ovaj problem je pogoršan slabim prijenosom kalcija iz lista u plodove, što ukazuje na kritičnu potrebu za učinkovitim dodacima kalcija u tlo. Neravnoteža hranjivih tvari, gdje je kalcij zasjenjen drugim praksama gnojidbe, dodatno pridonosi pojavi gorkih pjega (Gospodarski.hr, 2023.). Štoviše, nedostatak kalcija pokreće kaskadu problema poput nekontroliranog gubitka vode i propadanja stanica, što dovodi do ugrožene strukture ploda koja nalikuje osušenom "saću" (Gospodarski.hr, 2023.) (Slika 4.). Posljedično, ovi nedostaci ne samo da smanjuju čvrstoću i sposobnost skladištenja ploda, već predstavljaju i značajan izazov za proizvođače jabuka koji teže visokokvalitetnim prinosima (Gnojdba.info, 2023.) (Gospodarski.hr, 2023.), stoga je nužan znanstveno utemeljen pristup gnojidbi kalcijem kako bi se ublažili ovi štetni učinci i osigurala proizvodnja kvalitetnih plodova jabuke (Gnojdba.info, 2023.).



Slika 4. Gorka pjegavost na plodu jabuke

(Izvor: <https://gospodarski.hr>)

3.1.2. Nedostatak kalcija u rajčici

Nedostatak kalcija u biljkama rajčice može imati štetne učinke na razvoj ploda, posebice vidljivo u stvaranju smeđih mrlja koje mogu napredovati do crnih mrlja na dnu ploda, što na kraju dovodi do truljenja (Agroklub, 2017.). Poznato je da čimbenici poput visokih temperatura i niske relativne vlažnosti utječu na pojavu nedostatka kalcija u plodu rajčice, s uvjetima kao što su temperature koje prelaze 28°C u stakleniku i relativna vlažnost koja pada ispod 65%, što na kraju cvatnje pogoduje razvoju truleži na plodu rajčice (Agroklub, 2013.). Dok se nedostatak kalcija može očitovati čak i kada ima dovoljno kalcija u tlu, neadekvatne razine vlage mogu spriječiti njegov transport do ploda, pogoršavajući problem (Biovrt, 2022.). Vršna trulež, uobičajeni fiziološki poremećaj uzrokovan nedostatkom kalcija, prevladava u raznim vrstama voća poput paprike, rajčice, patlidžana i dinja, naglašavajući međuovisnost kalcija, dušika i vlage u tlu za optimalan razvoj ploda (Biovrt, 2022.) (Slika 5.). Kako bi se ublažio utjecaj nedostatka kalcija na biljke rajčice, preporučuju se strategije

kao što su primjena folijarnih gnojiva koja sadrže kalcij te osiguravanje odgovarajuće vlage u tlu redovitim zalijevanjem kako bi se pospješila bolja apsorpcija kalcija i spriječila pojava šupljina u plodovima (Agroklub, 2017.; Gospodarski.hr, 2021.). Osim toga, rana intervencija ugradnje kalcija u biljke rajčice nedugo nakon presađivanja sadnica, čak i prije cvatnje, ali u manjim količinama, može pomoći u proaktivnom rješavanju problema nedostatka kalcija i podržati zdrav razvoj plodova (Agroklub, 2017.).



Slika 5. Vršna trulež na plodu rajčice

(Izvor: <https://agrosavjet.com>)

3.1.3. Nedostatak kalcija u šećernoj repi

Biljka nema sposobnost apsoriranja kalcija cijelom dužinom korijena, već ga usvaja pri vrhu korijena. Optimalne pH vrijednosti za rast su između 6,8 i 7,2. Ioni kalcija utječu na aktivnost enzima saharoza-sintetaze, čime izravno mijenjaju količinu šećera u repi. Nedovoljan unos kalcija uzrokuje poremećaj prehrane s kalijem, što također utječe na nakupljanje šećera. U slučaju nedostatka kalcija, korijen postaje osjetljiv na uzročnike truleži korijena (*Aphanomyces cochliformis*), zbog čega se pri vađenju repe može primijetiti pad prinosa i digestije. Simptomi njegovog deficita prepoznaju se po skraćenim lisnim plojkama (mali listovi) u većem broju. Usporen je rast najmlađih listova, posebno u blizini središta rozete. Listovi su obično blijedozeleni ili klorotični, a rubovi im se savijaju prema naličju. Vrhovi lišća postaju nekrotični, a također doživljavaju crnu "palež vrhova lišća" (Slika 6.).

Količina biljaka često se smanjuje zbog odumiranja mladih biljaka u velikom broju (Bažok i sur., 2015.).



Slika 6. Deficit kalcija na listu šećerne repe

(Izvor: <https://agritech.tnau>)

3.2. Suvišak kalcija u biljci

Izravan učinak prevelike količine kalcija još uvijek nije poznat, ali u tom kontekstu nastaju problemi s usvajanjem gotovo svih biogenih elemenata te s razvojem simptoma povezanih s njihovim nedostatkom. U istočnom dijelu Hrvatske česti su problemi uzrokovani vapnenačkom klorozom koja se očituje kao znak nedostatka željeza i cinka, kako na trajnim nasadima, tako i na jednogodišnjim kulturama (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

4. KALCIZACIJA

Kalcizacija je agrotehnička mjera dodavanja sredstva koje sadrži kalcij (Ca) i/ili magnezij (Mg) s ciljem neutralizacije suvišne kiselosti te postizanja ciljne reakcije tla, odnosno postizanja optimalne kiselosti za uzgoj određene biljne vrste. Prema Vukadinović i Vukadinović (2011.) u Hrvatskoj postoji velik problem jer je više od 50 % poljoprivrednih tala kiselo, a trend pada pH vrijednosti tla ponajviše je prisutan na tlima intenzivne biljne proizvodnje. Količina vapnenca ili drugog alkalnog materijala potrebnog za neutralizaciju nedisocirane i disocirane kiselosti tla, od trenutne pH vrijednosti do ciljne neutralne pH vrijednosti, predstavlja potrebu za kalcizacijom (Lončarić, 2015.). Za procjenu potrebe za kalcizacijom preferirano se izračun temeljen na analizi tla jer omogućavaju pravovremenu reakciju prije nego što se problemi s padom prinosa manifestira. Međutim, samo pH vrijednost nije dovoljna za određivanje stvarne količine kalcija za kalcizaciju. Potrebno je analizirati i druge važne faktore tla kao što su hidrolitička kiselost, volumna gustoća tla te optimalna pH vrijednost za konkretnu biljnu vrstu. Integriranjem svih ovih podataka može se precizno odrediti potreba za kalcizacijom te osigurati optimalni uvjeti za uzgoj biljaka (Lončarić, 2015.).

4.1. Materijali za kalcizaciju i gnojidbu kalcijem

Sredstvo za kalcizaciju je bilo koji materijal koji sadrži kalcij (Ca) i/ili magnezij (Mg) u oblicima koji mogu neutralizirati suvišnu kiselost povećavanjem pH vrijednosti tla do određene razine, ovisno o njegovoj neutralizacijskoj vrijednosti i količini. Kalcizacijski materijali uključuju kalcijeve i/ili magnezijeve karbonate, okside, hidrokside i silikate. Najčešće korišteni kalcizacijski materijali širom svijeta su različiti vapneni materijali. U određenim regijama koriste se i industrijski nusproizvodi i otpadne tvari, pod uvjetom da zadovoljavaju zakonom propisane kriterije. Postoji mogućnost korištenja kondicionera i otpada u poljoprivrednoj proizvodnji.

Sredstva za kalcizaciju prvenstveno vrednujemo na temelju njihove učinkovitosti u neutralizaciji suvišne kiselosti tla. Pored toga, ona neposredno opskrbljuju biljke raspoloživim oblicima kalcija (Ca) i/ili magnezija (Mg) te posredno utječu na različita kemijska, fizikalna i biološka svojstva tla. Međutim, na kvalitetu sredstva za kalcizaciju, kao i na njegovu neutralizacijsku sposobnost, utječu niz kemijskih i fizikalnih svojstva materijala (koncentracija i kemijski oblik kalcija (karbonati, oksidi, hidroksidi itd.), koncentracija i

kemijski oblik magnezija, veličina čestica (finoća), tvrdoća matične stijene, brzina reakcije u tlu, sadržaj drugih hranjivih i štetnih elemenata te vlažnost) (Đurđević 2014.; Jug 2023.)

Pri odabiru vrste i izračunu potrebne količine kalcizacijskog sredstva važno je uzeti u obzir njegovu neutralizacijsku učinkovitost, kao i lokalnu dostupnost, cijenu, specifičnosti aplikacije i čistoću. Postoji nekoliko sustava za uniformni prikaz neutralizacijske učinkovitosti. Unatoč razlikama među tim sustavima, ključna svojstva za ocjenu i usporedbu sredstava za kalcizaciju uključuju neutralizacijsku vrijednost, finoću čestica i reaktivnost (Lončarić, 2015.). Materijali za kalcizaciju dijele se na prirodna vapna, oksidna i hidroksidna vapna prirodnog podrijetla, vapna iz industrijskih postrojenja, miješano vapno, mješavine vapnenih materijala s gnojivima, lapor, drveni pepeo, silikate, fosfogips i granulirane kalcizacijske materijale.

4.1.1. Karbonatni izvori

Karbonatna kalcijeva gnojiva su gnojiva koje sadrže kalcij u obliku kalcijevog karbonata CaCO_3 . Karbonatna gnojiva imaju široku namjenu u poljoprivredi zbog svojstva i sposobnosti da neutraliziraju kiselost tla i poboljšaju strukturu zemljišta, zbog unošenja kalcija kao esencijalnog elementa u tlo te povećanja dostupnosti ostalih elemenata bitnih u biljnoj ishrani (Havlin i sur., 2014.). Vapnenac je gnojivo koje se najviše koristi među karbonatnim gnojivima. Sadrži visok udio kalcija i koristi se za neutralizaciju kiselih tala te poboljšanje strukture zemljišta. Vapnenac može biti mljeven ili granuliran, a izbor oblika zavisi o primjeni i potrebi poljoprivrednika (Brady i Weil, 2008.). Dolomitni vapnenac sadrži udio kalcijevog karbonata i magnezijevog karbonata. Uz kalcij, ovaj tip gnojiva sadržava i magnezij koji je također makroelement. Dolomitni vapnenac se koristi na zemljištima siromašnim magnezijem (Fageria, 2013.). Oksidna kalcijeva gnojiva sadrže kalcij u obliku kalcijevog oksida (CaO) ili kalcijevog hidroksida (Ca(OH)_2). Gnojiva su poznata po svom brzom djelovanju na neutralizaciju kiselosti pa aplikacija zahtijeva pažljivu upotrebu. Koriste se na zemljištima kojima je potrebna brza neutralizacija pH-vrijednosti te se primjenjuju u proljeće i jesen, kada su uvjeti za brzu reakciju s tlom pogodni.

4.1.2. Okisdni izvori

Oksidna kalcijeva gnojiva sadrže kalcij u obliku kalcijevog oksida (CaO) ili kalcijevog hidroksida (Ca(OH)₂). Gnojiva su poznata po svom brzom djelovanju na neutralizaciju kiselosti pa aplikacija zahtijeva pažljivu upotrebu. Koriste se na zemljištima kojima je potrebna brza neutralizacija pH-vrijednosti te se primjenjuju u proljeće i jesen, kada su uvjeti za brzu reakciju s tlom pogodni. Živo vapno ili kalcijev oksid sadrži visok udio kalcija koji se brzo otapa i neutralizira kiselost u tlu. Svojom reaktivnošću može uzrokovati oštećenje na biljci te se mora pažljivo primijeniti (Havlin, 2014.). Gašeno vapno ili kalcijev hidroksid nastaje reakcijom kalcijevog oksida s vodom. Ova forma oksidnog gnojiva manje je reaktivna od kalcijevog oksida, ali je i dalje efikasna u ishrani bilja i neutralizaciji zemljišta (Fageria, 2013.).

4.1.3. Sulfatni izvori

Sulfatna kalcijeva gnojiva sadrže kalcij u obliku kalcijevog sulfata (CaSO₄), poznatijeg kao gips. Ova su gnojiva korisna ne samo jer sadrže kalcij, već i sumpor, koji je također jedan od makroelemenata. Kalcijev sulfat je manje reaktivan u usporedbi s oksidnim gnojivima, ali pruža zalihe kalcija i sumpora u tlu. Gips ili kalcijev sulfat dihidrat najčešće je korišteno sulfatno gnojivo zbog slabe topljivosti u vodi. Gips se sporo otpušta u tlo i pruža dugotrajnu opskrbu kalcijem i sumporom (Havlin i sur., 2014.). Anhidrit ili kalcijev sulfat manje je korišten oblik sulfatnog kalcijevog gnojiva. Svojstva su slična gipsu, ali bez prisustva vode u kristalnoj strukturi. Korisno je gnojivo jer sadrži kalcij i sumpor, ali malo se koristi u praksi zbog izrazito slabe topljivosti (Fageri, 2009.).

4.2. Izračunavanje potrebe za kalcizacijom

Kiselost tla, odnosno niska pH vrijednost, prvi je pokazatelj moguće potrebe za kalcizacijom. Preniska reakcija tla za određene biljke jasno pokazuje da je kalcizacijom potrebno regulirati pH do optimalne vrijednosti. Međutim, odluku ne treba donositi samo na osnovu pH-vrijednosti tla i potreba biljaka koje želimo uzgajati, jer ciljana pH-vrijednost zavisi i od drugih svojstava tla. Kapacitet tla možemo odrediti putem hidrolitičke kiselosti, inkubacijskom metodom ili poljskim pokusima. Inkubacijska metoda je složenija, traje duže, ali je preciznija jer određuje stvarnu neutralizaciju kiselosti u realnom vremenu. S druge

strane, hidrolitička kiselost predstavlja samo kemijsku potrebu za neutralizacijom kiselosti tla i ne daje informacije o biološkim svojstvima niti o učinkovitosti sredstva za kalcizaciju. Ipak, hidrolitička kiselost, volumna gustoća tla i optimalna pH vrijednost dovoljne su za točan izračun potrebe za kalcizacijom. Hidrolitičku kiselost (Hy) izražavamo u cmol/kg ili mmol/100 g, što predstavlja količinu kiselosti određene mase tla. Obično se granicom potrebne za kalcizaciju smatra hidrolitička kiselost od 4 cmol/kg. Tlo kiselije od toga treba kalcizaciju, dok manje kiselo tlo ne treba. Međutim, ni ovo nije uvijek točno jer je hidrolitička kiselost samo dio ukupnog kationskog izmjenjivačkog kapaciteta tla (KIK). Zbog toga tla s istom vrijednošću Hy i različitim KIK-om mogu imati vrlo različit stupanj zasićenosti bazama (Lončarić, 2015.).

5. ZAKLJUČAK

Kalcij je esencijalni element u ishrani bilja. Osim uloge u biljci, ima veliku ulogu i u tlu. Kalcij je bitan za stabilnost strukturnih agregata i svojom količinom regulira pH vrijednost tla. Alkalno tlo blokira gotovo sve esencijalne elemente, dok u kiselom dolazi do otpuštanja kalcija s adsorpcijskog kompleksa i ispiranja u dublje slojeve tla, što dovodi do nestabilnosti strukturnih agregata i moguće erozije. Kalcij je bitan element u biljci jer daje čvrstoću stanicama i štiti biljke od štetnih abiotskih i biotskih čimbenika te regulira stres. Nedostatak kalcija u biljci dovodi do pada prinosa, ali i također do kvalitete samog finalnog proizvoda.

Problem nedostatka kalcija može se riješiti agrotehničkom mjerom gnojidbom kalcijem ili u većim količinama kada je potrebno neutralizirati kiselost tla, kalcizacijom. Kalcizacija je nužna agrotehnička mjera popravka i očuvanja plodnosti tla na kiselim tlima, ali je treba provoditi uz obaveznu analizu tla te količinu i odabir materijala odabrati ovisno o usjevu i svojstvu samoga tla. Kalcij je element na koji treba obratiti pozornost te predstavlja jedan od važnih indikatora plodnosti tla.

6. POPIS LITERATURE

1. Abo-Rady, M.D.K., O. Duheash, M. Khalil, and A.M. Turjoman. (1988.): Effect of elemental sulphur on some properties of calcareous soils and growth of date palm seedlings. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 2 (2):121-130.
2. Aboyeji, C. M., Dunsin, O., Adekiya, A. O., Suleiman, K. O., Chinedum, C., Okunlola, F. O., Owolabi, I. O. (2020.): Synergistic and antagonistic effects of soil applied P and Zn fertilizers on the performance, minerals and heavy metal composition of groundnut. *Open Agriculture*, 5(1), 1-9.
3. Agroklub, Nedostatak kalcija u plodu rajčice. (10.6.2013.) Dostupno na: <https://www.agroklub.com/povrcarstvo/nedostatak-kalcija-u-plodu-rajcice/9850/> (17. srpanj 2024.)
4. Bažok, R., Barić, K., Čačija, M., Drmić, Z., Đermić, E., Čuljak, T., Grubišić, D., Ivić, D., Kos, T., Kristek, A., Kristek, S., Lemić, D., Šćepanović, M., Vončina, D. (2015.): Šćерна repa: Zaštita od štetnih organizama u sustavu integrirane biljne proizvodnje, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Motiv d.o.o. Zagreb: 7 – 22.
5. Božidar Benko, Znete li prepoznati fiziološke poremećaje rajčice? (11.6.2021.) Dostupno na: <https://gospodarski.hr/rubrike/povrcarstvo-rubrike/znete-liprepoznati-fizioloske-poremecaje-rajcice/> (17. srpanj 2024.)
6. Brady, N.C., Weil, R.R. (2008.): *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall.
7. Ćosić, T. (2001.): *Mineralna gnojiva: interna skripta*. Zagreb: vlast. nakl.
8. Danijela Plavšić, Nedostatak kalcija kod paprike i rajčice. (30.7.2017.) Dostupno na: <https://www.agroklub.com/povrcarstvo/nedostatak-kalcija-kod-paprike-i-rajcice/34502/> (17. srpanj 2024.)
9. David Gluhic, Kalcij (Ca) u gnojidbi intenzivnih nasada jabuka. (16.5.2023) Dostupno na: <https://gnojidba.info/gnojidba-jabuke/kalcij-ca-u-gnojidbi-jabuka/> (17. srpanj 2024.)
10. Đurđević B. (2014): *Praktikum iz ishrane bilja*, Poljoprivredni fakultet u Osijeku
11. Đurđević, B., Vukadinović, V., Bertić, B., Jug, I., Vukadinović, V., Jurišić, M., Andrijačić, M. (2011.): Liming of acid soils in Osijek-Baranja County. *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade*, 56(3), 187-195.
12. Fageria, N. K. (2013.): *The Use of Nutrients in Crop Plants*. CRC Press.

13. Gayathri, P., Pandian P.S: (2019.): Evaluation of various levels of phosphorus and sulphur on yield and economics of blackgram (*Phaseolus mungo L.*) in Vylogam soil series of Madurai district. *International Journal of Farm Sciences* 9 (1):85-88 .
14. Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D. (2014.): *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Pearson.
15. Jug, D., Jug, I., Brozović, B., Vukadinović, V., Stipešević, B., Đurđević, B. (2018.): The role of conservation agriculture in mitigation and adaptation to climate change. *Poljoprivreda*, 24(1), 35-44.
16. Jug, I., Jug, D., Brozović, B., Vukadinović, V., Đurđević, B. (2023): *Osnove tloznanstva i biljne proizvodnje, udžbenik*. Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Osijek, Hrvatska.
17. Lalitha, M., Dhakshinamoorthy, M. (2015.): Quantity-intensity characteristics of Potassium (K) in relation to potassium availability under different cropping system in alluvial soils. *African Journal of Agricultural Research* 10.
18. Lončarić, Z. (2015.): Sredstva za kalcizaciju. Objavljeno u: *Kalcizacija tala u pograničnom području*, Lončarić, Z. (eds.), 7-50. Osijek, Hrvatska. Poljoprivredni fakultet Sveučilišta u Osijeku.
19. Maqsood, M.A., U.K. Awan, T. Aziz, H. Arshad, N. Ashraf, M. Ali. (2016.): Nitrogen management in calcareous soils: problems and solutions. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 53 (1).
20. Marschner, H. (2012.): *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.
21. M. Mesić, S. Husnjak, F. Bašić, I. Kisić, I. Gašpar (2009.): Suvišna kiselost tla kao negativni čimbenik razvitka poljoprivrede u Hrvatskoj. *Zbornik Radova 44. Hrvatski i 4. Međunarodni Simpozij Agronoma, Opatija, Hrvatska, 16-20 veljače 2009.*
22. Milorad Šubić, Gorka pjeđavost plodova – kako je spriječiti ove godine? (13.2.2023) Dostupno na :<https://gospodarski.hr/rubrike/vocarstvo-rubrike/gorka-pjegavost-plodova-kako-je-sprijeciti-ove-godine/> (17. srpanj 2024.)
23. Palani, V. Raju I., Synergistic and Antagonistic Interactions of Calcium with Other Nutrients in Soil and Plants (13.12.2019.) Dostupno na: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3503225> (17. srpanj 2024.)
24. Poonguzhali, R.S., P.S. Pandian. (2019.): Effect of boron on yield and economics of groundnut in boron-deficient soil series (Typic Rhodustalf) of Madurai district, Tamil Nadu. *International Journal of Farm Sciences* 9 (1):89-92.

25. Rowley, M. C., Grand, S., Adatte, T., Verrecchia, E. P. (2020.): A cascading influence of calcium carbonate on the biogeochemistry and pedogenic trajectories of subalpine soils, Switzerland. *Geoderma*, 361, 114065.
26. Quaggio, J., P. Gallo, C. Owino-Gerroh, M. Abreu, and H. Cantarella. (2004.): Peanut response to lime and molybdenum application in low pH soils. *Revista Brasileira de Ciencia do solo* 28 (4):659-664.
27. Sergio Tonetto De Freitas, Cassandro Vidal Talamini Do Amarante, And Elizabeth J. Mitcham (2016.): Calcium Deficiency Disorders in Plants. *Postharvest Ripening Pshysiology of crops*.
28. Sharma, A., Shankhdhar, D., Shankhdhar, S. C. (2017.): The role of calcium in plant signal transduction under macronutrient deficiency stress. *Plant Macronutrient Use Efficiency*, 181-196.
29. Silvija Kolar-Fodor, Problemi s rajčicama - Biovrt - u skladu s prirodom. (1.7.2022.) Dostupno na: www.biovrt.com/problemi-s-rajcicama/ (17. srpanj 2024.)
30. Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2011.): *Ishrana bilja*, Poljoprivredni fakultet, Osijek.
31. White, P. J., Broadley, M. R. (2003.): Calcium in plants. *Annals of Botany*, 92(4), 487-511.
32. Yang, H., Jie, Y. (2005.): Uptake and transport of calcium in plants. *Journal of plant physiology and molecular biology*, 31(3), 227.

8. POPIS PRILOGA

1. Slika: Fiksacija fosfora

https://tlo-i-biljka.eu/Tekstovi/pH_tla.pdf , pristup 2.9.2024.

2. Slika: Ciklus kalcija i magnezija u tlu

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> , pristup 17.6.2024.

3. Slika: Uloga kalcija u staničnoj stijenci

<https://mcfp.jo/Article/190339/Calcium-role-on-plant-cell-wall-structure>,
pristup 17.6.2024.

4. Slika: Gorka pjegavost na plodu jabuke

<https://gospodarski.hr/rubrike/vocarstvo-rubrike/gorka-pjegavost-plodova-kako-je-sprijeciti-ove-godine/> , pristup 17.6.2024.

5. Slika: Vršna trulež na plodu rajčice

<https://agrosavjet.com/rijesite-se-vrsne-trulezi-paradajza-upotrebom-kalcijuma/>,
pristup 17.6 2024.

6. Slika: Deficit kalcija na listu šećerne repe

https://agritech.tnau.ac.in/agriculture/plant_nutri/sb_cal.html , pristup 17.6.2024.