



A CINK SZEREPE A TALAJBAN ÉS A NÖVÉNYEKBEN

TÓTH ENDRE ANDOR – KALOCSAI RENÁTÓ

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdasági- és Élelmiszertudományi Kar, Víz- és
Környezettudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ÖSSZEFOGLALÁS

A mezőgazdasági termelés elsődleges célja, hogy az adott területről minél nagyobb mennyiségű és jobb minőségű terményt tudjunk betakarítani. Nagy mennyiségű és kielégítő minőségű termést csak szakszerű növénytáplálás útján lehet elérni, amelynek leggyakoribb módszere a műtrágyázás. A három legfontosabb makroelem (N, P, K) mellett figyelmet kell fordítanunk a mikroelemek ellátottságára is, hiszen a megfelelő növényi fejlődéshez nem elég pusztán az említett három makroelem pótlása, az egyéb makro- és mikroelemeket, valamint azok megfelelő arányát is biztosítani kell. Sok helyen még mindig nem pótolják az esszenciális mikroelemeket, pedig mikroelem-hiányos talajon termesztett növények esetén termésátlag-csökkenéssel és minőség-romlással kell számolnunk.

A dolgozat áttekintést nyújt a növények szempontjából nélkülözhetetlen mikroelemek közül a cink növényi életfolyamatokban betöltött szerepéről, a növényekben és a talajban történő előfordulásáról, valamint a hiánytüneteiről. Mindezekon túl kitérünk arra is, hogy az elmúlt évek során milyen nemzetközi kutatások és kísérletek láttak napvilágot az adott mikroelem kapcsán, betekintést nyerve a mikroelem-kutatások irányába.

Kulcsszavak: cink, mikroelem, tápanyag utánpótlás, cink hiány

A CINK

A cink egyike a legnagyobb mennyiségben használt fémeknek. Ötvözetei közül a sárgarezet már a történelem előtti időkben ismerték, magát a cinket azonban csak 1300 körül állították elő Európában. A fémcink kissé kékes árnyalatú, fémfényű elem. Közönséges hőmérsékleten rideg, 150-200 °C közt kovácsolható. Jól vezeti az elektromosságot és a hőt. Szilárdsága csekély. Száraz levegőn nem oxidálódik, magas hőmérsékleten kékeszöld lánggal ég el cink-oxiddá. A híg savak oldják; a tiszta cink lassan oldódik, a szennyeződések növelik a reakciósebességet. Gyakorlatilag mindig két vegyértékű, azonban vannak atomrácsos vegyületei is: oxidja, szulfidja, nitridje, stb.

A cink a periódusos rendszer 30. eleme (jele: Zn). Relatív atomtömege 65,38; fajsúlya 7,13 g/ml; olvadáspontja 419 °C; forráspontja 906 °C.

Használják tetőfedésre, esőcsatornák, párkányok, vödörök készítésére. Szárazelemek gyártásához tiszta cinkre van szükség. A cink védi a vas felületét, mert maga megy az oldatba a vas helyett. A cinkport sötét festékként is használják (Náray-Szabó, 1973).

CINK A TALAJBAN

A cink talajbeli mennyisége 0,0001%-0,03% (Stefanovits, 1975). A magyarországi talajok összes cinktartalmát tekintve a homoktalajokban kevesebb (30 mgkg⁻¹), az erdőtalajokban közepes (70–115 mgkg⁻¹), míg a csernozjom talajokban több (120–150 mgkg⁻¹) cink található (Mengel, 1976). A talajok átlagos cinktartalma 50 mgkg⁻¹ (Pais, 1980). A talaj cinktartalmát a talajképző kőzet ásványainak cinktartalma határozza meg. A cink az agyagásványok kristályrácsaiban fordul elő, ezen kívül pedig Zn²⁺, ZnOH⁺ és ZnCl⁺ alakban kötődik a talaj ásványi részeihez (Mengel, 1976). A cink az agyagásványok és a kalcium-karbonát felületén kicsapódik. Amennyiben a talaj sok szén-savas meszet és agyagot tartalmaz, a cink mozgékonyasága jelentősen csökken (Aubert és Pinta, 1977).

A talajban kétértékű formában található, koncentrációja a talajoldatban alacsony, komplexképzési hajlama hasonló a rézéhez. Előfordul a biotit, az augit és a különböző csillámok kristályrácsaiban is. Az így adszorbeált Zn²⁺-ionok csak részben cserélhetők ki. Továbbá cinksók is előfordulhatnak a talajban, amelyek oldhatósága változó. A cink mozgékonyasága a talajban csekély, azonban a savanyúság fokozódásával növekszik. A

kolloidokban gazdag talajban általában több a cink, mint a homoktalajokban (*Loch és Nosticzius, 2004*).

A szfalerit (ZnS) a legfontosabb cink-ásvány. A cinkit (ZnO) gyakran mangántartalmú, ekkor vörös színű. Más cinkásványok a smithsonit (ZnCO_3) és a hercimorfit [$\text{Zn}_3\text{SiO}_7 \cdot \text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$], valamint a willemit (Zn_2SiO_4) (*Náray-Szabó, 1973*). Az elem kis mennyiségben fordul elő a talajban, a különböző agyagásványok, mint a biotit $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$, az aguit $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, az amfibol $\text{CaMg}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$ kristályrácsaiban, illetve az alumínium-, és vas-oxidokban (*Mauritz és Vendl, 1942; Kirkby, 2005 cit. Péntek és Fazekas 2016*). A legtöbb egyszerű vegyület, például a ZnO (cinkit), a ZnCO_3 (smithsonit) stb., amelyek a talajban lévő anionokkal képződnek, túlságosan oldékonyak ahhoz, hogy a talajban megmaradjanak. Reduktív körülmények között, ahol H_2S képződik, ZnS (szfalerit) képződhet, de normál oxidációs körülmények között az S^{2-} túl alacsony ahhoz, hogy ez az ásvány stabil legyen.

A világ gabonatermesztésre alkalmas talajainak közel 50%-a minősül potenciálisan cinkhiányosnak (*Cakmak, 2012*). *Kádár (2005)* szerint a magyarországi talajok 46%-a cinkkel gyengén ellátott. *Bhupinder et al. (2005)* vizsgálatai alapján a laboratóriumban alkalmazott kivonási módszertől függően cinkhiányos talajról 0,6-2,0 mgkg^{-1} cinktartalom esetén van szó.

A növények számára hozzáférhető és felvehető cink formák ezeknél az értékeknél jóval alacsonyabb, és több tényező befolyása alatt áll (pl.: a talaj kémhatása, mésztartalma, a foszfor tartalma) (*Kalocsai et al., 2004*). *Viets (1962)* szerint a mikroelemek a talajban 5 különböző formában lehetnek jelen: vízoldható; kicserélhető; adszorbeált, komplex vagy kelát formában; másodlagos ásványokba zárva és oldhatatlan fém-oxiddal kötésben; elsődlegesen ásványok rácsaiba zárva. A különböző formában levő cinket a növények különböző hajlamossággal képesek felvenni. Az talajban jelen levő formák arányát nagyban befolyásolja a talaj pH-tartalma, a cink és más elemek (elsősorban vas és mangán) koncentrációja (*Mandal et al., 1993*).

A fő talajtényezők, amelyek befolyásolják a növény Zn-hozzáférhetőségét az alacsony teljes Zn-tartalom, a magas pH, a magas CaCO_3 és szervesanyag-tartalom, valamint a Na, Ca, Mg, hidrogén-karbonát és foszfát magas koncentrációja a talajoldatban vagy labilis formában (*Alloway, 2009*).

Cink-hiány figyelhető meg hideg és nedves talaj esetében is, ha a hőmérséklet alacsony. Az ilyen hiánytünetek gyakran súlyosak hideg, nedves tavaszokon, azonban eltűnnek a

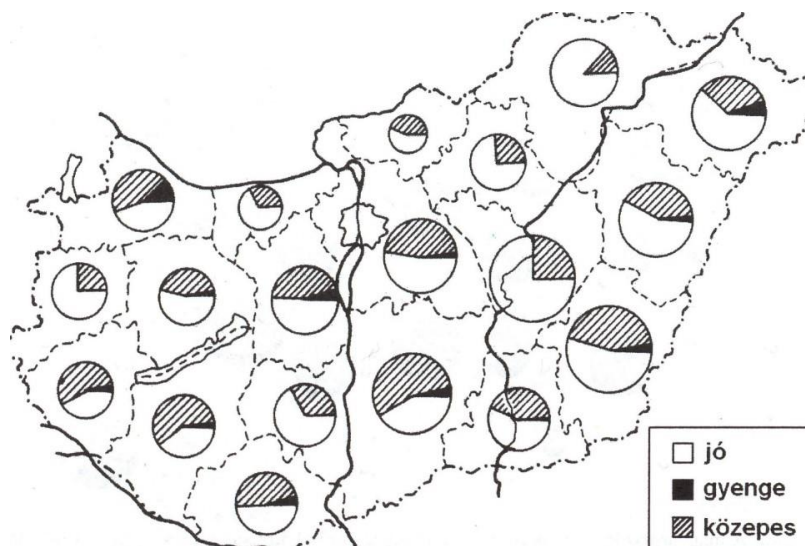
nyár elején. Az alacsony hőmérséklet hatására csökken a szervesanyagok mikrobiológiai lebomlása, ami amúgy cinket szabadítana fel a növény számára. A magas hőmérséklet serkenti a talajban található cink talajkolloidból a növényi gyökerekbe történő diffúzióját és növeli a szerves anyagból történő mineralizációját (Marschner, 1995).

A legtöbb mediterrán klímájú országban előfordul cink hiány, elsősorban lúgos, meszes talajokon. Közép-Anatoliában (Törökország), ahol a talajok 65%-a magas CaCO_3 (> 20%) tartalmú, és a pH 7,5 és 8,1 között van, a növények által felvehető Zn mennyisége rendkívül alacsony ($0,23 \text{ mg kg}^{-1}$ DTPA-Zn), pedig a talaj teljes Zn tartalma relatív magas ($39,6\text{-}62,4 \text{ mg kg}^{-1}$). A cink alacsony felvehetősége ezeken a talajokon azzal magyarázható, hogy a CaCO_3 erősen megkötö a Zn-t (Alloway, 2008 cit. Noulas et al., 2018).

A cink felvételi és mozgékonyági optimuma 5,8-6,5 közötti pH tartományban van (Füleky, 1999). Az elem felvehetőségét, mobilitását nagyban befolyásolja az elem ionformája, oxidációs foka, kémiai természete, közeg tulajdonsága, a pH, redoxviszonyok, kelátképzők stb.

1972-ben az Amerikai Egyesült Államokban a cink hiány volt az egyik leggyakoribb mikroelem hiány. (Lindsay, 1972). 1990-ben, a világ 190 pontjáról vett talajmintából készített felmérés alapján 49% cink hiányosnak bizonyult (Sillanpää, 1990).

A FAO-vizsgálatok alapján) a hazai talajok mikroelemekben gyengén ellátottak. KCl+EDTA kivonószerezrel meghatározott vizsgálatok alapján a cink mennyiségét vizsgálva a hiányos területek 18%-ban kevesebb, mint 1 mg kg^{-1} , 47%-ban pedig $1\text{-}2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ cinket tartalmaznak. Összességében az országosan vizsgált talajok 46%-ban cinkben gyengén ellátottnak minősül (Péntek és Fazekas, 2016). Hazánk talajainak cinkellátottságát megyékre lebontva az 1. ábra mutatja be. Láthatjuk, hogy inkább az ország keleti/észak-keleti része kedvező cink-ellátottságú, míg a legkevésbé ellátott területek az ország dél-nyugati részén, valamint az észak-nyugati-dél-keleti sáv mentén helyezkednek el. A cinkellátottság területi megoszlása főként a talajok pH-tartalmával és mészellátottságával magyarázható (Tóth et al., 2015). Különös figyelmet érdemel a Győr-Moson-Sopron megyei régió, ahol a legnagyobb a gyenge ellátottságú cink talajok aránya.



1. ábra: Hazánk talajainak cinkellátottsága (Kalocsai 2006)

Figure 1: Zinc supply in hungarian soil

CINK A NÖVÉNYEKBEN

A növények a cinket Zn^{2+} -ion vagy természetes, illetve mesterséges komplex vegyület formájában veszik fel. A növényi szövetekben a szokásos koncentráció 25 és 150 $mg\ kg^{-1}$ sz.a. között van, hiánytünetek a levelek szárazanyagra vonatkoztatott 20 $mg\ kg^{-1}$ alatti, toxikus tünetek pedig 400 $mg\ kg^{-1}$ feletti tartalma esetén jelentkeznek. (Füleky, 1999). Ha nem áll elegendő cink rendelkezésre, akkor a növény fejlődése lelassul, a szervei károsodnak és egyértelmű hiánytünetek lépnek fel (Kramer és Clemens, 2005). A cink-hiány tünetei a következők (Scalife és Turner, 1983; Marchner, 1995; Sharma, 2006 cit. Broadley et al., 2007): érközi klorózis, elsősorban fiatal leveleken; vöröses-barnás vagy bronz minták megjelenése a leveleken; aprólevelűség; a fellépő auxinhiány végett törpe szártágúság és rozettásodás; visszafogott növekedés, lerövidült ízközök; illetve súlyos cink-hiány esetében gyökércsúcs-elhalás („dieback”).

A cink hiány fő okai a növényekben legtöbbször a talajhoz köthetőek: alacsony cink-hozzáférés, alacsony összes cink tartalom (homokos, szódás vagy meszes talajokon fordul elő), alacsony szervesanyag tartalom, a gyökerek gátolt felvétele magas talaj vízszint

vagy klimatikus faktorok hatására (Alloway, 2008; Alloway, 2009). Egyes vizsgálati eredmények arra utalnak, hogy a foszfát befolyásolja a növényi szövetekben a cink fiziológiai aktivitását, így a cink és a foszfát között antagonista hatás feltételezhető (Füleky, 1999).

A cink biológiai szerepére először *Raulin* mutatott rá 1869-ben. Megfigyelte, hogy a fekete penész (*Aspergillus Niger*) fejlődése cink-hiány esetén megállt. A cink esszenciális mivoltát kukoricában először *Mazé* bizonyította 1915-ben, nem sokkal később, 1926-ban pedig *Sommer és Lipman* mutatta ki árpában és napraforgóban. Annak ellenére, hogy a cink fontosságát már a 20. század elején kutatták, a cink konkrét szerepét a növényekben csak az 1960-as években sikerült kimutatni (*Brown et al.*, 1993).

A cink szerepe elsősorban enzimaktivátor funkciójában és a metalloenzim komplexek kialakításában mutatkozik meg. Több mint 200 enzimen kimutattak már a cink szerepét, és mind a hat enzimcsoport (oxidoreduktázok, transzferázok, hidrolázok, liázok, izomerázok, ligázok) valamelyik enzimjében fellelhető (*Rashid et al.*, 1994 cit. *Péntek és Fazekas*, 2016).

Aktívan részt vesz a fehérje-anyagcserében és a növények növekedésszabályozásában. (*Kalocsai et al.*, 2005). A fehérjeszintézisen túl a szénhidrát-anyagcsere egyes enzimjeinek működéséhez is elengedhetetlen (*Láng*, 2002). A cink specifikus enzimaktivátorként különböző dehidratázok és peptidázok működésében tölt be fontos szerepet. A peptidázok aktiválása révén a nitrogén-anyagcserére is hatással van (*Alloway*, 2008).

A mangánnal kölcsönhatásban az auxintermelés serkentése révén a növényi növekedés szabályzásában van nélkülözhetetlen szerepe. A cink katalizálja a B-indolil-ecetsav prekursorát, a triptofán szintézisét, így serkenti az auxin képződését. A két elem így együttesen szabályozza a növények növekedését: a cink közvetve az auxin képződését segíti elő, a mangán pedig gátolja az auxin felesleg kialakulását (*Várallyay et al.*, 2009).

- A cink hatásának néhány megnyilvánulási formája:
- Cink hiány esetén a felső levelek érközi klorózisa, a levéllemez teljes kifehéredése tapasztalható. A levelek aprók maradnak, az auxinhiány miatt rozettásodás, torzulás, törpe szártágúság figyelhető meg.
- A kukorica növekedése visszafogottá válik cink-hiány esetén. Az állomány nem éri el a rá jellemző növénymagasságot. Az idősebb leveleken mindkét oldalon fehéres-halványárgás klorotikus csíkok indulnak.

- Bár a cink-felesleg hazánkban csak ritkán fordul elő, tünetei hasonlóak a vas- és mangánhiányhoz. A növények a növekedésben visszamaradnak, majd elhalnak. Az árpa különösen érzékeny a cink többletre.
- A gabonafélék kevésbé, a burgonya, paradicsom, cukorrépa, lucerna közepesen, a kukorica, len, bab, komló pedig kimondottan érzékeny a cink hiányra. (Kalocsai *et al.*, 2006).

A fiatal levelekben a cink gyorsabban transzportálódik, mint az idősebb levelekben. A fiatal levelek extraradikális cinkfelvétele jobb, mint az idősebb leveleké (Wallihan és Heyman-Herschberg, 1956).

A cink és a foszfor tápelemek interakciójával már számos kutatás foglalkozott (Lu *et al.* 1998, Singh *et al.*, 1988, Gianquinto *et al.*, 2000). A magas vagy túlzott foszfor-ellátottság cink-hiányt képes létrehozni, különösen meszes talajokon, ahol amúgy is korlátozottabb a Zn oldékonysága (Csathó *et al.*, 2019).

Ragab (1980) kukoricán végzett kísérletei alapján megállapította, hogy P-kezelések hatására csökkent a hajtások Zn-koncentrációja. Elek és Kádár (2003) szabadföldi, őszi búzán végzett kísérleteik eredményeképp arra a következtetésre jutottak, hogy nagy adagú P-műtrágyázás akár 40%-kal is csökkentheti a növényi részek cinktartalmát. Hasonló antagonizmus áll fenn a vas és a cink között (Zare *et al.*, 2009). A talajban lévő cinktöbblet zavarja a vas felvételét, azonban a vastöbblet nem okoz gondot a cink felvételben (Lee *et al.*, 1969)

A CINK UTÁNPÓTLÁSA

A cink pótlása két módon lehetséges: talajon és lombozaton keresztül. Míg a talajon keresztüli tápanyagpótlást főként a talajvizsgálati eredmények határozzák meg, addig a lombtrágyázás szükségességére sokszor szakmai szemrevételezkor derül fény a hiánytünetek által.

I. táblázat: Gyakori cink-források (*Mortvedt*, 1993)

Table 1: Commonly used Zn sources

Zn formája (1)	Képlet (2)	Cinktartalom (%) (3)
Cink-szulfát-monohidrát (4)	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	36
Cink-szulfát-heptahidrát (5)	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	22
Cink-oxiszulfát (6)	$xZnSO_4 \cdot xZnO$	20-50
Cink-oxid (7)	ZnO	50-80
Cink-karbonát (8)	$ZnCO_3$	50-56
Cink-klorid (9)	$ZnCl_2$	50
Cink-nitrát (10)	$Zn(NO_3)_2$	23
Kelátok (11)	$Na_2ZnEDTA$	8-14
	$NaZnHEDTA$	6-10
	$NaZnNTA$	9-13
	$Zn_3(C_6H_5O_7)_2 \cdot 2H_2O$	10-18
Természetes organikus komplexek (12)	-	3-12

(1) Zn source (2) Formula (3) Percent Zn % (4) Zinc sulfate monohydrate (5) Zinc sulfate heptahydrate (6) Zinc oxysulfate (7) Zinc oxide (8) Zinc carbonate (9) Zinc nitrate (10) Chelates (11) Natural organic complexes

A talajon keresztül végzett cinkpótlás általános adagjai 3-10 kg ha⁻¹ nagyságúak, súlyos cinkhiány esetében azonban 30-50 kg ha⁻¹ cink hatóanyag kijuttatása is indokolt lehet (*Kalocsai*, 2005). A tápelem pótlására háromféle vegyületkört alkalmazhatunk (1. táblázat):

- szervesetlen cink sókat
- cink kelátokat
- természetes szerves komplexeket (*Péntek és Fazekas*, 2016).

A szervesetlen cinktartalmú vegyületek közé tartozik a ZnO , $ZnCO_3$, $ZnSO_4$, $Zn(NO_3)_2$ and $ZnCl_2$. Valószínűleg a $ZnSO_4$ a legelterjedtebb cinktartalmú műtrágya, melyet kristályos és granulált formában is árusítanak. A ZnO -t finom por és granulált alakban is lehet kapni, azonban a granulált formában kapható ZnO nehezen oldódik vízben (*Mortvedt*, 1993).

$ZnEDTA$ a legelterjedtebben használt cink-kelát. Stabilitási állandója 17.5, ami jóval magasabb, mint a $CaEDTA$ állandója (11.6) (*Norvell*, 1991).

A talajon keresztül adagolt cinktrágyákat az őszi alaptrágyázással egyidőben vagy vetéskor, startertrágyaként érdemes a talajba juttatni. Utóhatásuk néhány (2-3) évre tehető (Kalocsai 2004).

A lombtrágyázás jelentőségét az adja, hogy a gyökéren keresztüli tápanyagfelvétel mellett a fiatal növényi részek, levelek tápelem-felvétele is jelentős. A növény felületére juttatott tápanyagok közvetlenül és rövid időn belül felszívódnak, hatásuk nem csapadékfüggő. Olyan esetekben javasolt az alkalmazása, amikor gyors beavatkozásra van szükség az állomány minőség megőrzésének érdekében. A növények levélzetén keresztül történő tápanyagpótlása hatékony, viszont csak kis mennyiségre korlátozódik (Kalocsai 2010).

Potarzycki és Grzebisz (2009) Lengyelországban beállított három éves kísérletükben megállapították, hogy a ZnO-ZnSO₄ levéltrágya használata két évben is szignifikánsan növelte a kukorica terméseredményét.

Shahab et al. (2016) szintén kukorica növényen vizsgálták a cink-szulfát hatását talajon keresztül, illetve levéltrágya formájában. Megállapították, hogy a cink kombinált (talajon és levéltrágyaként) alkalmazásával jobb eredményt értek el, mint azok egyedüli használatával. Az adagolt 5 kg ha⁻¹ talajtrágya és 0.5 kg ha⁻¹ levéltrágya dózissal szignifikáns növekedést értek el a növény hozamát, csóhosszát, csőtömegét, és ezermagtömegét tekintve.

Eteng et al. (2014) Nigériában kukorica növényen beállított kísérletben azt tapasztalták, hogy a talajba történő cink utánpótlás szignifikánsan növelte a kukorica szárazanyag-tartalmát és szemtermését. A maximum szemtermést 8 kg ha⁻¹ Zn adag esetén kapták.

Liu et al. (2016) Kínában vizsgálták a cinkkel történő trágyázás hatását kukorica növényen. Kísérletükben a 30 kg ha⁻¹ ZnSO₄·7H₂O cink dózis hatására nőtt a levelek klorofill tartalma, hatékonyabb lett a növény fotoszintézise és nőtt a növény hozama.

Shaver et al. (2007) különböző vízdoldhatóságú cink műtrágya hatékonyságát hasonlították össze kukorica növényen egy üvegházás kísérlet során. Eredményeik alapján a közepes és alacsony vízdoldhatóságú cink tartalmú műtrágyák nem fedezték a növény cink-igényét.

Liu et al. (2020) talaj útján történő cink utánpótlás hatását vizsgálták kukorica növényen. Megállapították, hogy a kezelések hatására 4,2-16,7%-al nőtt a kukorica hozama, elsősorban a több kukoricaszemnek köszönhetően. Szintén nőtt a pollenek életképessége címerhányás idején.

Vazin (2012) a szárazság stressz és a cink lombtrágyázás hatását vizsgálta kukorica növényen. A két éves kísérlet során megállapította, hogy a szárazság stressz csökkentette az ezermagtömeget és a csöveken lévő szemek számát, míg a cink lombtrágyázás 27,3g-ról 31,3g-ra növelte az ezermagtömeget, 710-ről 770-re növelte az egy csövön lévő szemek számát. Eredményei alapján a cinkkel történő lombtrágyázás kedvezően javította a szárazság stressz okozta termés kiesést.

Aboyeji *et al.* (2020) földimogyorón vizsgálták a cink és foszfor-tartalmú műtrágyák interakciójának hatását. Eredményeik alapján $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Zn}$ és $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ kijuttatásának szinergista hatása volt a növény növekedési paramétereire, azonban antagonista hatása volt a hozamra.

Khan *et al.* (2007) cserépedényes kísérletükben talajon keresztül kijuttatott cink tartalmú műtrágya hatását vizsgálták rizs növényen. Megállapították, hogy a növekvő cink dózisok hatására szignifikánsan befolyásolták a növény hozamát. A rizs szempontjából optimális dózist $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Zn}$ dózisban határozták meg.

Mohsin *et al.* (2014) két éves kísérletükben kukorica növényen vizsgálták a mag cinkkel történő bevonásának és a növény cinkkel való lombtrágyázásának hatását. Vizsgálataik alapján a kombinált kezelések (2%-os mag-csávázás és 2%-os levéltrágyázás) során szignifikánsan nőtt többek között a növény magassága, csőhossza, cső átmérője, ezermagtömege és a szemtermése.

Cink tartalmú levéltrágyázással Zong *et al.* (2011) indiai köles szemtermését és beltartalmi tulajdonságait növelték. Hasonló eredményt értek el Peck *et al.* 2008-ban, akik a búza fehérje-összetételét befolyásolták cink levéltrágyázással.

Orabi *et al.*, (1981) cink és foszfor talajtrágyázással 20%-kal növelte a kukorica szemtermését.

Safa *et al.* (2020) kálium-nitrát (KNO_3) és cink-szulfát (ZnSO_4) levéltrágyázás hatását vizsgálták gránátalma növényen. KNO_3 1%-os, ZnSO_4 0,5%-os koncentrációjával érték el a legnagyobb növekedés a növény kvalitatív és kvantitatív tulajdonságaiban.

Hazánkban Rózsa *et al.* (2011) őszi búzán vizsgálta bázisos cink-karbonát komplex hatását. Kísérleteik bizonyították, hogy a cink mind az őszi búza hozamát, mind a minőségi paramétereit pozitívan befolyásolja.

Schmidt *et al.* (2008) burgonyán végzett cink-amin komplex hatóanyagú kísérletei hatására a burgonya hozama, szárazanyag-tartalma és keményítőtartalma szignifikáns emelkedést eredményezett.

Schmidt et al. (2003) 3 éves (1998-2000) kísérletet folytattak rézben és cinkben hiányos meszes öntéstalajokon, ahol réz és cink amin-komplexeit használták különböző dózisokban (0,1; 0,3; 0,5; 1; 2) UAN oldattal együtt kijuttatva. A cink-trágyázást tekintve a legnagyobb hozamnövekedést a 0,3 kg ha⁻¹-os cink adaggal kapták.

Giczi et al. (2005) burgonya tesztnövényen végeztek kisparcellás talajkezelési kísérleteket bázisos cink-karbonát és K-tartalmú napraforgóhéj hamu felhasználásával.

Szakál és Szalka (2008) szintén burgonya tesztnövényen végeztek kisparcellás kísérletet, cink-tetramin-hidroxid kijuttatásával. A kezelések hatására növekedett a hozam, a szárazanyag-tartalom és a keményítőtartalom is.

Forró-Rózsa et al. (2017) hulladékból előállított bázisos-cink-karbonát hatását vizsgálták őszi búza növényen. A kezelések szignifikánsan növelték az őszi búza hozamát, sikértartalmát, nyersfehérje tartalmát és a Zeleny-számát. Az optimális dózist 1,4-1,6 kg ha⁻¹-os cink adagban állapították meg.

A termőhelyek alacsony Zn-tartalma, valamint a talajban lévő Zn alacsony felvehetősége sokszor komoly gondot okoz a szántóföldi növénytermesztésben, melynek eredményeként termesztett növényeink hozamcsökkenésével és minőségbeli romlásával kell számolnunk. A cink utánpótlásával kapcsolatos kísérletek alapján megállapítható, hogy cink-hiányos termőhelyeken a cink visszapótlásával visszajára fordíthatjuk a mikroelem hiánya okozta mennyiségi és minőségi paraméterek csökkenését.

THE ROLE OF ZINC IN PLANTS AND IN THE SOIL

TÓTH ENDRE ANDOR – KALOCSAI RENÁTÓ

Széchenyi István University

Faculty of Agricultural and Food sciences

SUMMARY

The primary goal of the agricultural production is to produce more and better quality product from a given area. Adequate yield and quality quality can only be achieved with proper plant nutrition, which is mostly done with fertilizers. However, beside the three main macronutrients (N, P, K) attention has to be paid to the micronutrients too: we have to ensure the required amount and the appropriate ratio of essential micronutrients to

support the growth of the plant. Plants grown in micronutrient-deficient soil usually yield less and produce worse quality crops.

This article covers a review of the literature concerning zinc as an essential element for plants, its occurrence in plants and in soil, and its deficiency symptoms. We also summarize the results of the recent years of zinc research.

Keywords: zinc, micronutrient, nutrient supply, zinc deficiency

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú „Innovatív tudományos műhelyek a hazai agrár felsőoktatásban” című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

Aboyaji, C. M., Dunsin, O., Adekiya, A. O., Suleiman, K. O., Chinedum, C., Okunlola, F. O., Joseph, A., Ejue, S. W., Adesola, O. O., Olofintoye, T. A. J., 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 5:1-9.

Alloway, B. J. (2008): Zinc in soils and crop nutrition. Second edition, published by IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France.

Alloway, B. J. (2009): Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environmental Geochemistry & Health. 31, 537-548.

Aubert H., Pinta, M. (1977): Trace elements in soils: developments in soil science 7. Amsterdam: Elsevier.

Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., Lux, A. (2007): Zinc in plants. New Phytol. 173:677–702

Brown, P. H., Cakmak, I., Zhang, Q. (1993): Form and function of zinc in plants. Chap. 7, In A.D. Robson (Ed). pp 90-106. Zinc in Soils and Plants, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

- Cakmak I.* (2008): Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*. **302**:1–17.
- Cakmak, I.* (2012): Zinc in fertilizers. International Zinc Association. Brochure.
- Csathó P., Árendás T., Szabó A., Sándor R., Ragályi P., Pokovai K., Tóth Z., Kremper R.* (2019): Phosphorus-induced zinc deficiency in maize (*Zea mays L.*) on a calcareous chernozem soil. *Agrokémia és Talajtan*, **68**, Supplement, 40-52.
- Elek É., Kádár I.* (2003): A foszforműtrágyázás hatása a makro- és mikro tápanyagok felvételére. A mezőgazdaság kemizálása. VI. Ankét, Keszthely. pp. 89-93
- Eteng, E. U., Asawalam, D. O., Ano, A. O.* (2014): Effect of Cu and Zn on maize (*Zea mays L.*) yield and nutrient uptake in coastal plain sand derived soils of southeastern Nigeria. *Open Journal of Soil Science*, Vol. 4, No.7, pp. 235-245.
- Forró-Rózsa E., Szakál P., Csatai R.* (2017): The qualitative and quantitative impact of copper and zinc applications on winter wheat cultivation. *African Journal of Plant Science*, **11**, 351-361.
- Fülek Gy.* (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Gianquinto G., Abu-Rayyan, A., Tola, L. D., Piccotino, D., Pezzarossa, B.* (2000): Interaction effects of phosphorus and zinc on photosynthesis, growth and yield of dwarf bean grown in two environments. *Plant and Soil* **220**: 219-228
- Giczi Zs., Szakál P., Schmidt R., Kalocsai R., Barkóczi M.* (2005): Bázisos cinkkarbonát és napraforgóhamu talajkezelések hatása a burgonya (*Solanum tuberosum*) hozamára és minőségére. *Acta Agronomica Óváriensis*. **47**. (1.) pp. 153-158.
- Kalocsai R.* (2010): A levéltrágyázás szerepe a tápanyagellátásban. *Agro Napló*. 2010/02. pp. 75-76.
- Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P.* (2004): A kukorica cinkhiányát kiváltó okok és gyógyítás lehetőségei. *Agro Napló, Országos Mezőgazdasági Szakfolyóirat*, VIII. évfolyam. **4**. pp. 35-35.
- Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs.* (2005): A mikroelemek hatása az őszi búza minőségére. *Agro Napló IX. évf. 2005/10*. 35-38.p
- Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs.* (2006): A talajvizsgálati eredmények értelmezése. *Agro Napló X. évf. 2006/09*. 35-38.p
- Kádár I.* (2005): Magyarország Zn- és Cu-ellátottságának jellemzése talaj- és növényvizsgálatok alapján. *Acta Agronomica Óváriensis*. **47**. (1.) pp. 11.

- Khan, M. U., Qasim, M., Khan, K.* (2007): Effect of Zn fertilizer on rice grown in different soils of dera ismail khan. *Sarhad J. Agric.* **23**(4), 34-38.
- Kirkby, E. A.* (2005): Essential Elements. In: *Hillel D.* (edit.): *Encyclopedia of soil in the Environment* (pp.478-485)
- Kramer, U., Clemens, S.* (2005): Function and homeostasis of zinc, copper and nickel in plants. *Topics in Current Genetics.* **14**, pp. 215-271.
- Láng F.* (2002): *Növényélettan, a növényi anyagcsere 1.* ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 164-166. 624.
- Lee, C., Craddock, D., Hammar, H.* (1969): Factors affecting plant growth in high-zinc medium. I. Influence of iron on growth of flax at various zinc levels. *Agronomy Journal.* **61**. 562-565
- Lindsay, W.* (1972): Zinc in soil and plant nutrition. *Advances in Agronomy.* **24**. pp. 147-186.
- Liu, D. Y., Zhang, W., Liu, Y. M., Chen, X. P., Zou, C. Q.* (2020): Soil Application of Zinc Fertilizer Increases Maize Yield by Enhancing the Kernel Number and Kernel Weight of Inferior Grains. *Frontiers in Plant Science,* **11**, 188.
- Liu, H., Gan, W., Rengel, Z., Zhao, P.* (2016): Effects of zinc fertilizer rate and application method on photosynthetic characteristics and grain yield of summer maize. *J. Soil Sci. Plant Nutr.,* **16**, 550-562.
- Loch J., Nosticzius Á.* (2004): *Agrokémia és növényvédelmi kémia.* Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Lu, Z. G., Grewal, H. S., Graham, R. D.* (1998): Dry matter production and uptake of zinc and phosphorus in two oilseed rape genotypes under differential rates of zinc and phosphorus supply. *Journal of Plant Nutrition* **21**: 25-38.
- Mandal, B., Mandal, L. N., Ali, M. H.* (1993) Chemistry of zinc availability in submerged soils in relation to zinc nutrition of rice crop. In: *Proceedings of the workshop on micronutrients, Bhubaneswar, India, 22–23 January 1992,* pp 240–253.
- Marschner, H.* (1995): *Mineral nutrition of higher plants.* Academic Press, London.
- Mauritz B., Vendl A.* (1942): *Ásványtan I. Általános Ásványtan.* Magyar Királyi Egyetemi Nyomda, Budapest. 423-439.
- Mazé, P.* (1914): Influences respective des elements de la solution minérale sur le development du mais. *Ann Inst Pasteur (Paris).* 1914;28:21–68

- Mengel K.* (1976): A növények táplálkozása és anyagcseréje. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. pp. 162-163
- Mohsin, A. U., Ahmad, A. U. H., Farooq, M., Ullah, S.* (2014): Influence of zinc application through seed treatment and foliar spray on growth, productivity and grain quality of hybrid maize. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. **24**(5), 1494–1503.
- Mortvedt J. J., Gilkes R. J.* (1993) Zinc Fertilizers. In: Robson A.D. (eds) Zinc in Soils and Plants. Developments in Plant and Soil Sciences, vol. **55**. Springer, Dordrecht.
- Náray-Szabó I.* (1973): *Kémia*, 2. átdolgozott kiadás, Műszaki Könyvkiadó
- Norvell W. A.* (1991): Reactions of metal chelates in soils and nutrient solutions. In: Mortvedt JJ, ed. Micronutrients in agriculture, Vol. 2 Madison, WI: Soil Science Society of America, 187–227.
- Noulas, C., Tziouvakas, M., Karyotis, T.* (2018): Zinc in soils, water and food crops. *J. Trace Elem. Med. Biol.* **49**, 252–260.
- Orabi, A., Mashadi, H., Abdallah, A., Morsy, M.* (1981): Effect of zinc and phosphorus on the grain yield of corn (*Zea mays L.*) grown on a calcareous soil. *Plant and Soil*. **63**. pp. 291-294.
- Pais I.* (1980): A mikrotápanyag szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Peck, A., McDonald, G., Graham, R.* (2008): Zinc nutrition influences the protein composition of flour in bread wheat (*Triticum aestivum L.*). *Journal of Cereal Science*. **47**. pp. 266-274.
- Péntek A., Fazekas Cs.* (2016). A cink hiányának kiváltó okai a talaj-növény rendszerben. *Acta Agraria Kaposváriensis*, **20**(1), 48–61.
- Potarzycki, J., Grzebisz, W.* (2009) Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. *Plant Soil Environment*, **55**, 519-527
- Raulin, J.* (1869): Études cliniques sur la vegetation. *Ann Sci Nat Bot Biol Veg Ser* **5**. **11**:93.
- Rózsa E., Pecze Zs., Nagy L., Szakál P.* (2011): Az esszenciális mikroelemek jelentősége. *Acta Agronomica Óváriensis*. **53**. (1.) pp. 125-129.
- Safa, A., Hakimi, L., Pypker, T. G., Khosropour, E.* (2020): The effect of ZnSO₄ and KNO₃ on quantitative and qualitative properties of *Punica granatum L.* *Journal of Plant Nutrition*, **43**:9, 1286-1292.

- Sager, M.* (2007): Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria. *Soil Biology and Biochemistry*. **39**. 1383-1390.
- Scaife, A., Turner, M.* (1983) *Diagnosis of Mineral Disorders in Plants: Volume 2, Vegetables*. Her Majesty's Stationery Office, London.
- Schmidt R., Szakál P., Beke D., Barkóczi M., Matus L.* (2008): A Zn-komplex vegyület jelentősége a burgonyatermesztésben. *Acta Agronomica Óváriensis*. **50**. (1.) pp. 43-48.
- Schmidt R., Szakál P., Kalocsai R., Barkóczi M., Giczi Zs.* (2003): N-oldat-, valamint Cu- és Zn-kezelés hatása az őszi búza hozamára és nyersfehérjétartalmára. *Mikroelemek a táplálékláncban*. pp. 183-191
- Shahab, Q., Afzal, M., Sarfaraz, Q.*, (2015): Response of maize to different rates and methods of zinc application. *Environment and Plant Systems* **1**, 43-47
- Sharma, C. P.* (2006): *Plant Micronutrients*. Science Publishers, Enfield, NH, USA.
- Shaver, T. M., Westfall, D. G., Ronaghi, M.*, (2007): Zinc Fertilizer Solubility and Its Effects on Zinc Bioavailability Over Time. *J. Plant Nutr.* **30**: 123-133.
- Sillanpää, M.* (1990): Micronutrient assessment at the country level: An international study. *FAO Soils Bulletin*. **63**.
- Singh, J. P., Karamanos, R. E., Stewart, J. W. B.* (1988): The mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Canadian Journal of Soil Science* **68**: 345-358.
- Singh, S., Kumar, S., Natesan, A., Singh, B. K., Usha, K.* (2005): Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. *Current Science*. **88**. pp. 36-44.
- Sommer, A. L., Lipman, C. B.* (1926): Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher green plants. *Plant Physiol.* 1926;1:231-49
- Stefanovits P.* (1975): *Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*.
- Szakál P., Szalka É.* (2008): A Zn-talajkezelés hatása a "Cleopatra" fajtájú burgonya termésátlagára és minőségére. *Acta Agronomica Óváriensis*. **50**. (1.) pp. 49-55.
- Ragab, S.* (1980): Phosphorus effects on zinc translocation in maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. **11**. pp. 1105-1127.
- Rashid, A., Bughio, N., Rafique, E.* (1994): Diagnosis zinc deficiency in rapeseed and mustard by seed analysis. *Communications of Soil Science Plant Analysis*, **25**. 3405-3412

- Robson, A. D., Pitman, M. G.* (1983): Interactions between nutrients in higher plants. In: Lauchli A, Bielecki RL, eds. Encyclopaedia of plant physiology, Vol **15A**. New series. Berlin and New York: Springer-Verlag, 287-312.
- Tóth G., Hengl, T., Hermann T., Makó A., Kocsis M., Tóth B., Berényi Üveges J.* (2015): Magyarország mezőgazdasági területeinek talajtulajdonság-térképei (Soil property maps of the agricultural land of Hungary). EUR 27539, JRC Technical Reports.
- Várallyay Gy., Szabóné Kele G., Berényi Üveges J., Marth P., Karkalik A., Thury I.* (2009): Magyarország talajainak állapota a Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer alapján. Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, Budapest.
- Vazin, F.* (2012): Effect of zinc sulfate on quantitative and qualitative characteristics of corn (*Zea mays*) in drought stress. Cercetari Agronomice in Moldova, **45**(3), 15–24.
- Wallihan, E., Heymann-Herschberg, L.* (1956): Some factors affecting absorption and translocation of zinc in citrus plants. Plant Physiology. **6**. p. 239.
- Zare, M., Khoshgofarmanesh, A., Norouzi, M., Schulin, R.* (2009): Critical soil zinc deficiency concentration and tissue iron: zinc ratio as a diagnostic tool for prediction of zinc deficiency in corn. Journal of Plant Nutrition. **32**. 1983-199.
- Zong, X., Wang, H., Song, Z., Liu, D., Zhang, A.* (2011): Foliar Zn-fertilization impacts on yield and quality in pearl millet (*Pennisetum glaucum*). Frontiers of Agriculture in China. **5**. pp. 552-555.

A szerző levélcíme – Address of the author:

Tóth Endre Andor – Kalocsai Renátó
Széchenyi István Egyetem,
Mezőgazdasági- és Élelmiszertudományi Kar,
H-9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.
E-mail: tothendreandor@gmail.com, kalocsai.renato@sze.hu