



## A cink hiányának kiváltó okai a talaj-növény rendszerben

**Péntek A., Fazekas Cs.**

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Víz- és Környezettudományi Intézet,  
9200 Mosonmagyaróvár, Vár 2.

### ÖSSZEFOGLALÁS

*A nyomelemek közül a cink esszenciális elem, mely nélkülözhetetlen az élőlények életfolyamataihoz. Az elmúlt évtizedekben komoly problémát jelentett az elem hiánya a termőterületeken. A Kárpát-medence számos talajféléseire igaz az abszolút, és relatív cinkhiány, mely befolyásolja a hozamokat, és a termés minőségét, így a területen folyó termelés gazdaságosságát. Az elem szerepének fontosságát a nagy számban megjelent angol nyelvű publikációk jelzik. Összefoglalásukra, magyar nyelven is szükség van. A tanulmány 102 szakirodalom áttekintésével ismerteti az elem fizikai, kémiai tulajdonságait, biológiai szerepét, talajbeli formáit, mozgékonyágát, tápanyag-visszapótlási formáit, és a hiány kontrolálásának, illetve megoldásának lehetőségeit. (Kulcsszavak: növény cinkfelvétele, talaj és lombtrágyázás, cinkhiány)*

### ABSTRACT

#### The cause of zinc deficiency in the soil-plant system

A. Péntek, Cs. Fazekas

Széchenyi István University, Faculty of Agricultural and Food Science, Water and Environmental Science Institute,  
H-9200 Mosonmagyaróvár, Vár 2.

*Among trace elements zinc is essential for optimal physiological processes of living beings. Yet, in recent decades, the deficiency of this element is a major problem in crop areas. The absolute and relative zinc deficiency is true for many types of soil in the Carpathian Basin, influencing yields, the crop quality and, as a result, the economic efficiency. The great number of publications in English language also prove the importance of this element. There is an urgent need for a summary of these publications in Hungarian language. By the review of 102 articles on technical literature, the present study describes the physical and chemical properties of this element, its biological role, its forms of existing in the soil, its mobility, the fertilization possibilities and the possibilities of controlling and compensation.*

(Keywords: plant zinc uptake, soil and foliar fertilization, zinc deficiency)

### BEVEZETÉS

A táplálékláncon keresztül közvetlen, illetve közvetett kapcsolat folyamán a földkéreg szinte minden eleme eljut a differenciált szervezetekhez (Bradshaw és mtsai., 2012). A biotáknak a Földet alkotó elemek közül feltételezhetően 76-ra van szüksége valamilyen élettani funkcióban betöltött szerepük miatt (Kádár, 2005). A feltételezett 76 elemből – melyek szükségesek a flóra, és fauna élőlényeinek – 18-ról bizonyosan állítható, hogy más elemekkel nem helyettesíthetőek. Ezeknek az elemeknek kulcsszerepük van

biokémiai, élettani folyamatokban, nélkülözhetetlenek az élőlény életciklusának befejezéséhez, illetve az életképes utódok létrehozásához (Arnon és Stout, 1939; Raux és mtsai., 2000; Poonkothai és Vijayavathi, 2012).

A cink egy fémes elem, a periódusos rendszer d-mezőjében található, mint átmeneti fém. Rendszáma 30, atomtömege 63,409 g/mol, szobahőmérsékleten kékes színű, rideg. Neve a német Zink névből ered, régiesen horganynak is nevezik.

A „cink” fogalma csak a XVII. században, az anyag „újrafelfedezésével” vált elfogadottá. Georgius Agricola (1490–1555) ismerte fel a cink fizikai sajátosságait, amikor úgynevezett „Zincum”-ot állított elő. Paracelsus (1493–1541) tette világossá, hogy a „Zincum” egy önálló fém. A XVIII. és XIX. században, Európában tűzhorganyzásra, korrózióval szembeni védelemre, illetve sárgarézyártásra használták ötvöző anyagként (<http://www.zinc.org>).

A cink (Zn) növény-, állat-, illetve humánélettani szempontból is bizonyítottan az esszenciális elemek közé tartozik (Pais, 1980; Bohn és mtsai., 1985; Anton és mtsai., 1999; Alloway, 2008). Az esszenciális jellege Sommer és Lipman (1926) által nyert bizonyítást. Az élő szervezetekben a vas után a második leggyakoribb elem a mikroelemek közül (Alloway, 2009).

Az elem kis mennyiségben, 0,001–0,03%-ban fordul elő a talajban, a különböző agyagásványok, mint a biotit  $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ , az aguit  $CaMgSi_2O_6$ , az amfibol  $CaMg_3Si_4O_{12}$  kristályrácsaiban, illetve az alumínium-, és vas-oxidokban (Mauritz és Vendl, 1942; Kirkby, 2005).

A cink mikroelem, hiánya globálisan jelentős tápanyag-ellátási és táplálkozási probléma a növényi és emberi populációk tekintetében. Becsült értékek alapján a gabona vetésterületeinek 50%-a hiányos cink mikroelemből, amelynek hatására a termés hozam, és a beltartalmi értékek romlásával számolhatunk. Cinkhiányos területeken termesztett takarmánynövények és élelmiszeripari alapanyagok nem tartalmaznak elegendő mennyiségű cinket, így ezekben a terményekben jelentkező cinkhiány az emberi táplálékláncon keresztül komoly humántáplálkozási problémákat jelent. Úgy becsülik, hogy a világ népességének közel fele érintett a Zn-hiányban. A Zn-hiány felelős közel 450.000 öt éven aluli gyermek haláláért évente a világon (Graham és mtsai., 1992; Raschid és Rafique, 2002; Black és mtsai., 2008; Cakmak, 2008; Nicolich és mtsai., 2016).

Fontos, hogy a növényi és állati élelmiszer, illetve takarmány alapanyagokban a cink szervesen kötött metalloenzim formában, megfelelő koncentrációban megtalálható legyen, mivel a különböző biokémiai folyamatokban a szervesen kötött cink hasznosul a legmegfelelőbben (Cakmak és mtsai., 1999; Graham és Welch, 2000; Szakál és mtsai., 2006; Bybordi és Mamedov, 2010; Péntek és mtsai., 2014; Nicolich és mtsai., 2016).

A szemle cikk célja, hogy a cinkkel kapcsolatos korábbi és az új tudományos eredményeket logikusan rendszerezze, az esetleges összefüggéseket feltárja, és rávilágítson az újabb módszerekre, információkra.

### Talajaink cinkellátottsága

A talajkolloidok felületén  $Zn^{2+}$ ,  $ZnOH^+$ , illetve  $ZnCl^+$  ion alakjában kötődik, adszorpciós komplexumai erősen megkötik az elemet. A kolloidban gazdagabb talajokban több cink található, tehát a humuszosabb, és nagyobb agyagtartalmú talajokban több cink kötődik meg, mint a homokon (Mengel, 1976; Lotthammer, 1992; Loch és Nosticzius, 2004).

Magyarországi talajok összes cinktartalmát tekintve a homoktalajokban kevesebb (30 mg/kg), az erdőtalajokban közepes (70–115 mg/kg), míg a csernozjom talajokban több (120–150 mg/kg) cink található (Mengel, 1976).

Cinkhiányos talajról akkor beszélünk, ha 0,6–2,0 mg/kg közötti tartományban található a felvehető cinktartalom a laboratóriumi extrakciós módszer függvényében (Singh és mtsai., 2005). Kádár (2005) szerint a talajok kötöttsége szempontjából azok minősülnek cinkből hiányosnak, amelyek homokon ( $K_A$  37 alatt) 1,0 mg/kg, vályogon ( $K_A$  38–50) 2,5 mg/kg, agyagon ( $K_A$  50 felett) 3,5 mg/kg KCl+EDTA Zn-nél kevesebbet tartalmaznak.

A FAO és a MTA-TAKI Talajvédelmi információs és monitoring rendszere (TIM) adatai alapján a hazai talajok mikroelemekben gyengén ellátottak. A hiányos területek minőségi megoszlása tekintetében KCl+EDTA kivonószerezrel meghatározott vizsgálatok alapján cink mennyiségre nézve 18%-ban kevesebb mint 1 mg/kg, 47%-ban 1,0–2,5 mg/kg Zn-et tartalmaznak. Összességében az országosan vizsgált talajok 46%-a cinkben gyengén ellátottnak minősül. Kádár (2012) kutatásai alapján ez az arány elérheti a 55%-ot is. A cinkhiányos területek között találunk savanyú, és meszes talajokat is. Délkelet-Magyarországon, és a Mezőségben megtalálható meszes alapkőzetten kialakult csernozjom, öntés és réti csernozjomok tekintetében gyenge ellátottságot tapasztalunk. Békés és Fejér megyékben a cinkhiányos területek aránya 85–87% (Kádár, 2005; Várallyay és mtsai., 2009; Forró-Rózsa, 2014).

### **A cink növényélettani szerepe**

Az elem növényélettani szerepe elsősorban specifikus és nem specifikus enzimaktivátor funkciójában, és a metalloenzim komplexek kialakításában mutatkozik meg. Összesen több mint 200 enzimen megtalálható (Rashid és mtsai., 1994). A cink az egyetlen elem, amely mind a hat enzim csoport (oxidoreduktázok, transzferázok, hidrolázok, liázok, izomerázok, ligázok) valamelyik enzimjében fellelhető (Broaley és mtsai., 2012).

A szuperoxi-dizmutáz (CuZnSOD) Cu–Zn-tartalmú enzim, amelyben a réz a katalitikus fém szerepét, a cink a strukturális elem funkcióját tölti be. Hozzájárul a szerkezeti stabilitás fenntartásához, a ciszteinnel és az aszpartáttal alkotott ligandumok kapcsán (Abreu és Cabelli, 2010). A szuperoxi-dizmutáz aktivitás erősen csökken a cinkhiány hatására, így az enzim aktivitása jobb indikátora a cinkhiánynak, mint a levélszövet összes cinktartalma (Cakmak és mtsai., 1997; Yu és mtsai., 1999; Hacisalihoglu és mtsai., 2003). A szuperoxi-dizmutáz aktivitásának csökkenése a szuperoxid-anion-gyök számának növekedéséhez vezet, a gyök pedig a membrán lipidek peroxidációjához és az indolecetsav oxidatív lebomlásához vezet. Ez a folyamat végső soron klorózist és növekedésgátlást okoz (Láng, 2002).

Azok az enzimek melyekben a cink enzimalkotó, leggyakrabban egy-egy cinkatomot tartalmaznak, viszont az alkohol-dehidrogenáz és a RNS-polimeráz kettőt, a foszfolipáz hármat, a szénsav-anhidráz pedig hatot. A cink-metalloproteinekben a cink a fehérjemolekulához (cisztein, hisztadin) csatlakozva tetraédes koordinációt hoz létre, ami lehetővé teszi a molekula kapcsolódását a specifikus DNS szekvenciákhoz. A polipeptid lánc 11–13 aminosavból álló hurkokat képez, amelyek így a DNS-hez kapcsolódhatnak. A molekula helikális, ujjszerű (finger) részleteiről kapta a Zn-finger fehérje elnevezést. A Zn a fehérjeszintézisben is részt vesz, a riboszómák strukturális integrálásának fenntartásához szükséges (Sandmann és Böger, 1983; Coleman, 1992; Vallee és Falchuk, 1993; Schmidt és Szakál, 2007; Auld és Bergman, 2008).

A fehérjeszintézisen túl a szénhidrát-anyagcsere egyes enzimjeinek működéséhez is elengedhetetlen. A szénsav-anhidráz-enzim az aldoláz, és a fruktoz-1,6-difoszfát normális működése szintén a megfelelő Zn-ellátáson alapul. Az elem hiányában ezeknek az enzimeknek az aktivitása jelentősen csökken (Láng, 2002).

A cink hatásában párhuzamot mutat a magnéziummal és a mangánnal, illetve azok fiziológiai funkcióival. A megfelelő cinkellátás elősegíti a növényben a triptofán (esszenciális aminosav) szintézisét. A triptofánt pedig az indolecetsav (IES) prekursorának tekintjük (Láng, 2002). Az indolecetsav az auxinok egyik fő vegyületformája (Bonner és Nisley, 2002). A mikroelem hiányának tipikus vizuális tünetei minden esetben megegyeznek az auxin hiányának tüneteivel. A szerző kiemelten említi a "kis leveleket", a többé-kevésbé kifejezett deformációt a levéllemez növekedésében, és a megrövidült internódiumokat azaz a "rozetta formációt" (Zorn és mtsai., 2007b). A cinkhiány hatására a levelek RNS szintje és a sejtbeli riboszómák mennyisége erőteljes csökkenést mutat, amely erősen kihat a fehérje szintézisre, továbbá csökken a növények klorofiltartalma is, ezáltal a leveleken fehér elszíneződés mutatkozik. A klorózis kezdetben a növekvő fiatal növényi részeken jelenik meg, mivel az elem mobilitása alacsony a növényben (Bergmann, 1993).

### A cinkhiány okai

Az elem hiányának közvetett, és közvetlen okait az 1. ábra mutatja be.

#### 1. ábra

#### A növények cink- mikroelem hiányának különböző okai



Figure 1. Various reasons of the plants zinc micronutrient deficiencies (forrás: Alloway, 2008)

A haszonnövényeink cinkszükséglete faj- és fajta specifikus (Alloway, 2008). A növények normálisnak tekinthető cinktartalma 25–150 mg/kg. A cinkhiány általában a 10–20 mg/kg alatti elemkoncentrációnál lép fel (Kabata-Pendias, 2011). Az elem felvehetőségét, illetve mobilitását nagyban befolyásolja az adott elem ionformája, oxidációs foka, kémiai természete, a közeg tulajdonsága, mint például a pH, redoxviszonyok, kelátképzők stb. (Wolf, 1999).

A talaj  $H^+$ -ion koncentrációjának növekedésével a cink oldhatósága, így a mozgékonyasága is növekszik a talajban (Alam és mtsai., 1999; Han és mtsai., 2001; Rimmer és mtsai., 2001). Az elem a pH csökkenésével a toxikus szintet is elérheti, ezzel

párhuzamosan viszont csökken a növények számára hozzáférhető N, P, K, Ca, Mg és Mo mennyisége, mely összefüggést mutat a kilúgozásos folyamatok erősödésével (Stefanovits, 1977; Kaiser, 1996).

## 2. ábra

### Az egyes tápelemek felvehetősége a pH függvényében

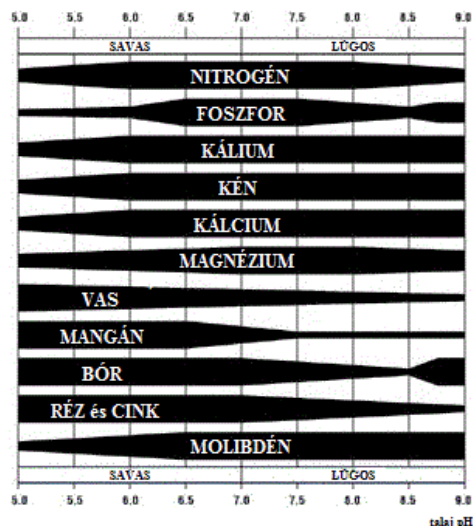


Figure 2. Availability of nutrients in function of pH

(<http://extension.umass.edu/landscape/fact-sheets/nutrient-management-ornamentals>)

Az elem felvételi és mozgékonyági optimuma 5,8–6,5 közötti pH tartományában van (2. ábra) (Györi, 1987; Füleky, 1999; Wolf, 1999; Taiz és Zeiger, 2010). 7,7 pH alatt  $Zn^{2+}$ ; 7,7 pH felett pedig  $Zn(OH)_2$  formában található a talajban (Filep, 1999). A talaj kémhatása erősen befolyásolja a benne élő mikrobiális folyamatokat. A mikrobiológiai tevékenység módosítja a Cu, Zn, Mn, Al és a Mo mikroelemek oldhatóságát és oxidációs állapotát, így a talaj pH-ja komplexen hat az elem felvehetőségére (Schmidt és Szakál, 2001).

A cink kémiai, fizikai és biológiai kölcsönhatásban van a különböző tápelemekkel (Lambert és mtsai., 1979). A relatív hiánya származhat a kalciummal, illetve foszforral való antagonizmusából (Kabata-Pendias, 2011). A kalcium miatt fellépő indukált cinkhiány az olyan karbonátos talajoknál jelentkezik, amelyeknél a  $CaCO_3\%$  egyenértékben megadott kalcium vagy magnézium meghaladja a 15%-os értéket, és a felszíni réteg legalább 5%-kal több karbonátot tartalmaz, mint az alatta lévő réteg (Alloway, 2008; Holloway és mtsai., 2008). Marschner (1997) kutatásai alapján, az antagonizmus oka a talajban lévő nagy  $CaCO_3$ -tartalom, valamint a képződött  $Zn(OH)_2$  és  $ZnCO_3$  gyenge vízdékonysága. A meszes talajokban, ahol sok a kalcium és semleges a pH, a cinknek több mint a fele kelátkötésben található (Taiz és Zeiger, 2010). Bergmann (1993) és Turán (2003) kutatásai alapján a szuperfoszfát hosszú időn át tartó használatával a kukoricán és a babon cink-hiánytünetek alakulhatnak ki. Marschner és Schropp (1977) szerint már 150:1 felett kritikus lehet a foszfor–cink arány, de ez növényfajonként és -fajtánként, illetve kísérleti helyenként is változhat (Alloway, 2008).

Hazánkban a P:Zn arány ideális értéke 50:1–150:1 közöttire tehető. *Kádár* (2008) szerint a foszfor által indukált cinkhiány akkor jelentkezik, amikor a P:Zn arány 200:1 fölé emelkedik. *Izsáki* (2011) kutatásai alapján a relatív hiány főként a 330:1-nél tágabb P:Zn aránynál jelentkezik csernozjom réti talajon. Száraz aszályos években a foszfor indukálta cinkhiány erősebben jelentkezhet, nagyobb termésnövekedést eredményezve a foszfor túlkínálat hatására (*Hermann és mtsai.*, 2014). A P x Zn antagonizmus jelenségének magyarázata (a régebbi hipotézisekkel ellentétben) nem a képződő cinkfoszfát a talajban, mert a  $Zn_3(PO_4)_2$  megfelelő cink- és foszforforrásul szolgálhat. A foszfor túlsúly gátolja a cink növénybeli transzportját, és csökkenést okoz a növényi biomassza produktumban (*Aduloju*, 2004; *Ogunwale és mtsai.*, 2002), tehát a P x Zn antagonizmus a növényben játszódik le, faj illetve fajta specifikus (*Kádár és Shalaby*, 1984; *Bergmann*, 1993; *Bennett*, 1996; *Li és mtsai.*, 2003; *Kádár*, 2008). A növekvő foszfor-ellátás erős cinkhiányt indukál és foszfor toxicitási tüneteket eredményez érközi klorózis formájában. Az abszolút és/vagy relatív cinkhiányos növényeknél a foszforszállításnak a visszacsatolási mechanizmusa károsodik. A cinkhiányos növényeknél a foszfor mindössze 7,8%-a szállítódik bazipetálishan. Normál esetben a kedvező cinkellátottságú növényeknél ez az érték 43% volt. A P:Zn arány eltolódásának, valamint a levelek erősen eltérő P- és Zn-tartalmának az oka, hogy a cinkhiány által kiváltott rendellenesség következtében a gyökerekből a levelek irányába történő cinkszállítás lecsökken, a P-szállítás pedig megnő (*Cakmak és Marschner*, 1986; *Bokhtiar és Sakurai*, 2003; *Natharja és mtsai.*, 2005). *Das és mtsai.* (2005) kutatásai alapján az előbbieken tárgyalt antagonizmus jelensége megszüntethető talaj illetve lombtrágyázással, ha a két elem aránya megfelelően alakul a növényben.

A cinkhiány okai között megemlítendő a legősibb pótlási módszerének, a szerves istállótrágyázásnak a hiánya. *Sager* (2007) kutatásai alapján a különböző istállótrágyák cinktartalma 164–1156 mg/kg között változhat szárazanyagra vonatkoztatva a haszonállat faja és a takarmány elemtartalma függvényében. A szerves trágya mikroelem-tartalma az alkalmazás évben a növények számára nem teljes mértékben áll rendelkezésre, viszont közép- és hosszú távú mikroelem ellátást biztosít a növények számára. A rendszeres szerves trágyázás ezért ritkán teszi szükségessé a célzott mikroelem trágyázást (*Zorn és mtsai.*, 2007a).

Az elem esetében említést kell tennünk a talaj humuszanyagaival való kapcsolatáról is. *Kádár* (2005) szerint a humifikát vegyületek (huminsavak, fulvosavak) a mikroelemeket komplex formában kötik ún. fémhumát komplexek formájában. A huminsavval alkotott komplexek a nagy molekulásúly miatt kicsapódva a szilárd fázisban a növények számára kevésbé felvehetőek. Ezzel szemben a fulvósavval alkotott fémkomplexek inkább a talaj folyékony fázisában maradván a növények számára felvehetőek. *Wong és mtsai.* (2007) szerint is az oldott szerves anyag mennyisége fontos befolyásoló tényező a Zn mobilitását tekintve a talajban 7–7,5 pH tartományban.

A talajpórusok vízzel való telítődése az árvíz sújtotta talajokon, illetve az árasztásos öntözéssel termesztett rizsnél okozhat nyomelem hiányt (*Moslehuddin és mtsai.*, 1997; *Neue és mtsai.*, 1998; *Savithri és mtsai.*, 1999).

### Az elem visszapótlásának lehetőségei

A haszonnövényeinknél a gazdasági hozam elérése érdekében a számukra szükséges tápelemeket talajon és lombozaton keresztül biztosítjuk. A talajon keresztüli visszapótlást a növények számára nagy mennyiségben szükséges elemeknél alkalmazzuk leggyakrabban. A talajtrágyázásnál elsősorban a talajvizsgálatok eredményei a

meghatározóak, míg a lombrágyázás szükségességét növényi szövet- és talajvizsgálatok, esetlegesen a lombozaton megjelenő hiánytünetek teszik szükségessé. A hiánytünetek megjelenése esetén, már elkerülhetetlen a növényi produktum minőségbeli, és mennyiségi csökkenése. Bizonyos körülmények között a lombozaton keresztüli növénytáplálás hatékonyabb, és gazdaságosabb egyes elemek tekintetében (*Schmidt és mtsai.*, 2005; *Szakál és mtsai.*, 2006.,).

Az elem pótlására három fő vegyületkört alkalmazunk: a szerves cink sókat, cink kelátokat, illetve természetes szerves komplexeket. A vegyületkörökben jelentős eltérés van a cinktartalom, az ár és a hasznosulás tekintetében különböző talajokon és haszonnövények estében (*Alloway*, 2008).

A növényfajoknak eltérő a cink mikroelem-felvétele. A cink felvételét befolyásolja a vegyület formája. A növények a talajból  $Zn^{2+}$ -ion formájában, illetve komplex formában jól hasznosuló ligandumokkal képesek felvenni a cinket (*Lezny és mtsai.*, 2005; *Tsonev és Lidon*, 2012). A növények gyökéren keresztüli tápanyagfelvételének alapvető feltétele, hogy a tápelem ionjának el kell jutnia a gyökér felületére. Ennek a fizikai folyamatnak három lehetséges módja van:

- a gyökér intercepcióval (root interception),
- a tápelem-ionok talajoldattal történő áramlása, az anyagáramlás (mass flow), és
- a tápelem-ionok diffúziója a talajoldatban (diffusion) (*Marschner és Rengel*, 2012).

A gyökéren keresztüli felvétel után az elem növényi transzlokációja a xilémen (farész) keresztül történik a szimplasztba, és az apoplasztba (*Broadley és mtsai.*, 2007). Nagy mennyiségű cink mutatható ki a floém (háncsrész) szállító nyálábjaiban, tehát a xilém és a floém egyaránt részt vesz az elem transzlokációjában (*Pearson és mtsai.*, 1995; *Haslett és mtsai.*, 2001).

A talajon keresztüli cink pótlására főként fémsókat alkalmazunk. Így a talajba került agyagásványokon, és a humusz kolloidokon megkötött  $Zn^{2+}$ -ionok biztosítják a hozzáférést a növények számára az elemhez. A talajon történő pótlás hátránya, hogy nagy mennyiségű cinkvegyület (30–80 kg/ha) kijuttatása szükséges. A nagy mennyiség ellenére is meglehetősen költséghatékony, mivel a kívánt területen 15–18 évig megfelelő cinkellátást biztosít az ott termesztett növénykultúrák számára (*Szakál és mtsai.*, 1988; *Schmidt és mtsai.*, 2002; *Szakál és mtsai.*, 2005).

A lombrágyázásnak kulcsfontosságú szerepe van a növények tápanyag- visszapótlási rendszerében (*Pecznik*, 1976). Annak ellenére, hogy a növények levelei specializálódtak a fény és a  $CO_2$  megkötésére, azon képességüket sem veszítették el, hogy a vizet és a tápanyagokat is képesek hasznosítani. Ezt a tulajdonságot már régóta ismeri és használja a mezőgazdaság (*Fernández és Eichert*, 2009). A lombrágyázásnak egyik jellemzője, hogy a növények tápelemekkel szembeni igényét csak részben tudja kielégíteni. A talajon keresztüli növénytápláláson felül kiegészítésként kell alkalmazni a fellépő hiánytünetek megjelenése előtt. Abban az esetben, ha a növényvédőszer és a lombrágya keverhető, az együttes kijuttatás nem igényel külön beavatkozást, így az eljárás költséghatékonyabb (*Réder és mtsai.*, 2006; *Kádár*, 2008). A lombrágya hasznosulása erősen függ a vizsgált vegyület tulajdonságaitól, a növény fenológiai fejlődési szakaszától, a fajlagos levélfelület nedvesíthetőségétől, amelyet a kutikula rétegösszetétele befolyásol. A kutikula az epidermisz sejtek által szintetizált bio-polimer anyag keveréke, összetétele faj-, illetve fajta specifikus (*Heredia-Guerrero és mtsai.*, 2008; *Pollard és mtsai.*, 2008).

A lombrágya levéllemezbe való bekerülése az oldott anyag, illetve a levél belső szövetes állománya közti koncentráció-különbség miatti passzív transzport

következtében jön létre (Eichert és Fernandez, 2012). A lombozaton alkalmazott tápanyagok behatolhatnak a levéllemez felületén, a kutikulán és a gázcserenyílásokon keresztül. A kutikulán keresztüli, illetve a sztómákon átjutó anyagok jelentőségéről még mindig folyik a vita, de bizonyíték van arra, hogy mindkét út lehet egyformán fontos (Eichert és Goldbach, 2008). A sztómális hasznosulás függ a sztómák sűrűségétől is, amely fajonként 20–800 db/mm<sup>2</sup> között változik (Eichert és Fernandez, 2012). A kutikula kémiai tulajdonságai alapján, a lombozaton használt, főként ionos vegyületek nem hasznosulhatnak, mivel nagyon kicsi az oldékonyságuk a kutikula felső rétegében. Így az oldódási-diffúziós modell alapján minimális lenne az átjutásuk a levelek kutikularétegén. A gyakorlat alapján mégis fontos szerepük van a növénytáplálásban a levél felületére került vegyületeknek (Schreiber, 2006; Schönherr, 2006).

### A cink toxicitása

A cink nagyobb koncentrációban erősen toxikus (Hanuer és mtsai., 2012; Kádár, 2012). A toxicitás határa függ a növény fajtától, a genotípustól, és a fenológiai fázistól. Általában 100–500 mg/kg közötti értékre tehető a növényi részekben (Zhao és mtsai., 2010). A növények a fejlettebb homeosztatisz mechanizmusai miatt hajlamosabbak elviselni az emelkedett cink koncentrációt, mint a talajfauna, és a mikroorganizmusok (Alloway, 2008). A növények általános tápanyagigényét a növényi növekedés idealizált görbéje mutatja (Taiz és Zeiger, 2010). A görbén a hiányzóna, és a megfelelő növekedést jelentő szakasz határán találjuk az alsó kritikus koncentrációt, ami a maximális növekedés 90%-át biztosítja. A görbe optimális, illetve felesleges tápanyagfelvételt nyújtó vagy mérgező toxikus szakasza között találjuk a felső kritikus tápanyag koncentrációját. A felső kritikus tápanyag koncentráció határozza meg az adott elem növénybeli toxicitását (Alloway, 2008; Taiz és Zeiger, 2010). A talajok cinktartalma a toxikus mennyiséget a mezőgazdasági rendszerekben ritkán éri el (Alloway, 2008). A toxicitás főként bányászati és kohászati tevékenységet folytató üzemek közelében, és ezek szennyvíziszapjával szennyezett területein jelentkezhet (Broadley és mtsai., 2007). A túlzott cinkellátás, illetve cink toxicitás leggyakrabban a fiatal levelek klorózisában mutatkozik meg. A tünet oka lehet a magnézium vagy a vas indukált hiánya, mivel mindkét elem ionjai (Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>) hasonló ionátmérővel rendelkeznek, mint a Zn<sup>2+</sup>. A klorózist kiválthatja a mangán hiánya is. A magas cinkellátottság erősen csökkenti a növények mangán koncentrációját is (Broadley és mtsai., 2012).

### KÖVETKEZTETÉSEK

A talajok cink mikroelemből hiányt mutatnak. Akár relatív, akár abszolút értelemben vett hiány esetében orvosolnunk kell a problémát. A szakirodalmi adatok alapján, a relatív hiány főként a Ca és a P elemekkel szembeni antagonista kapcsolat révén merül fel haszonnövényeinknél. Az elemek kapcsolatrendszer, antagonizmusa erőteljesen termőhely és természetű növényfaj, illetve fajta specifikus. Emellett a tápanyag visszapótlás általában csak a főbb makroelemekre terjed ki, ami az elemkoncentrációk különbségeinek szélesedéséhez vezet, így az antagonizmus kialakulásának is erősen kedvez. A kalcium és a foszforral kapcsolatos antagonizmusok körülményeinek kutatása, hazánk heterogén adottságai miatt indokolt.

Az elem hiányának kimutatásával kapcsolatosan számos elfogadott módszer létezik. Ezek közül a SOD enzim aktivitás mérését emeljük ki. A metaloenzim komplex, illetve



az enzim aktivitása növényélettani szempontból lényegesen meghatározóbb, mint a növényi rész cinktartalma. A különböző cinkhiányos talajok cinkvisszapótlása szempontjából a szervestrágyázás fontossága hangsúlyozandó, hiszen egy gyenge szervestrágyázással (15 t/ha) (Árendás, 2006) már fedezhető az ott termesztett növények cink mikroelem szükséglete.

A cink műtrágyázás szempontjából nagy jelentősége van a különböző ipari folyamatokban keletkező olyan melléktermékeknek, amelyek nagy koncentrációban tartalmazzák az elemet. A cinktrágya használata esetén meghatározó a tápelemet tartalmazó vegyület minősége. A gyakorlatban használt cinktrágya vegyületformák (szervetlen és szerves) az adott haszonnövény, illetve a termőhely tényezői alapján kiválaszthatók (Alloway, 2008). A relatív, de akár az abszolút cinkhiány esetén is haszonnövényeiknél megszüntethető az elem hiánya a kis költségvonzattal megjelenő lombkezeléssel.

## IRODALOM

- Abreu, I.A., Cabelli, D.E. (2010): Superoxide dismutases – a review of the metal-associated mechanistic variations. *Biochim. Biophys. Acta.* 1804. 263-274.
- Aduloju, M.O. (2004): Acid Extractable Micronutrients (Mn and Zn) in selected soils of vegetable producing areas of Kwara State, Nigeria. *Nigerian Journal of Horticultural Science.* 9. 116-119.
- Alam S.M., Maqvi S.S.M., Ansari R. (1999): Impact of soil pH nutrient uptake by crop plants. In Pessarakli M. (edit.): *Handbook of Plant and Crop Stress* 2<sup>nd</sup> Ed. Marcel Dekker AG, Basel. 51-60.
- Alloway B.J. (2009): Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health,* 31, 537-548.
- Alloway B.J. (2008): *Zinc in Soils and Crop Nutrition.* IZA Publications. International Zinc Association, Brussels.
- Anton, A., Dura, Gy., Gruiz, K., Horváth, A., Kádár, I., Kiss, E., Nagy, G., Simon, L., Szabó P. (1999): Talajszennyezés, Talajtisztítás. Neotipp Bt. Budapest. 8-9.
- Árendás, T. (2006): Tápanyag-gazdálkodás, növénytáplálás. In: (Szerk) Birkás, M. *Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó,* 179-247.
- Arnon, D.L., Stout P.R. (1939): The essentiality of some elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol.,* 14. 371-375.
- Auld, D.S., Bergman, T. (2008): The role of zinc for alcohol dehydrogenase structure and function. *Cellular and Molecular Life Sciences,* 65. 3961-3970.
- Bennett, W.F. (1996): *Nutrient Deficiencies Toxicities in Crop Plants.* APS Press. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota. (1-7). 99-103.
- Bergmann, W. (1993): *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen.* 3. Auflage. Gustav-Fischer-Verlag, Jena-Stuttgart.
- Black, R.E., Allen, L.H., Bhutta, Z.A., Caulfield, L.E. Onis, M., Ezzati, M., Mathers, C., Rivera, J. (2008): Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences. *Lancet,* 371. 243-260.
- Bohn, H.L., McNeal, B.L., O'Connor G. A. (1985): *Talajkémia. Mezőgazdasági Kiadó - Gondolat Kiadó, Budapest.* 24.
- Bokhtiar, S.M., Sakurai, K. (2003): Sugarcane Response to Soil Phosphorus, *Better Crops International.* 17. 1. 20-25.
- Bonner, F.T., Niesley, R.T. (2002): *Woody-Plant Seed Manual.* Chapter 1, USDA-Forest Service, Washington DC.

- Bradshaw, C., Kautsky, U., Kumblad L. (2012): Ecological Stoichiometry and Multi-element Transfer in a Coastal. Ecosystem, 15. 4. 591-603.
- Broadley M.R., White, P.J., Hammond, J.P., Zelko, I., Lux, A. (2007): Zinc in plants. *New Phytologist*, 173. 677-702.
- Broaley, M., Brown, R., Cakmac, I., Rengel, Z., Zhao F. (2012): Function of Nutrient: Micronutrients. In Marschner P. (edit.): *Mineral Nutrition Higher Plants 3<sup>rd</sup> Ed.* Chapter 7. Academic Press, USA.
- Bybordi, A., Mamedov, G. (2010): Evaluation of Application Methods Efficiency of Zinc and Iron for Canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 2. 94-103.
- Cakmak, I. (2008): Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302. 1-17.
- Cakmak, I., Derici, R., Torun, B., Tolay, I., Braun, H.J., Schlegel, R. (1997): Role of rye chromosomes in improvement of zinc efficiency in wheat and triticale. *Plant and Soil*, 196. 249-253.
- Cakmak, I., Kalaycı, M., Ekiz, H., Braun, H. J., Kılınç, Y., Yılmaz, A. (1999): Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO-science for stability project. *Field Crops Research*, 60. 1. 175-188.
- Cakmak, I., Marschner, H. (1986): Mechanism of phosphorus – induced zinc deficiency in cotton. I. Zinc deficiency – enhanced uptake rate of phosphorus. *Physiologia Plantarum*, 68. 3. 483-490.
- Coleman, J.E. (1992): Zinc proteins: enzymes, storage proteins, transcription factors, and replication proteins. *Annu. Rev. Biochem.*, 61. 897-946.
- Das, K., Dang, R., Shivananda, T.N., Sur, P. (2005): Effect Between Phosphorus and Zinc on their Availability in Soil in Relation to their Contents in Stevia (*Stevia rebaudiana*). *The Scientific World Journal*, 5. 490-495.
- Eichert, T., Fernandez, V. (2012): Uptake and Release of Elements by Leaves and Other Aerial Plant Parts. In Marschner P. (edit.): *Mineral Nutrition Higher Plants 3<sup>rd</sup> ed.* Academic Press, USA.
- Eichert, T., Goldbach, H.E. (2008): Equivalent pore radii of hydrophilic foliar uptake routes in stomatous and astomatous leaf surfaces – further evidence for a stomatal pathway. *Physiology Plantarum*, 132. 491-502.
- Fernández, V., Eichert, T. (2009): Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28. 36-68.
- Filep, Gy. (1999) Talajtani alapismeretek. Debreceni Center-Print Nyomda, Debrecen. 204-205.
- Forró-Rózsa, E. (2014): Réz a talajban, *Acta Agronomica Óvariensis*. 56. 1. 97-108.
- Fülek, Gy. (1999) Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 67. 70-71.
- Graham, R.D., Ascher, J.S., Hynes, S.C. (1992): Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status, *Plant and Soil*. 146. 241-250.
- Graham, R.D., Welch, R.M. (2000): Plant food micronutrient composition and human nutrition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31. 1627-1640.
- Gyóri, D. (1987): A talaj termékenységé. *Mezőgazdasági kiadó, Budapest*.
- Hacisalihoglu, G., Hart, J.J., Wang, Y.H., Cakmak, I., Kochian, L.V. (2003): Zinc efficiency is correlated with enhanced expression and activity of zinc-requiring enzymes in wheat. *Plant Physiology*, 131. 595-602.
- Han, F.X., Kingerly, W.L., Selim, H.M. (2001): Accumulation, Redistribution, Transport and Bioavailability of Heavy Metal in Waste-Amended Soils. In Iskandar I.K. -

- Kirkham M.B. (eds.): Trace Element in Soils Bioavailability, Flux, and Transfer. Lewis Publisher, Washington D.C. 145-169.
- Hanauer, T., Jung, S., Felix-Henningsen, P., Schnell, S., Steffens, D. (2012): Suitability of inorganic and organic amendments for in situ immobilization of Cd, Cu, and Zn in a strongly contaminated Kastanozem of the Mashavera valley, SE Georgia. I. Effect of amendments on metal mobility and microbial activity in soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175. 5. 708-720.
- Haslett, B.S., Reid, R.J., Rengel, Z. (2001): Zinc mobility in wheat: uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. *Annals of Botany*, 87. 379-386.
- Heredia-Guerrero, J.A., Benítez, J.J., Heredia, A. (2008): Self-assembled polyhydroxy fatty acids vesicles: a mechanism for plant cutin synthesis. *Bioessays*, 30. 273-277.
- Hermann, T., Kismányoki, T., Tóth, G. (2014): A foszfor-ellátottság hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termőképességére mezőségi és barna erdőtalajú termőhelyeken, különböző évjáratokban. *Növénytermelés*, 63. 1. 5-21.
- Holloway, R.E., Graham, R.D., Stacey, S.P. (2008): Micronutrient deficiencies in Australian field crops, Chapter 3. In Alloway B.J. (edit.): *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production*. Springer, Dordrecht. 63-92.
- Izsáki, Z. (2011): A kukorica P-tápláltsága és a foszfor-cink kölcsönhatás műtrágyázási tartamkísérletben csernozjom réti talajon. *Agrokémia és Talajtan*, 60. 147-160.
- Kabata-Pendias, A. (2011): *Trace Elements in Soil and Plants 4<sup>th</sup> Ed.* CRC Press, Ltd. Boca Raton. Florida, USA. 275. 277. 281.
- Kádár, I. (2005): Magyarország Zn és Cu ellátottságának jellemzése talaj- és növényvizsgálatok alapján, *Acta Agronomica Óváriensis*. 47. 1. 11-25.
- Kádár, I. (2008): A mikroelem kutatások eredményeiről, különös tekintettel a Cu és Zn elemekre. *Acta Agronomica Óváriensis*. 50 1. 9-12.
- Kádár, I. (2012): A főbb szennyező mikroelemek környezeti hatása. Magyar Tudományos Akadémia ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet, Budapest. 7-8. 183-185.
- Kádár, I., Shalaby, M.H. (1984): A foszfor és cink trágyázás közötti kölcsönhatások vizsgálata meszes homoktalajon. *Agrokémia és Talajtan*. 33. 261-267.
- Kaiser, J. (1996): Acid rain's Dirty Business: Stealing Minerals From Soil, *Science*. 272. 5259. 0-198.
- Kirkby, E.A. (2005): Essencia elemnets. In: Hillel D. (edit.): *Encyclopedia of soil in the Environment 1*.
- Lambert, D.H., Baker, D.E., Cole, H. (1979): The Role of Mycorrhizae in the Interactions of Phosphorus with Zinc, Copper, and Other Elements, *Soil Science Society of America*. 43. 5. 976-980
- Láng, F. (2002): *Növényélettan, a növényi anyagcsere 1.* ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 164-166. 624.
- Lezny, J., Závodská, L., Szakál, P., Schmidt, R. (2005): Radioindicator study of Zn, Cd, and Sr sorption on natural zeolites. *Acta Agronomica Óváriensis*, 47. 1. 27-37.
- Li, H.Y., Zhu, Y.G., Smith, S.E., Smith, F.A. (2003): Phosphorus-Zinc Interactions in Two Barley Cultivars Differing in Phosphorus and Zinc Efficiencies. *Journal of Plant Nutrition*, 26. 1085-1099.
- Lipman C.B. (1926): Evidence on the indispensable nature of zink and born for higher green plants. *Plant Physiology*, 1. 3. 231-249.
- Loch, J., Nosticzius, Á. (2004): *Agrokémia és növényvédelmi kémia.* Mezőgazda Kiadó, Budapest, 107.

- Lotthammer, K.H. (1992): Fütterung und Fruchtbarkeit von Milchrindern. Züchtungskunde, 64. 432-446.
- Marschner, H. (1997): Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Academic Press, New York, 11. 361-362. 549-559.
- Marschner, H., Schropp, A. (1977): Vergleichende Untersuchungen über die Empfindlichkeit von 6 Unterlagensorten der Weinrebe gegenüber Phosphat-induzierten Zink-Mangel. Vitis, 16. 79-88.
- Marschner, P., Rengel, Z. (2012): Nutrient Availability in Soils. In Marschner P. (edit.): Mineral Nutrition Higher Plants 3<sup>rd</sup> Ed. Chapter 12. Academic Press, USA.
- Mauritz, B., Vendl, A. (1942): Ásványtan I. Általános Ásványtan. Magyar Királyi Egyetemi Nyomda, Budapest. 423. 439.
- Mengel, K. (1976): A növények táplálkozása és anyagcseréje. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 162-163.
- Moslehuddin, A.Z.M., Laizoo, S., Egashira, K. (1997): Fertility status of Bangladesh soils – A review. Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University, 41. 257-267
- Natharja, T.H., Halepyati, A.S., Desai, B.K., Pujari, B.T. (2005): Interactive Effect of Phosphorus Zinc and Iron on the Productivity and Nutrient Uptake by Wheat (*Triticum durum* Desf.). Karnataka Journal of Agricultural Sciences, 18. 4. 907-910.
- Neue, H.U., Quijano, C., Senadhira, D., Setter, T. (1998): Strategies for dealing with micro-nutrient disorders and salinity in lowland rice systems. Field Crops Research, 56. 139-155.
- Nikolic, M., Nikolic, N., Kostic, L., Pavlovic, J., Bosnic, P., Stevic, N., Hristov, N. (2016): The assessment of soil availability and wheat grain status of zinc and iron in Serbia: Implications for human nutrition, Science of The Total Environment. 553. 141-148.
- Ogunwale, J.A., Olaniyan, J.O., Aduloju, M.O. (2002): Morphological, physico-chemical and clay mineralogical properties of soils overlying basement complex rocks in Ilorin east, Nigeria, Moor Journal of Agricultural Research. 3. 2. 147-154.
- Pais, I. (1980): A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 13. 37. 63.
- Pearson, J.N. Rengel, Z., Jenner, C.F., Graham, R.D. (1995): Transport of zinc and manganese to developing wheat grains. Physiology Plantarum, 95. 449-455.
- Peczник, J. (1976): Levéltrágyázás. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 8.
- Péntek, A., Barkóczi, M., Szakál P. (2014): Őszi káposztarepce (*Brassica napus* L.) lombkezelésének hatása a hozamra, és a minőségre. XXXV. Óvári Tudományos Nap. ISBN: 978-963-334-194-0
- Pollard, M., Beisson, F., Li, Y., Ohlrogge, J.B. (2008): Building lipid barriers: biosynthesis of cutin and suberin. Trends Plant Science, 13. 236-246.
- Poonkothai, M., Vijayavathi, S.B. (2012): Nickel as an essential element and a toxicant. Internacional Journal of Environmental Sciences, 1. 4. 285-288.
- Raschid, A., Rafique, E. (2002): Boron deficiency in cotton grown in calcareous soils of Pakistan. II. Correction and criteria for foliar diagnosis. In Goldbach et al. (eds.): Boron in Plant and Animal Nutrition. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- 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.

- Raux, E., Schubert, H.L., Wallen, M.J. (2000): Biosynthesis of cobalamin (vitamin B<sub>12</sub>): a bacterial conundrum. *CMLS Cellular and Molecular Life Sciences*, 57. 1881-1893.
- Réder, O., Csatai, R., Szakál, P. (2006): Az őszi búza réz-tetraminhidroxid komplexes kezelésének gazdasági vizsgálata. *Acta Agronomica Óvariensis*, 47. 1. 173-180.
- Rimmer, D.L., Reichman, S.M., Menzies N.W. (2001): Bioavailability of Cu, Zn, and Mn in Contaminated Soils and Speciation in Soil Solution. In: Iskandar I.K., Kirkham M.B. (eds.): *Trace Element in Soils Bioavailability, Flux, and Transfer*. Lewis Publiciser, Washington D.C., 77-87.
- Sager, M. (2007): Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria. *Soil Biology and Biochemistry*, 39. 1383-1390.
- Sandmann, G., Böger, P. (1983): The enzymatological function of heavy metals and their role in electron transfer processes of plants. In: Läuchli, A., Bielecki R. L. (eds.): *Encyclopedia of Plant Physiology*. Springer-Verlag, Berlin and New York, 563-593.
- Savithri, P., Perumal, R., Nagarajan, R. (1999): Soil and crop management technologies for enhancing rice production under micronutrient constraints. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 53. 83-92.
- Schmidt, R., Kalocsai, R., Tóásó, Gy., Szakál, P. (2002): Mikroelemek szerepe és felhasználhatóságuk a növénytermesztésben. *Magyar Tudomány Napja. Kémiai Intézet Tudományos Ülése*. 70-73.
- Schmidt, R., Szakál P. (2001): Trágyázás és talajjavítás a fenntartható növénytermesztési rendszerekben. In: Birkás M. (szerk.): *Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban*. Akaprint, Budapest, 189-228.
- Schmidt, R., Szakál, P. (2007): Zn Fertilization of Wheat Hiegher Protein, Lower Carbohydrate Content. *Cereal Research Communication*, 35. 2. 1041-1044.
- Schmidt, R., Szakál, P., Kalocsai, R., Giczi, Zs. (2005): The effect of copper and zinc treatments and precipitation on the yield and baking quality of wheat. *Acta Agronomica Óvariensis*, 47. 1. 196-201.
- Schönherr, J. (2006): Characterization of aqueous pores in plant cuticles and permeation of ionic solutes. *Journal of Experimental Botany*, 57. 2471-2491.
- Schreiber, L. (2006): Review of sorption and diffusion of lipophilic molecules in cuticular waxes and the effects of accelerators on solute mobilities. *Journal of Experimental Botany*, 57. 2515-2523.
- Singh, B., Natesan, S.K.A., Singh, B.K., Usha, K. (2005): Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. *Current Science*, 88. 1. 36-44.
- Sommer, A.L., Stefanovits, P. (1977): *Talajvédelem, környezetvédelem*. Mezőgazdasági kiadó, Budapest, 40-51.
- Szakál, P., Kerekes, G., Schmidt, R., Barkóczy, M., Giczi, Zs., Kalocsai, R. (2005): Influencing the organic matter content of potato by macro and trace element fertilisers. IV. *Alps-Adria Scientific Workshop*, Portoroz, Slovenia. 415-418.
- Szakál, P., Schmidt, R., Barkóczy, M. (1988): The agricultural utilization of Zn-containing industrial waste. *Hazardous Waste: Detection, Control, Treatment*. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam. 1355-1359.
- Szakál, P., Schmidt, R., Barkóczy, M., Kalocsai, R., Beke, D., Csatai R. (2006): N-containing copper complexes in wheat production. *Proceedings of the V. Alps-Adria Workshop Opatija, Croatia, 6-11 March, Cereal Research Communications*, 34. 1. 681-684.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2010): *Plant Physiology*, 5th Edition. The Benjamin Cummings Publishing Company, Redwood City - California.

- Tsonev, T., Lidon, F.J.C. (2012): Zinc in Plants – an Overview. Emirates Journal of Food and Agriculture, 24. 4. 322-333.
- Turán, L.T. (2003): Foszfor-cink kölcsönhatás-vizsgálatok a trágyázási kutatásban. Agrokémia és Talajtan, 52. 185-194.
- Vallee, B.L., Falchuk, K.H. (1993): The biochemical basis of zinc physiology, Physiol. 73. 79-118.
- Várallyay, Gy., Szabóné Kele, G., Berény, Üveges, J., Marth, P., Karkalik, A., Thury, I. (2009): Magyarország talajainak állapota (a talajvédelmi információs és monitoring rendszer (TIM) adatai alapján). Földművelésügyi Minisztérium Agrár-környezetvédelmi Főosztály, Budapest. 68.
- Wolf, B. (1999): The Fertile Triangle: The relationship of Air, Water, and Nutrients in Maximizing Soil Productivity. Food Product Press, an imprint of The Haworth Press Inc., 10 Alice Street, Binghamton, NY. 159 150-157.
- Wong, J.W.C., Li, K.L., Zhou, L.X., Selvam, A. (2007): The sorption of Cd and Zn by different soils in the presence of dissolved organic matter from sludge. Geoderma, 137. 310-317.
- Yu, Q., Wortha, C., Rengel, Z. (1999): Using capillary electrophoresis to measure Cu/Zn superoxide dismutase concentration in leaves of wheat genotypes differing in tolerance to zinc deficiency, Plant Science, 143. 231-239.
- Zhao, A.Q., Bao, Q.L., Tian, X.H., Lu, X.C., Gale, W.J. (2010): Combined effect of iron and zinc on micronutrient levels in wheat (*Triticum aestivum* L.), Journal of Environmental Biology, 32. 235-239.
- Zorn, W., Heß, H., Albert, E., Kolbe, H., Kerschberger, M., Franke, G. (2007a): Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“. In: Schriftenreihe der TLL, Heft 7.
- Zorn, W., Marks, G., Heß, H. and Bergmann, W. (2007b): Handbuch zur visuellen Diagnose von Ernährungsstörungen 1. Aufl. Elsevier GmbH, München.
- [http://www.zinc.org/basics/history\\_of\\_zinc](http://www.zinc.org/basics/history_of_zinc) letöltés ideje: 2015. február 20.
- [http://www.zinc.org/basics/zinc\\_properties](http://www.zinc.org/basics/zinc_properties) letöltés ideje: 2015. február 20.

Levelezési cím (*corresponding author*):

**Péntek Attila**

Széchenyi István Egyetem

Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar

Víz- és Környezettudományi Intézet

H-9200 Mosonmagyaróvár, Vár 2.

Tel.: +36/30 297-3659

e-mail: pantektools88@gmail.com