



Réz, a mezőgazdaság nélkülözhetetlen eleme

¹GICZI ZSOLT – ²KALOCSAI RENÁTÓ – ¹LAKATOS ERIKA –

²DORKA-VONA VIKTÓRIA – ²TÓTH ENDRE ANDOR

¹SZE MÉK Élelmiszertudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár,

² SZE MÉK Víz- és Környezettudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ÖSSZEFOGLALÁS

A rohamosan növekvő népesség élelmiszerral történő ellátásában megkerülhetetlen szerepe van a mezőgazdaságnak és azon belül a szántóföldi növénytermesztésnek. A XXI. században a természetben a mennyiségi szemlélet kizárólagos alkalmazása azonban már nem elegendő, a gazdálkodóknak hasonlóan komoly kihívást jelent a megtermelt élelmiszerek minőségével és az élelmiszerbiztonsággal szemben támasztott vevői elvárásoknak és a szabályozó hatóságok által megfogalmazott követelményeknek történő megfelelés. További figyelmet és erőfeszítéseket igényel a gazdálkodóktól a környezet és a termőföld állapotának megőrzése, ami elengedhetetlen a hosszú távon is fenntartható minőségi növénytermesztéshez.

A növénytermesztés eredményességében a sok egyéb befolyásoló tényező mellett a talajból a növények által kivont tápanyagok visszapótlása az egyik meghatározó faktor. A mezőgazdasági gyakorlat sok esetben csak a legfontosabb makro tápelemek (N, P, K) visszapótlására terjed ki, azonban a mikroelemek abszolút vagy akár relatív hiánya is gátja lehet a tervezett termésszint és minőség elérésének. Ezen szemleci a növények számára esszenciális tápelemek közül a réz előfordulásával, kémiájával, szerepével és utánpótlásával foglalkozó irodalmat tekinti át.

Kulcsszavak: réz, mikroelem, tápanyag utánpótlás, réz körforgás, réz felvehetőség

A RÉZ

A réz (Cu) a természetben elemi formában is előforduló, könnyen megmunkálható fém, ezért ez volt az első fém, amit az ember megismert. Becslések szerint első használata i.e. 5000-re, vagy még korábbra tehető. Az egyiptomiak a Sínai-félszigetről származó bázisos réz-karbonátból (malachit – CuCO_3 , Cu(OH)_2) olvasztottak rezet, i.e. 3500-ig datálhatóak vissza leletek. Nem sokkal ezután a bronz is megjelent, ami a réz és az ón ötvözete. A sárgaréz (amely réz és cink ötvözete) első ismert előfordulása Augustus császár idejéből (i.e. 27 – i.sz. 14) ismert. A réz felhasználásának az elektromossággal kapcsolatos felfedezések adtak új lökést (*Massey, 1975*).

A fém és az ötvözetei rendkívül sokrétűen felhasználhatóak kedvező tulajdonságai, mint hajlékonyság, alakíthatóság, szilárdság, korrózióállóság, jó termikus és elektromos vezetőképesség miatt, ami attraktív megjelenéssel társul. Vegyületei szintén széles körben felhasználhatóak, mint katalizátor homogén és heterogén reakciókban, fungicid, peszticid, fa tartósítószer, pigment festékekben és üvegekben, magas hőmérsékletű szupravezetőkben (*Conry, 2005*).

A réz a periódusos rendszer 29. eleme, relatív atomtömege 63.546, olvadáspontja 1083°C , forráspontja 2573°C , sűrűsége 8.95 g cm^{-3} 20°C -on. Vegyületeiben jellemzően +1 vagy +2 oxidációs állapotban szerepel. A réz két stabil izotópja a ^{63}Cu (69.17%) és a ^{65}Cu (30.83%), ezen kívül 9 mesterségesen előállított radioaktív izotópja ismert 59 és 69 tömegszám között 31 s és 2.58 nap közötti felezési idővel. (*Conry, 2005*). A radioaktív izotópok közül jelentős a ^{64}Cu ($T_{1/2}=12.7$ óra, β^- 39%, β^+ 17.4%, EC 43.6%), amely régóta használt orvosi diagnosztikai és terápiás célokra (*Rowshanfarzad et al., 2006, Anderson és Ferdani, 2009*). Az utóbbi időben több más radionuklid ($[^{11}\text{C}]\text{CO}_2$, $[^{15}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$, $[^{13}\text{N}]\text{N}_2$, $[^{18}\text{F}]\text{F}^-$, ^{107}Cd , ^{52}Fe , $[^{11}\text{C}]\text{metil-jazmonát}$, $[^{18}\text{F}]\text{fluoro-2-deoxy-D-glukóz}$) mellett a ^{64}Cu is felhasználására került élő növények pozitronemittáló izotóp vagy azzal jelzett molekula felvételének és transzportjának pozitron emissziós tomográfias (PET, microPET) vizsgálatában, amely módszerek valós idejű, roncsolásmentes vizsgálatot tesznek lehetővé (*Partelová, et al. 2016, Watanabe et al., 2009*).

A fém réz felületén szobahőmérsékleten, tiszta levegőben réz(II)-hidroxid és réz(II)-karbonát keverékéből stabil, zöld felületi védőréteg (patina) képződik. A patina képződését egyéb oxidálószer, mint elemi kén, halogének, esetleg ózon, gyorsítják. A

réz levegő távollétében nem reagál nem oxidáló savakkal, azonban feloldódik forró tömény kénsavban és salétromsavban. A réz szintén oldódik vizes ammónia vagy cianid oldatban oxigén jelenlétében. Komplex vegyületeiben 0 és +4 közötti oxidációs állapotban szerepelhet, amelyek közül a +2 (kupri) és a +1 (kupro) messze a legáltalánosabbak, a +2 túlsúlyával. A $d^{10} \text{Cu}^+$ ion komplex vegyületeiben két ligandum esetén a lineáris, három ligandum esetében a síkháromszöges, négy ligandum esetében a tetraédes a legjellemzőbb szerkezet. Öt ligandumot tartalmazó réz(I) komplexek meglehetősen kis számban ismertek. A $d^9 \text{Cu}^{2+}$ ion leggyakrabban tetragonális koordinációs környezetben található, négy ekvatoriális és egy, vagy kettő axiális ligandummal, azonban négy ligandumos tetraédes és planáris komplexek is ismertek. Ezen kívül ötös koordinációs számmal trigonális bipiramis, illetve kis számban három, hét és nyolc ligandumos komplexek is ismertek (Conry, 2005). Mivel a réz(I) ionnak nincs d-d átmenete, ezért komplexei jellemzően színtelenek, néhány kivételtől eltekintve (ahol a ligandum lehetővé teszi az $M \rightarrow L$ vagy az $L \rightarrow M$ töltéstranszfer). A réz(II) ion komplexei jellemzően kék vagy zöld színűek a 600 és 900 nm közötti abszorpciós sáv miatt. A néhány kivételt jellemzően intenzív UV töltéstranszfer sáv okozza, amelynek a vége a látható tartomány kék szélére esik (Cotton *et al.*, 1980).

Vizes oldatban a réz(I) gyorsan (<1 s) diszproporcionálódik $\text{Cu}(0)$ és $\text{Cu}(II)$ formára. Vizes közegben csak a nagyon alacsony oldhatóságú vegyületek, mint a CuCl stabilak (Cotton *et al.*, 1980). Moffett és Zika kimutatták, hogy tengervízben fotokémiai reakciók során keletkezhetnek $\text{Cu}(I)$ vegyületek, amelyek néhány óráig stabilak lehetnek (Moffett és Zika, 1987). Vizes oldatban a Cu^{2+} ionok stabilis, kék színű, hidratált kationok alakjában ($[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$) fordulnak elő. Különböző komplexképző ligandumok jelenlétében a réz(II)-, illetve a réz(I) állapot egyaránt stabilizálódhat.

A Cu^+ ion gyenge Lewis sav, így komplex vegyületeiben a gyenge („soft”) ligandumokat, mint a kén (S) preferálja. A Cu^{2+} ion keményebb sav, így a koordinációs kémiáját a nitrogén (N) és oxigén (O) donoratommal rendelkező ligandumok uralják (Conry, 2005). Fehérjékben a Cu^+ a cisztein (Cys, Cys^-) és metionin (Met) kén atomjait preferálja, a keményebb sav Cu^{2+} koordinálódhat keményebb bázisok, mint tirozin (Tyr, Tyr^-), treonin (Thr), hisztidin (His), OH^- és H_2O oxigén és nitrogén atomjaival. Fehérjékben a ligandum természete, a koordinációs geometria és a fehérje környezet együttesen határozzák meg a réz centrum redoxipotenciálját. Míg vizes oldatban a $\text{Cu}^+/\text{Cu}^{2+}$ redoxipotenciál $E_0 = +153 \text{ mV}$, addig az enzimekben megfigyelt

redoxipotenciál +183 mV (halocianin) és +785 mV (gomba lakkáz) közötti (Messerschmidt, 2010).

A RÉZ ELŐFORDULÁSA

A réz keletkezése a világegyetemben nem teljes mértékben tisztázott, valószínűleg több folyamat figyelembevételével alkotható meg a megfelelő modell. A legvalószínűbb elképzelés szerint egy rövid időszaktól eltekintve jelenleg a nagy tömegű csillagokban a lassú neutronbefogásos („s”) folyamat a felelős a réz nukleoszintézisének nagy részéért (Romano és Matteucci, 2007). A réz a Nap spektroszkópiái vizsgálatai és meteoritok összetételének elemzése alapján a Naprendszer 25. leggyakoribb eleme (Anders és Ebihara, 1982; Lodders, 2003), a Napban becsült mennyisége 0.7 ppm (Conry, 2005).

Smith és Huyck gyűjtése szerint a földkéregben réz mennyiségére a konszenzusos tartomány 14-100 mg kg⁻¹, gránitban 10 mg kg⁻¹, bazaltban 100 mg kg⁻¹ (Smith és Huyck, 1999). A Huheey és társai által közölt adat 55 mg kg⁻¹ (Huheey et al., 1993), a Taylor és McLennan által közölt adat a kontinentális kőzetre 25-90 mg kg⁻¹ (Taylor és McLennan, 2009), a CRC Handbook of Chemistry and Physics által közölt 60 mg kg⁻¹ (szerk. Haynes et al., 2017), az Encyclopedia of Inorganic Chemistry által közölt 68 mg kg⁻¹ (Conry, 2005). Linder szerint az egyes vulkanikus és üledékes kőzefajtákban az alábbiak szerint alakul a réz mennyisége: gránit 10 mg kg⁻¹, bazalt 100 mg kg⁻¹, mészkő 4 mg kg⁻¹, homokkő 30 mg kg⁻¹, agyagpala 45 mg kg⁻¹ (Linder, 1991). He és társai adatai ezzel jó egyezést mutatnak: gránit 4-30 mg kg⁻¹, bazalt 30-160 mg kg⁻¹, mészkő 4 mg kg⁻¹, homokkő 2 mg kg⁻¹, agyag és agyagpala 18-120 mg kg⁻¹ (He et al., 2005). Szintén hasonló adatokat adott meg az egyes kőzettípusokra Bowen (Bowen, 1985). A réz jelentősebb ásványai a kuprit (Cu₂O), tenorit (CuO), malachit (Cu₂CO₃(OH)₂), azurit (Cu₃(CO₃)₂(OH)₂), kalkozin (Cu₂S), bornite (Cu₅FeS₄), covellin (CuS), digenit (Cu₉S₅), kalkopirit (CuFeS₂), tennantit (Cu₁₂S(AsS₃)₄), tetraedrit (Cu₁₂S(SbS₃)₄), enargit-luzonit (Cu₃AsS₄, Cu₃SbS₄) (Molnár, 2008). Habár több mint 150 réz-ásvány ismert, a bányászott réz legnagyobb része kalkopirit és kalkozin. A világ ismert réz tartalékának mintegy 90%-a Észak-Amerikában (USA, Kanada), Dél-Amerikában (Peru, Chile) és Afrikában (Kongói Demokratikus Köztársaság és Zambia határán) található (Conry, 2005). A világ réztermelése 2011-ben 16.1 millió tonna volt, a becsült tartalék 680 millió tonna (USGS, 2013).

Bowen szerint a réz mennyisége tiszta tengervízben a felszínen $0.03-0.59 \mu\text{g L}^{-1}$, 5 km mélységben $0.2-0.69 \mu\text{g L}^{-1}$, a part közelében $0.3-3.8 \mu\text{g L}^{-1}$, különböző édesvizekben $1.2-135 \mu\text{g L}^{-1}$, a medián koncentráció pedig $3 \mu\text{g L}^{-1}$ (Bowen, 1985). Huheey és társai által közölt adatok $3 \mu\text{g L}^{-1}$ tengervízre és $5 \mu\text{g L}^{-1}$ folyóvízre (Huheey et al., 1993). A felszíni vizek réztartalma különböző területeken folyamatosan, számos publikációban vizsgált témakör (például Danielsson et al.; 1985; Nolting és De Baar, 1994; Nolting et al., 1999; Boye et al., 2012; Kashin és Ivanov, 2008). Kádár és Csathó szerint Magyarországon a TIM pontok talajainak talajvízeiben ($n=41$) $0.2-20 \mu\text{g L}^{-1}$, a Balaton vízében $3-5 \mu\text{g L}^{-1}$, esővíz mintákban $4-20 \mu\text{g L}^{-1}$ réztartalmat találtak (Kádár és Csathó, 2017). Az Egyesült Államokban az ATSDR (U.S. Department of Health and Human Services – Agency for Toxic Substances and Disease Registry) toxikológiai elemzése szerint a természetes vizekben a réz medián koncentrációja $4-10 \mu\text{g L}^{-1}$, túlnyomó részt Cu(II) formában, amelynek nagy része komplex formában vagy szerves anyaghoz erősen kötött formában található, csak egy kis része van szabad (hidratált) vagy könnyen kicserélhető formában. A szabad réz mennyiségét a komplexképződés, adszorpció és csapadékképződés folyamatai szabályozzák. Az üledékek fontos tárolói a réznek. Egy tiszta üledék réztartalma $<50 \text{ mg kg}^{-1}$, egy szennyezett üledék ezzel szemben több ezer mg kg^{-1} -ot is tartalmazhat (ATSDR, 2004).

A levegőben lévő réz természetes forrásokból (talajokból szélérozóival, vulkánkitörésekből) és antropogén forrásokból, mint tüzelőberendezésekből, rezet tartalmazó anyagokat gyártó vagy feldolgozó ipari üzemekből és bányászati tevékenységből is származhat. A levegőben a réz átlagos koncentrációja $5-200 \text{ ng m}^{-3}$ vidéki és városi helyszíneken (ATSDR, 2004). A Kilauea (Hawaii) vulkán által kibocsátott aeroszol réztartalma 200 ng m^{-3} , az Augustine (Alaszka) kibocsátása $15-516 \text{ ng m}^{-3}$ (Bowen, 1985). Ammann és társai szerint az Etna (Olaszország) becsült réz emissziója 1991 szeptemberében 1000 kg nap^{-1} volt, de megjegyzik, hogy az adatok bizonytalansága nagy (Ammann et al., 1992). A Bowen által összegyűjtött adatok szerint nem szennyezet mintavételi helyeken $0.5-2 \text{ ng m}^{-3}$ a levegőben mérhető réztartalom, az Antarktiszon $0.06-0.08 \text{ ng m}^{-3}$, városi mintavételi helyeken 5 ng m^{-3} (Belgium) és 290 ng m^{-3} (Niles, MI) közötti. Az adatok azt sugallják, hogy a légköri réz mennyiségének meghatározásában az óceánok is fontos szerepet játszanak (Bowen, 1985). Kabata-Pendias Amerikára, Európára és Japánra jellemzően $2.5-200 \text{ ng m}^{-3}$ értékeket adott meg (Kabata-Pendias, 2011). Közlése egy kiugró adatot (Németország –

8-4900 ng m⁻³) tartalmaz, azonban erről további információt (szennyezés lehetséges forrása, előfordulás gyakorisága) a szerző nem adott meg.

A TALAJOK RÉZ ELLÁTOTTSÁGA

Magyarország és a világ talajainak réztartalma széles határok között mozog. Swaine és Mitchell több mint 100 skóciai talajszelvény vizsgálata alapján azt találta, hogy a talajok nyomelem ellátottságában a legnagyobb szerepe az alapkőzetnek van (Swaine és Mitchell, 1960).

Bowen különböző irodalmi forrásokból összegyűjtve 2-660 mg kg⁻¹ értékeket közöl, a három forrása által megadott átlagértékek rendre 30, 26 és 28 mg kg⁻¹ (Bowen, 1985). Az ASTDR kockázatértékelése szerint talajokban az átlagos réz koncentráció 5-70 mg kg⁻¹ (ATSDR, 2004). Kabata-Pendias szerint a vonatkozó irodalom áttekintése után a világszerte gyűjtött adatok átlaga 14 mg kg⁻¹, a mezőgazdasági talajok átlaga Svédországban 17 mg kg⁻¹, a mezőgazdasági talajok átlaga Japánban 48 mg kg⁻¹, a Parana államban (Brazília) gyűjtött minták átlaga 109 mg kg⁻¹, az USA talajok átlaga 25 mg kg⁻¹, az európai feltalajok átlaga 17.3 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias, 2011). Adriano szerint a szokásos mezőgazdasági talajok réztartalma 1-50 mg kg⁻¹, ebből a könnyen extrahálható kivonásértől függően jellemzően 0.1-10 mg kg⁻¹ (Adriano, 1986).

Stefanovits és társai szerint a magyarországi talajok réztartalma 1-191 mg kg⁻¹ (Stefanovits et al., 1999). A felső szántott réteg 12-102 kg rezet tartalmaz hektáronként. A mozgékony rézforma ennek körülbelül az 1-2 %-a (~0.2-2 kg/ha) (Györi, 1962 és Szabó et al., 1987 cit. Barkóczi, 2004). A földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről szóló 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet szerint Magyarországon a rézre vonatkozó szennyezettségi határérték talajra 75 mg kg⁻¹.

A FAO 1982-ben publikált felmérése, amely 30 országra terjedt ki világszerte, a talajok rézellátottságának gyakorisági eloszlását vizsgálta. Az értékelés során a szinteket statisztikailag határozták meg, nem tükrözik a kritikus hiányhoz és toxicitáshoz köthető határértékeket. A talaj- és növényvizsgálati eredmények együttes értékelése szerint Magyarország talajainak 99%-a „átlagos”, 1%-a „jó”-nak minősíthető réz ellátottság szempontjából. A felmérés összesített eredményei szerint a rézhiány meglehetősen jellemző Afrikában, illetve Új-Zéland és Finnország egyes területein, a többi vizsgált

területen viszonylag ritka. A világszerte begyűjtött 3538 talajminta átlagos extrahálható (savas ammónium-acetát – EDTA oldat: 0.5M CH₃COONH₄ + 0.5M CH₃COOH + 0.02M Na₂EDTA) réztartalma 6.0 mg kg⁻¹, a magyarországi talajokra kapott átlag érték 5.4 mg kg⁻¹ (n=201), a minimum 0.6 mg kg⁻¹, a maximum 14.6 mg kg⁻¹ (*Sillanpää*, 1982).

Kádár közlése szerint a FAO felmérés részeként gyűjtött mintákat a MÉM-NAK laboratóriumai is megvizsgálták a szokásos módszerekkel. A kapott átlagos extrahálható Cu tartalom 4.0 mg kg⁻¹ (n=133) volt, a minimum 0.3 mg kg⁻¹, a maximum 15.9 mg kg⁻¹. A mikroelemek közül a felvehető Cu tartalom meredeken emelkedett a kötöttséggel, azonban a talajmintákkal párhuzamosan begyűjtött növények által felvett Cu nem változott. A növényi minták Cu vizsgálati eredményei és a talaj Cu tartalma között nem volt érdemi kapcsolat. A kapott eredmények alapján úgy tűnik, hogy az EDTA-Cu adatok önmagukban nem alkalmasak a talaj Cu-ellátottságának megítélésére (*Kádár*, 1992).

Kádár 2008-as közlése szerint Magyarország talajainak 9%-a rézben gyengén ellátott, Békés megyében ez az arány 23%, Szabolcs-Szatmárban 17%, Fejér, Győr-Moson-Sopron és Tolna megyékben 10-13%. A Cu-hiányos talajok között meszes és savanyú talajokat egyaránt találtunk. Gyakori volt a meszes alapkőzetten kialakult csernozjom, öntés és réti csernozjomok gyenge ellátottsága (*Kádár*, 2008).

A mezőgazdasági talajok réztartalmára jelentős hatással lehet az alkalmazott termesztési technológia is. A réztartalmú fungicidek nagymértékű, állókultúrákban sok évig, adott esetben évtizedekig történő alkalmazása jelentős réz felhalmozódást okozhat a talajban. Farias és társai Brazíliában, szőlő kultúrában 490.3 mg kg⁻¹ összes és 320.7 mg kg⁻¹ EDTA oldható maximális réz tartalmat találtak vizsgálataik során (*Farias et al.*, 2013), Ninkov és társai Szerbiában szintén szőlő kultúrában 200.1 mg kg⁻¹ összes és 82.1 mg kg⁻¹ EDTA oldható maximális mennyiségeket (*Ninkov et al.*, 2014). Ez kedvezőtlenül befolyásolhatja a talajok mikrobiális funkcióját és termékenységét (*Wightwick et al.*, 2013). Ruyters és társai szennyezett és adalékolt talajok összehasonlító vizsgálata során nem talált – feltételezhetően a rosszabb biológiai elérhetőség miatt – szignifikáns hatást szőlőültetvények szennyezett talajai esetében, szemben a hasonló réz szintekre frissen adalékolt talajokkal (*Ruyters et al.*, 2013).

TALAJOK FELVEHETŐ RÉZ TARTALMÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Habár a réz esszenciális elem, nagy mennyiségben toxikussá válik. A környezetben viszonylag nagy mennyiségben van jelen, de felvehetősége függ a formájától (ionos, komplex, csapadék), ami függ a környezeti körülményektől, mint pH, redoxipotenciál, talajtípus, vízkeménység, szervesanyag tartalom. Ezek a faktorok a környezetben változnak, így rézhiány vagy toxicitás is kialakulhat (*Flemming és Trevors, 1989*).

A réz legnagyobb része a talajokban szerves vagy szervesetlen adszorpciós felületekhez kötve, kétértékű formában található. Előfordulhat szerves vegyületekkel komplex kötésben is, szilikátok kristályrácsában és nehezen oldható vegyületek (foszfátok, szulfátok, karbonátok, szulfidok) formájában (*Loch és Nosticzius, 2004*). A kétértékű réz ion affinitása a talaj szerves anyagához erősebb, mint más kétértékű fémionoké ($\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Ca} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Mg}$) A Cu komplexeiben a ligandumokat $\text{S} > \text{N} > \text{O}$ sorrendben preferálja. Mivel a N lényegesen nagyobb mennyiségben található meg a talajban, mint a S, ezért kelátképzésben leginkább a N vesz részt (*Mengel et al., 2001*).

A Cu^{2+} egyensúlyi koncentrációja, amit a mérsékelt oldódó réz-sók, mint a karbonátok és oxidok tartanak fent, magasabb, mint a szokásos Cu^{2+} szint a talajoldatban ($1 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-4} \text{ mol m}^{-3}$), ezért a karbonátok és oxidok jelenlétének nincs szerepe a réz oldékonyságának korlátozásában. A réz oldhatóságát a talaj szerves és szerves részecskéihez történő adszorpció szabályozza, ezért réz nagyon immobilis a talajban és gyakorlatilag nem mosódik ki (*Mengel et al., 2001*), csak nagyon extrém körülmények között.

A növények szokásos réztartalma alacsony, aminek felvételét a legtöbb talaj képes biztosítani. Rézhiány alacsony réztartalmú talajokon képződött vagy nagyon erősen kilúgozott (podzolos) talajok esetében léphet fel, vagy sokkal gyakrabban olyan talajoknál, amelyek a lekötődés miatt nem tudják a felvehető réztartalmat biztosítani, mint a szerves és tőzeges talajok, a meszes talajok és néhány, nagyon magas agyagtartalmú talaj (*Mengel et al., 2001*).

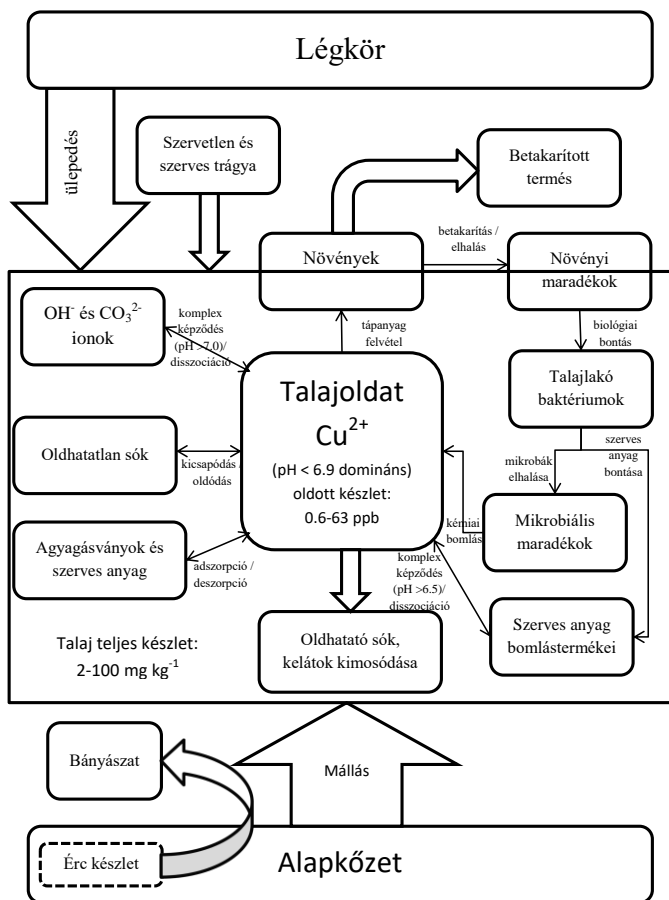
A mikroelemek, köztük a réz felvételét legmarkánsabban a pH befolyásolja. Minden olyan tevékenységnél, amely befolyásolja a talaj pH értékét (például meszezés, műtrágyázás) befolyásoljuk a réz felvehetőségét és mozgékonyságát. Túlmeszezés esetén (illetve természetesen magas mésztartalmú talajokon is) számolni kell a réz hiányával. A műtrágyázás savanyító hatása fokozza a réz oldhatóságát és ezáltal a

mobilitását. A nitrogén trágyázás szinergista hatása révén fokozza a réz felvételét, viszont rézhiányos talajon N trágyázás hatására növekvő termés Cu igényét a talaj már nem képes kielégíteni, így látszólagos antagonistá hatása jelentkezik (Kádár, 2008). Bizonyos talajokon a bőséges P-trágyázás esetén a Cu-felvétel gátlást szenvedhet, Cu-hiányt indukálva (Kádár és Csathó, 2017). Martens és Westermann is arra hívják fel a figyelmet, hogy a rézhiányt gyakran a helytelen agrotechnológiai gyakorlat okozza. Lehetséges okként ugyanezeket a veszélyforrásokat sorolják fel (Martens és Westermann, 1991). Benton Jones szerint a szerves talajok és a nagy szervesanyag tartalmú magas pH-jú talajok jelentenek rézhiány szempontjából nagyobb kockázatot (Benton Jones, 2012).

A RÉZ KÖRFORGÁSA

Egyes elemek geokémiai körforgásának vizsgálata Friedrich Mohr óta vizsgált téma (Mohr, 1866). Napjainkban, tekintettel az emberiség tevékeny szerepére az egyes elemek körforgásában indokolt „antropogeokémiai” körforgásról beszélni, különösen a fémek esetében, ahol arányaiban nagyobb az emberi hatás szerepe, mint a makro tápelemek mobilizálásban. A réz „antropogeokémiai” körforgásáról Rauch és Gradel adott részletes áttekintést (Rauch és Gradel, 2007).

A réz körforgását a talaj-növény rendszerben Fageria tárgyalja (Fageria, 2013). Fageria nyomán a réz körforgását az *1. ábra* mutatja be.



1. ábra: A réz körforgása Fageria (2013) alapján, kiegészítve
 Figure 1: Cycle of copper based on Fageria (2013), amended

RÉZ SZEREPE AZ ÉLŐLÉNYEK BEN

Már az 1800-as évek elején sikeresen kimutatták a rézet a növényi, majd állati eredetű minták hamujából, ami arra utalt, hogy a réz szerepet játszhat az élő szervezetekben. Harless 1847-ben mutatta ki, hogy a csigák vérében a réz fehérjéhez kötve található. A réz esszencialitását 1925-1927 között McHargue bizonyította, amit hamarosan több más kutatócsoport is megerősített (Linder, 1991). Habár a réz esszencialitása ismert volt, a réz biológiai hatásait csak az 1960-as évektől kezdték jobban megérteni. Ekkortól kezdték szisztematikusan vizsgálni a rézhiány hatását a növények egyes biokémiai funkcióira, mint a fotoszintézisre és lipidszintézisre (Baszynski et al., 1978; Droppa et

al., 1987), a protein szintézisre (*Rasheed és Seeley, 1966*), a sötétlégzésre (*Zinkiewicz, 1985*), a lignifikációra (*Judel, 1972; Rahimi és Bussler, 1973*) vagy a mikroorganizmusok elleni védekezésre (*Wood és Robson, 1984*). Becslések szerint a fehérjék mintegy fele tartalmaz fém alkotórészt (*Thomson és Gray, 1998*). Holm és társai szerint Brookhaven Protein Data Bank 4048 fehérje kristályszerkezetet tartalmaz (1995. decemberi állapot), amelyből 2123 (52%) tartalmaz fémeket. A szerzők megjegyzik, hogy ezt az adatot ismétlődések torzítják, de így is impresszív a különböző fémek biológiai elterjedtsége (*Holm et al., 1996*).

A réz specifikus élettani hatása kis ionátmérőjével, nagy atomtömegével, változó vegyértékével és komplexképzési hajlamával függ össze (*Loch és Nosticzius, 2004*).

Réz tartalmú enzimek a baktériumokban és az eukariótákban is kimutathatóak. Előfordulásuk és funkciójuk azt sugallja, hogy biológiai funkciójukat az atmoszféra oxigénnel történő feldúsulása után kapták. A fotoszintézis – ami előbb alakult ki, mint a légköri oxigén – elektrontranszferében részt vevő enzimek később kerültek be a láncba, ennek oka a réz biológiai felvehetősége: redukáló atmoszférában és relatíve magas H₂S koncentráció mellett a réz elsősorban Cu⁺ formában volt, ami jellemzően vízben oldhatatlan sókat, elsősorban réz(I)-szulfidot (Cu₂S) képez és kicsapódik, ezzel szemben a Fe²⁺ oldható formában volt jelen, így a korai élőlények be tudták építeni szervezetükbe. Az oxigén feldúsulásával párhuzamosan mindkét fém a magasabb oxidációs állapotába került, a réz oldhatósága – és így felvehetősége – Cu²⁺ formában megnövekedett, míg a vas oxidált formájává, a vízben rosszul oldódó Fe(OH)₃-á alakult (*Messerschmidt, 2010*).

A réz alkotója a kloroplasztiszokban található plasztocianinnak, ami a fotoszintézis fényreakciójában elektronszállító molekulaként vesz részt. A réznek fontos szerepe van légzési elektrontranszfer-láncban (citokróm oxidáz), különböző oxidáz hatású enzimekben (például aszkorbinsav-oxidáz, difenol-oxidáz) és peroxidáz hatású enzimekben, mint a szuperoxid-dizmutáz, a diamin-oxidáz és a fenol-oxidázok (*Fodor, 2013*).

A réz tartalmú enzimek három alapvető típusát a *I. táblázat* tartalmazza. Ezekon kívül további jellegzetes típusok találhatóak az aszkorbinsav-oxidáz (hárommagvú), a citokróm-c-oxidáz (Cu_A, Cu_B) vagy a dinitrogén-oxid-reduktáz (Cu_Z) enzimekben (*Messerschmidt, 2010*).

1. táblázat: A réz tartalmú enzimek alapvető típusai

Table 1: Types of Copper Enzymes

Típus (1)	1-es típus (vagy kék) ^a	2-es típus ^b	3-as típus (két Cu mag) ^c
UV-VIS spektrum (2)	Erős abszorpció ~600 nm-en, (S(Cys)→Cu(II) töltéstransfer)	Hiányoznak az intenzív ligandum→fém töltés transzferhez kapcsolható átmenetek	Oxigént kötő formában erős abszorpciós sáv ~590 nm és ~345 nm, deoxi forma szintelen
EPR spektrum (3)	gyenge Cu csatolás	Hiányoznak az 1-es és 3-as típusok, és a többmagú fehérjék jellemzői, nagy mértékben hasonlít a szokásos Cu(II) tetragonális komplexekre	Nem detektálható (antiferromágneses csatolás)
Jellemző ligandumok (4)	2 His (N), Cys (S) ekvatoriális pozícióban; Met(S) esetleg ritkán Gln(O) axiális pozícióban (egyes esetekben koordinálatlan is maradhat)	N és O ligandumok (His, Tyr, peptid karbonil vagy N csoportok, H ₂ O, OH-)	Mindkét Cu atomhoz 3 His kapcsolódik
Aktív centrum geometriája (5)	torzult tetraéderes, esetleg trigonális	tetragonális, 5 vagy 6 ligandummal	trigonális planáris ^d
Példák (6)	kupredoxinok: plasztocianin, azurin pseudeo-azurin, amicianin, rusticianin, halocianin, szulfocianin, auracianin fitocianinok: stellacianin, uclacianin, plantacianin	szuperoxid-dizmutáz, amin oxidáz, lizil oxidáz, galaktóz oxidáz, dopamin-β-monooxygenáz, peptidil-glicin monooxygenáz	hemocianin, katechol oxidáz, tirozináz, pseudeo-hemocianinok, kriptocianinok, hexamarinok

(1) Type, (2) UV-VIS spectra, (3) EPR spectra, (4) Typical ligands (5) Active –centre geometry (6) Examples
^a Hart et al (2005); ^b McGuirl és Dooley (2005); ^c Decker (2005); ^d Messerschmidt (2010)

Az eddig hivatkozottakon (Linder, 1991; Holm et al., 1996; Hart et al., 2005; McGuirl és Dooley, 2005; Decker, 2005; Messerschmidt, 2010) túl az irodalomban további részletes összefoglalások találhatóak a réz tartalmú enzimekről és működésükről (Malmström és Leckner, 1998; Solomon, et al., 2014).

RÉZ HATÁSA A NÖVÉNYEKRE

A réz az egyik legrégebb óta használt hatóanyag a növényeket károsító gombák ellen. A réz a növények számára nélkülözhetetlen, de a legtöbb növény számára csak egy szűk

koncentráció tartományban optimális, nagy mennyiségben pedig toxikus hatással rendelkezik. Egyes növények jól tolerálják és magukban felhalmozzák az egyes nehézfémeket, például a rezet, így akár fitoremediációs célra is felhasználhatóak (*Jiang et al.*, 2004, *Karczewska et al.*, 2015, *Kumari et al.*, 2016). Egyes toxikus hatású elemek, köztük a réz, és több, köztermesztésben lévő növény bevonásával Magyarországon folytatott terheléses kísérletek eredményeit Kádár foglalta össze (*Kádár*, 2012).

Benton Jones szerint a növények számára a megfelelő tartomány 3-7 mg kg⁻¹ száraz anyagra vonatkoztatva, a toxikus tartomány 20-30 mg kg⁻¹ körül kezdődik, de a növények a fungicidként alkalmazott 20-200 mg kg⁻¹ rezet is tolerálni tudják (*Benton Jones*, 2012). Csathó szerint a növények nagy része réz hiányban szenved, ha a levél Cu tartalma kisebb mint 4 mg kg⁻¹ abszolút szárazanyagban számolva. Az egészséges növények levele 5-20 mg kg⁻¹ rezet tartalmaz, a 20 mg kg⁻¹ feletti mennyiség meglehetősen ritka (*Csathó*, 1994). Loch és Nosticzius szerint a fűvek réztartalma 5-15 mg kg⁻¹, a vörös here 8-10 mg kg⁻¹, a zab (szalma/szem) 2-16 mg kg⁻¹ és 2-14 mg kg⁻¹, a tavaszi búza (szalma/szem) 1-4 mg kg⁻¹ és 1-11 mg kg⁻¹, a tavaszi árpa (szalma/szem) 2-12 mg kg⁻¹ és 1-11 mg kg⁻¹ (*Loch és Nosticzius*, 2004). Neish vizsgálatai szerint a növényi levélben (*Trifolium pratense*) a réz tartalom 74.6%-a a kloroplasztiszokban van. Vizsgálatai szerint a kloroplasztiszban a réz szinte kizárólag a szerves frakcióhoz kötve található, míg a teljes levélre vonatkoztatva 10.5% a szervetlen Cu aránya (*Neish*, 1939). Whatley és társai szerint cukorrépában a levél réztartalmának 63.8%-a található a kloroplasztiszban (*Whatley et al.*, 1951).

Réz hiány esetén a növények növekedése lelassul, a növények satnyák lesznek, a fiatal levelek torzulnak és a növekedési pontok elhalnak. A túlzott réz ellátás tünete a nagyon lassú növekedés és a satnya gyökérzet. A túlzott réz ellátottság vas hiányt és klorózist indukálhat (*Benton Jones*, 2012). Kalocsai szerint a rézhiány következtében a növények lelassult növekedése mellett a levelek szürkészöldre válnak, klorotikusak lesznek. A hiánytünetek mindig a fiatal növényeken jelentkeznek. Gabonaféléknél a Cu hiánya a levelek kifehéredésével kezdődik. Jellegzetes tünet az ún. „fehérkalászság”. A rézhiányos állományok gátolt buga-, illetve kalászképzése-, valamint a léha szemek részarányának növekedése jelentős veszteségekhez vezet. A réz feleslege ritkán fordul elő, mivel a réz a talajrészecskékhez erősen kötődik. Az erősen savanyú talajokon

esetlegesen fellépő réztöbblet következményei a satnya gyökérnövekedés, a gyökércsúcs-pusztulás, valamint a termésdepresszió (Kalocsai, 2006).

A morfológiai változások aktiválódása mellett a sejtek szintjén a rézhiány egy sor gén kifejeződésének megváltozásában is jelentkezik. A réz toxicitása származhat a fehérjék merkaptó csoportjaihoz való kötődésből, amivel az enzim elveszti funkcióját; más tápelemek hiányának indukálásából; a sejt szállítási folyamatainak károsodásából valamint oxidatív károkból. Különösen a fotoszintézis elektrontranszportja változik meg réz hiányra, vagy többletre (Yruela, 2005). A réz magasabb rendű növényekre sejszinten gyakorolt pozitív és káros hatásairól Maksymiec készített részletes áttekintést (Maksymiec, 1997). A rézfelesleg által okozott károk minimalizálására és a rézhiány kezelésére az élőlények számos stratégiát dolgoztak ki. Az irodalomban több publikáció is foglalkozik a gén expresszió szabályozásával és az alternatív reakcióutakkal különböző alacsonyabb és magasabb rendű élőlények esetében (például: metán-oxidáló baktériumok – Murell *et al.*, 2000, *Chlamydomonas reinhardtii* – Merchant *et al.*, 2006; Arabidopsis – Yamasaki *et al.*, 2008).

A termesztett növények közül rézre érzékeny növények a kukorica, a hagyma, a gabonafélék, a görögdinnye, a napraforgó, a spenót, a citrusfélék palántái, a zab, a lucerna (Benton Jones, 2012). A bab, a burgonya és a szója kevésbé érzékeny rézre (Mengel *et al.*, 2001). Debreczeniné és Sárdi szerint a gabonafélék (zab, búza, árpa), a zöldségfélék, a rostonövények, a napraforgó és a lucerna rézigényesek, míg a cukorrépa érzékenyen reagál a réz feleslegre és könnyen károsodik (Debreczeniné és Sárdi, 1999). Kalocsai szerint érzékeny növények a kukorica, a zab, a herefélék, több gyümölcsfaj, a sárgarépa és a cékla (Kalocsai, 2006). Smilde és Henkens különböző gabona fajok és fajták vizsgálatából azt állapította meg, hogy az érzékenység búza > zab > rozs sorrendben csökkent, az árpa a búza és a zab között helyezkedik el. Az érzékeny zab és árpa törzsek esetén termésnövekedés lépett fel az intenzív bokrosodás miatt, míg búzánál ez nem jelentkezett (Smilde és Henkens, 1967). Az Adriano szerint rézigényes növényeket a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: Relatív érzékenység rézhiányra (Adriano, 1986)
 Table 2: Relative sensibility to copper deficiency (Adriano, 1986)

Alacsony (1)	Közepes (2)	Magas (3)
Bab	Brokkoli	Búza
Borsó	Fejes káposzta	Lucerna
Burgonya	Karfiol	Sárgarépa
Spárga	Zeller	Saláta
Rozs	Lóhere	Spenót
Legelő fűfélék	Paszternák	Cékla
Lótuszfélék	Retek	Szudánifű
Szójabab	Cukorrépa	Citrusfélék
Csillagfűrt	Fehérrépa	Hagyma
Repce	Szóló	Lucerna
Fenyő	Ananász	Zab
Borsmenta	Uborka	Árpa
Fodormenta	Kukorica	Köles
Rizs	Gyapot	Napraforgó
Karórépa	Cirok	Kapor
	Csemegekukorica	
	Paradicsom	
	Alma	
	Őszibarack	
	Körte	
	Áfonya	
	Eper	
	Takarmányrépa	

(1) low, (2) medium, (3) high

RÉZ UTÁNPÓTLÁSA

A növények réztartalma jellemzően alacsonyabb mint 10 mg kg⁻¹ szárazanyagra vonatkoztatva, ennek megfelelően a talajból felvett összes réz mennyisége is kevés (Mengel et al., 2001), de a tápelem mérleg ezzel együtt is negatív (Pais, 1980). A jellemző tápanyag kivonást és a magyarországi tápelem mérleget a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: Mikroelemek kivonása a talajból (teljes növény) és a mikrotápelem mérleg (Pais, 1980)

Table 3: Microelement withdrawal from soil (whole plant) and microelement balance (Pais, 1980)

Növény (1)	Kivont mennyiség (g ha ⁻¹) (2)					
	B	Cu	Mn	Mo	Zn	Co
Gabonafélék (3)	50-70	50-70	160-460	3-6	150-250	1-2
Burgonya (4)	50-70	40-60	300-450	3-6	200-500	1-5
Cukorrépa (5)	300-500	80-120	300-1000	4-20	300-600	2-8
Takarmányrépa (6)	300-500	80-120	250-1000	4-20	300-600	2-8
Lóhere (7)	200-300	70-90	300-400	5-10	200-400	2-3
Lucerna (8)	500-700	70-90	400-500	5-20	400-600	1-5
Fűfélék (9)	70-90	30-60	250-360	3-20	200-400	1-2
Tápelem mérleg (10)	Kivont mennyiség (g ha ⁻¹ év ⁻¹) (11)					
	400	100	700	20	400	na

(1) Plant (2) Withdrawn amount in g ha⁻¹ (3) Cereals (4) Potato (5) Sugar beet (6) Mangel beet (7) Clover (8) Alfalfa (9) Grasses (10) Nutrient balance (11) Withdrawn amount in g ha⁻¹ year⁻¹

Már a réz esszencialitását bizonyító kísérletek előtt is voltak kutatási eredmények, amelyek azt mutatták, hogy a Bordeaux-i lével történő kezelések a termésre is hatással vannak, ami nincs összefüggésben a gombás megbetegedés kezelésével. McHargue munkájának kiegészítéseként több szerző is beszámolt a réz különböző növényekre gyakorolt hatásáról (Richardson, 1997). Magyarországon Keresztény Béla a mosonmagyaróvári Agrártudományi Egyetemen és Tölgyesi György végzett a mikroelemek, köztük a réz kutatásában úttörő munkát (Barkóczi, 2004). Pecznik szerint régen a szerves trágyázással a mikroelemek, mint a réz jelenetős része visszakerült a talajba, azonban a szintetikus műtrágyák nagyarányú használatával és a megnövekedett termékekkel jellemezhető intenzív gazdálkodás a mikroelemek utánpótlását a mai napig aktuális kérdéssé teszi (Pecznik, 1976 cit. Forró-Rózsa, 2014).

A réz utánpótlása történhet a vetőmag kezelésével, talajon keresztül vagy levéltrágyaként.

Khalid és Malik különböző koncentrációjú réz-szulfát és mangán-szulfát oldatba áztattak búza magokat, és mindkét esetben termésmegnövekedést kaptak a kezelés hatására.

Publikációjukban meghivatkoznak több más kutatást is, ahol hasonló eredményeket kaptak, de megjegyzik, hogy egyes szerzők ellentétes eredményre jutottak (*Khalid és Malik*, 1982). Malhi szerint is a rézhiány megelőzhető a magok Cu-EDTA oldatba áztatásával és a hozam emelkedését figyelte meg, de kisebb mértékben, mint levéltrágyaként vagy talajon keresztül történő alkalmazás esetén (*Malhi*, 2009).

A talajon keresztül adagolt Cu mennyisége a kötöttség, valamint a kijuttatott N hatóanyag mennyiségétől függően 3-20 kg ha⁻¹ (*Kalocsai*, 2006). Locasio szerint 2.25-9.0 kg ha⁻¹ Cu ásványi talajon és 22.5-45.0 kg ha⁻¹ tőzeges és kotus láptalajokon általában évekre elegendő (*Locascio*, 1978 cit. *Adriano*, 1986). A növények rézfelvétele jelentősen különbözhet, de a növényekben a réz koncentrációja ritkán haladja meg a 30 mg kg⁻¹ értéket nagy adagú réz kezelés alkalmazása esetén sem (*Richardson*, 1997). A talajon keresztül kijuttatott réz hatóanyagot a legtöbb növény nem akkumulálja. MacKay és társai által végzett vizsgálatok alapján tőzegen alkalmazott 511-1230 mg kg⁻¹ réz kezelése hatására a spenóttól eltekintve (63.9 mg kg⁻¹) a többi vizsgált növényre (répa, hagyma, karfiol, saláta) nem haladta meg a réztartalom a 20 mg kg⁻¹ értéket (*Mackay et al.*, 1966). Sorteberg és Oijord szerint 50 kg ha⁻¹ CuSO₄-nak megfelelő kezelése esetén a vörös here réztartalma 21.2 mg kg⁻¹, mezei komócsin esetében 6.4 mg kg⁻¹ (*Sorteberg és Oijord*, 1977 cit. *Richardson*, 1997). Miner és társai többéves szennyvíziszap használat után vizsgálták Cd, Cu és Zn felvételét tesztnövényeken. A kapott adatok alapján a növényekben a réz kevésbé akkumulálódott (átlag koncentrációk 34.7, 13.8, 20.0 és 8.2 mg kg⁻¹). A növények réztartalma többváltozós regressziós modellel is csak viszonylag gyengén korrelált ($r^2 \sim 0.3$) a talajok felvehető réztartalmával (M3, DTPA, EDTA). Cd és Zn elemekre a korreláció sokkal jobb volt, az r^2 jellemzően 0.8-0.9 körül alakult (*Miner et al.*, 1997). Ginocchio és társai szerint különböző szennyezett talajokon, különösen savas pH mellett megnövekedett a tesztnövények Cu felvétele, de nem érte el a növényi levelekre toxikus mennyiséget és az emberre veszélyes szintet (*Ginocchio et al.*, 2002). A leggyakrabban használt réz műtrágya a vízoldható CuSO₄x5H₂O (25.5% Cu). Egyéb források, mint a réz-oxidok (CuO, 75% Cu; Cu₂O, 89% Cu), bázisos réz-szulfát (CuSO₄x3Cu(OH)₂, 13%-53% Cu), és réz-karbonát (CuCO₃xCu(OH)₂, 55%-57% Cu) is elterjedtek. A réz-kelátok is (például Na₂CuEDTA, 13% Cu) használhatóak, amelyek viszonylag stabilak a talajban (lúgos talajon inkább, mint savason), így oldott formában tartják a rézet (*Adriano*,

1986). Grundon munkájában a nedvesség eloszlásának fontosságát vizsgálja talajon keresztüli tápanyag utánpótlás esetén (Grundon, 1991).

A réz levéltrágyaként történő alkalmazása rendszerint réz-szulfát, réz-oxiklorid, réz-oxid vagy kelát formában történik (Mengel *et al.*, 2001). Kelát formában általában alacsonyabb dózis használható, mint szervetlen formában, azonban a levélen keresztüli tápanyag utánpótlás hatékonysága függ az alkalmazás időpontjától is (Martens és Westermann, 1991). Brennan szerint levéltrágyaként alkalmazva a kelát (kísérletében Cu-EDTA, 15% Cu) forma a leghatásosabb, a legkevésbé hatásos a réz-oxiklorid. A kapott eredmények alapján réz-szulfátra vonatkoztatva a kelát-forma relatív hatékonysága 1.72-2.24, a réz-oxikloridé 0.47-0.63 (Brennan, 1990). Malhi és társai különböző talajon és levélen keresztüli tápanyag utánpótlási módszereket hasonlítottak össze. Eredményeik szerint a levélen keresztüli utánpótlás gyors hatást ér el a talajon keresztül alkalmazandónál kisebb dózissal (Malhi *et al.*, 2005). Rézhiányos termőhelyen a helyesen kivitelezett Cu levéltrágyázás a kalászos gabonák értékmérő tulajdonságainak akár 20%-os javulását is eredményezheti Schmidt, Szakál és társai, Leitner és társai kutatásai szerint (Kalocsai, 2006).

Magyarországon további mikroelem utánpótlással kapcsolatos vizsgálatokat végeztek Szakál és társai (például Szakál *et al.*, 2005; Schmidt *et al.*, 2005; Barkóczi *et al.*, 2006).

A réz használata növényvédelmi megfontolásokból is kiemelt jelentőségű. Rendszeres alkalmazása miatt szükséges annak vizsgálata, hogy a réz nagyobb mennyiségben hogyan befolyásolja egyéb tápelemek felvételét (Azeez *et al.*, 2015).

A réz kezelés hatására, valamint a hatékonyságot befolyásoló egyes tényezőkre (talajtípus és szerves anyag, pH, kölcsönhatás más tápelemekkel, kijuttatás módja, hőmérséklet és nedvesség, genotípus, fenológiai fázis) vonatkozó irodalomról részletes áttekintés található Richardson munkájában (Richardson, 1997). Mengel szintén mély áttekintést ad a réz utánpótlásról, jellemzően a talajon keresztüli utánpótlásra koncentrálva (Mengel *et al.*, 2001). Martens és Westerman összefoglalója kiterjed a talajon és a levélen keresztüli utánpótlásra is (Martens és Westermann, 1991). A mikroelem pótlás módszereiről Mortvedt, illetve Malhi és Karamanos ad rövid áttekintést (Mortvedt, 1986; Malhi és Karamanos, 2006). A hazai réz utánpótlás kutatásáról Forró-Rózsa összefoglalójában található áttekintés (Forró-Rózsa, 2014).

Magyarországon további mikroelem utánpótlással kapcsolatos vizsgálatokat végeztek Szakál és társai (például Szakál *et al.*, 2005; Schmidt *et al.*, 2005; Barkóczi *et al.*, 2006;

Forró-Rózsa et al., 2017) vagy Kádár (*Kádár 2017a, Kádár 2017b*). A mikroelemek, köztük a réz kutatása a nemzetközi szakirodalom szerint is aktuális téma a legkülönbözőbb területeken (például *Tang et al.*, 2009, *Barbosa et al.*, 2013, *López-Rayó et al.*, 2013 vagy *Solimanzadeh et al.*, 2014).

Copper, an essential element in agriculture

¹ZSOLT GICZI – ²RENÁTÓ KALOCSAI – ¹ERIKA LAKATOS –

²VIKTÓRIA DORKA-VONA – ²ENDRE ANDOR TÓTH

¹SZE MÉK Department of Food Science, Mosonmagyaróvár,

²SZE MÉK Department of Water and Environmental Sciences, Mosonmagyaróvár

SUMMARY

The agriculture and the crop production has an unavoidable role in the food supply of the rapidly growing population. In the 21th century the exclusive application of the quantitative approach in the production is proved not to be enough, fulfilling customer expectations and the requirements of the regulatory authorities related to the food quality and safety are similarly serious challenges for the farmers. Further attention and effort are required from farmers to preserve the condition of the environment and the arable land, which is essential for sustainable quality crop production.

In addition to the many other factors influencing crop production, the supplement of nutrients extracted from the soil by plants is one of the key factors. In many cases the agricultural practice covers only the usage of the most important macro nutrients (N, P, K), however the absolute or even the relative lack of micronutrients may also inhibit the achievement of the planned yield and quality. This article covers a review of the literature concerning copper as an essential element for plants, its occurrence, chemistry, role and supply

Keywords: copper, micronutrient, nutrient supply, copper cycle, copper availability

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

Adriano, D. C. (1986): Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag. New York.

Ammann, M., Scherrer, L., Mueller, W., Burtscher, H., Siegmann, H. C. (1992): Continuous Monitoring of Ultrafine Aerosol Emissions at Mt.Etna. Geophysical Research Letters, **19**, 1387-1390.

Anders, E., Ebihara M. (1982): Solar-system abundances of the elements. Gechimica et Cosmochimica Acta Vol. **46**, 2363-2380.

Anderson, C. J., Ferdani, R. (2009): Copper-64 Radiopharmaceuticals for PET Imaging of Cancer: Advances in Preclinical and Clinical Research. Cancer Biotherapy and Radiopharmaceuticals, **24**, 379–393.

ATSDR (2004): Toxicological Profile for Copper. U.S. Department of Health and Human Services - Agency for Toxic Substances and Disease Registry, <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp132.pdf> (letöltve 2018.03.18).

Azeez, M. O., Adesanwo, O. O., Adepetu, J. A. (2015): Effect of Copper (Cu) application on soil available nutrients and uptake. African Journal of Agricultural Research, **10**, 359-364.

Barbosa, R. H., Tabaldi, L. A., Miyazaki, F. R., Pilecco, M, Kassab, S. O., Bigaton, D. (2013): Foliar copper uptake by maize plants: effects on growth and yield. Ciência Rural, **43**, 1561-1568.

Barkóczy M. (2004): Réz-komplex vegyületek ligandum hatásának vizsgálata az őszi búza hozamára és minőségére. Doktori (PhD) értekezés. NYME-MÉK, Precíziós növénytermesztési módszerek doktori program.

Barkóczy M., Szakál P., Schmidt R., Kalocsai R., Giczi Zs., Halasi T. (2006): Copper ion-exchanged zeolite in plant nutrition. Cereal Research Communications. Proceedings of the V. Alps-Adria Workshop Opatija, Croatia, 6-11 March, 2006, 397-400.

- Baszynski T., Ruszkowska, M., Król, M., Tukendorf, A., Wolinska, D.* (1978): The Effect of Copper Deficiency on the Photosynthetic Apparatus of Higher Plants. *Z. Pflanzenphysiol.*, **89**, 207-216.
- Benton Jones, J. Jr.* (2012): *Plant Nutrition and Soil Fertility Manual*, 2nd edition. CRC Press, Boca Raton
- Bowen, H. J. M.* (1985): The Cycles of Copper, Silver and Gold. In *Hutzinger, O.* (szerk.): *The Handbook of Environmental Chemistry – Volume 1 Part D*, Springer-Verlag, Berlin.
- Boye, M., Wake, B. D., Garcia, P. L., Bown, J., Baker, A. R., Achterberg, E. P.* (2012): Distributions of dissolved trace metals (Cd, Cu, Mn, Pb, Ag) in the southeastern Atlantic and the Southern Ocean. *Biogeosciences* **9**, 3231–3246.
- Brennan., R. F.* (1990): Effectiveness of some copper compounds applied as foliar sprays in alleviating copper deficiency of wheat grown on copper-deficient soils of Western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **30**, 687-691.
- Conry, R. R.* (2005): Copper: Inorganic & Coordination Chemistry. In *King, R. B.* (szerk.): *Encyclopedia of Inorganic Chemistry*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York.
- Cotton, F. A., Wilkinson G., Murillo, C. A., Bochmann, M.* (1999): *Advanced inorganic chemistry*, 6th edition. John Wiley & Sons, New York.
- Csathó P.* (1994): A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest.
- Danielsson, LG., Magnusson, B., Westerlund, S.* (1985): Cadmium, copper, iron, nickel and zinc in the north-east Atlantic ocean. *Marine Chemistry*, **17**, 23-41.
- Debreczeni B.-né, Sárdi K.* (1999): Növényi tápanyagok. In *Fülek Gy.* (szerk.): *Tápanyag-gazdálkodás*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Decker, H.* (2005): Copper Proteins with Dinuclear Active Sites. In *KING, R. B.* (szerk.): *Encyclopedia of Inorganic Chemistry*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York.
- Droppa, M., Masojidek, J., Rózsa Zs., Wolak, A., Horváth L., Farkas T., Horváth G.* (1987): Characteristics of Cu deficiency-induced inhibition of photosynthetic electron transport in spinach chloroplasts. *Biochimica et Biophysica Acta*, **891**, 75-84.
- Fageria, N. D.* (2013): *Mineral Nutrition of Rice*. CRC Press, Boca Raton.
- Farias, J. G., Antes, F. L. G., Nunes, P. A. A., Nunes, S. T., Schaich, G., Rossato, L. V., Miotto, A., Giroto, E., Tiecher, T. L., Dressler, V. L., Nicoloso, F. T.* (2013): Effects of

excess copper in vineyard soils on the mineral nutrition of potato genotypes. *Food and Energy Security*, **2**, 49–69.

Flemming, C. A., Trevors, J. T. (1989): Copper toxicity and chemistry in the environment: a review. *Water, Air, and Soil Pollution*, **44**, 143-158.

Fodor F. (2013): A növények vízháztartása, ásványi táplálkozása, transzportfolyamatok. In *Fodor F.* (szerk): A növényi anyagcsere élettana. Digitális Tankönyvtár – <http://www.tankonyvtar.hu/hu> (letöltve: 2018.03.13.).

Forró-Rózsa E. (2014):Réz a talajban. *Acta Agronomica Óváriensis*, **56**, 97-108.

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.

Ginocchio, R., Rodríguez, P.H., Badilla-Ohlbaum, R., Allen, H.E., Lagos G.,E. (2002): Effect of soil copper content and pH on copper uptake of selected vegetables grown under controlled conditions. *Environ Toxicol Chem.*, **21**, 1736-1744.

Grundon, N. J. (1991): Copper deficiency of wheat: effects of soil water content and fertilizer placement on plant growth. *Journal of Plant Nutrition*, **14**, 499-509.

Hart, P. J., Nersissian, A. M., George, S. DB. (2005): Copper Proteins with Type 1 Sites. In *King, R. B.* (szerk.): *Encyclopedia of Inorganic Chemistry*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York.

Haynes, W. M., Lide, D. R., Bruno, T. J. (szerk.) (2017): *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 97th edition 2016-2017. Taylor & Francis Group, Boca Raton.

He, Z. L., Yang, Y. E., Stoffella, P. J. (2005): Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, **19**, 125–140.

Holm, R. H., Kennepohl, P., Solomon, E. I. (1996): Structural and Functional Aspects of Metal Sites in Biology. *Chem. Rev.*, **96**, 2239-2314.

Huheey, J. E., Keiter, E. A., Keiter, R. L. (1993): *Inorganic Chemistry – Principles of Structure and Reactivity*, Fourth Edition. HarperCollins College Publishers, New York.

Jiang, L. Y., Yang, X. E., He, Z. L. (2004): Growth response and phytoextraction of copper at different levels in soils by *Elsholtzia splendens*. *Chemosphere*, **55**, 1179–1187.

- Judel, G. K.* (1972): Einfluß von Kupfer- und Stickstoffmangel auf die Aktivität der Phenoloxidase und den Gehalt an Phenolen in den Blättern der Sonnenblume (*Helianthus annuus*). Pflanzenernährung und Bodenkunde, **131**, 159-170.
- Kabata-Pendias, A.* (2011): Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton.
- Kádár I.* (1992): A növénytáplálás alapelvei és módszerei, 2. kiadás. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest.
- Kádár I.*, (2008): A mikroelemkutatások eredményeiről, különös tekintettel a Cu és Zn elemekre. Acta Agronomica Óváriensis, **50**, 9-13.
- Kádár I.* (2012): A főbb szennyező mikroelemek környezeti hatása. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest.
- Kádár I., Csathó P.* (2017): A főbb makro- és mikroelemek közötti kölcsönhatások kísérletes vizsgálata. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest.
- Kádár I.* (2017a): Nitrogén, réz és molibdén kölcsönhatások repcére (*Brassica napus* L.). Agrokémia és Talajtan, **66**, 349-360.
- Kádár I.* (2017b): Nitrogén, réz és molibdén kölcsönhatások lucerna kultúrában (*Medicago sativa* L.). Agrokémia és Talajtan, **66**, 375-390.
- Kalocsai R.* (2006): Mikroelem trágyázás. In *Birkás M.* (szerk.): Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Karczewska A., Mocek A., Goliński P., Mleczek M.* (2015): Phytoremediation of Copper-Contaminated Soil. In: Ansari A., Gill S., Gill R., Lanza G., Newman L. (szerk) Phytoremediation. Springer, Cham.
- Kashin, V. K., Ivanov, G. M.* (2008): Copper in Natural Waters in Transbaikalia. Water Resources, **35**, 228–233.
- Khalid, B. Y., Malik, N.S.A.* (1982): Presowing soaking of wheat seeds in copper and manganese solutions, Communications in Soil Science and Plant Analysis, **13**, 981-986.
- Kumari, A., Lal, B., Rai, U. N.* (2016): Assessment of native plant species for phytoremediation of heavy metals growing in the vicinity of NTPC sites, Kahalgaon, India. Int. J. Phytoremediation, **18**, 592-597.
- Linder, M. C.* (1991): Biochemistry of copper. Springer, New York.
- Loch J. – Nosticzius Á.* (2004): Agrokémia és növényvédelmi kémia, IV. javított, átdolgozott kiadás. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

- Lodders, K.* (2003): Solar system abundances and condensation temperatures of the elements. *The Astrophysical Journal*, **591**, 1220–1247.
- López-Rayó, S., Nadal, P., Pozo, M. A., Dominguez, A., Lucena, J. J.* (2013): Efficacy of Micronutrient Chelate Treatments in Commercial Crop of Strawberry on Sand Culture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **44**, 826–836.
- MacKay, D. C., Chipman, E. W., Gupta, U. C.* (1966): Copper and Molybdenum Nutrition of Crops Grown on Acid Sphagnum Peat Soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **30**, 755–759.
- Maksymiec, W.* (1997): Effect of copper on cellular processes in higher plants. *Photosynthetica*, **34**, 321-342.
- Malhi, S. S., Cowell, L., Kutcher, H. R.* (2005): Relative effectiveness of various sources, methods, times and rates of copper fertilizers in improving grain yield of wheat on a Cu-deficient soil. *Canadian Journal of Plant Science*, **85**, 59-65.
- Malhi, S. S., Karamanos, R. E.* (2006): A review of copper fertilizer management for optimum yield and quality of crops in the Canadian Prairie Provinces. *Canadian Journal of Plant Science*, **86**, 605-619.
- Malhi, S. S.* (2009): Effectiveness of seed-soaked Cu, autumn- versus spring-applied Cu, and Cu-treated P fertilizer on seed yield of wheat and residual nitrate-N for a Cu-deficient soil. *Canadian Journal of Plant Science*, **89**, 1017-1030.
- Malmström, B. G., Leckner, J.* (1998): The chemical biology of copper. *Current Opinion in Chemical Biology*, **2**, 286-292.
- Martens, D. C., Westermann, D. T.* (1991): Fertilizer Applications for Correcting Micronutrient Deficiencies. In *Mortvedt, J. J., Cox, F., R., Shuman, L. M., Welch, R. M.* (szerk.): *Micronutrients in Agriculture*, Soil Science Society of America, Madison.
- Massey, A. G.* (1975): Copper. In *Massey, A. G., Thompson, N. R., Johnson, F.G.* (szerk.): *The Chemistry of Copper, Silver and Gold*. Pergamon Press, Oxford.
- McGuirl, M. A., Dooley, D. M.* (2005): Copper Proteins with Type 2 Sites. In *King, R. B.* (szerk.): *Encyclopedia of Inorganic Chemistry*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York.
- Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H., Appel, T.* (2001): *Principles of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

- Merchant, S. S., Allen, M. D., Kropat, J., Moseley, J. L., Long, J. C., Tottey, S., Terauchi, A. M.* (2006): Between a rock and a hard place: Trace element nutrition in *Chlamydomonas*. *Biochimica et Biophysica Acta*, **1763**, 578–594.
- Messerschmidt, A.* (2010): Copper metalloenzymes. In *Mandler, L., Liu, H.W.* (szerk.): *Comprehensive Natural Products II: Chemistry and Biology*. Volume 8: Enzymes and Enzyme Mechanisms. Elsevier, Amsterdam.
- Miner, G. S., Gutierrez, R., King, L. D.* (1997): oil Factors Affecting Plant Concentrations of Cadmium, Copper, and Zinc on Sludge-Amended Soils. *Journal of Environmental Quality*, **26**, 989-994.
- Moffett, J. W., Zika, R. G.* (1987): Photochemistry of Copper Complexes in Sea Water. In *Zika, R. G., Cooper, W. J.* (szerk.): *Photochemistry of Environmental Aquatic Systems*. ACS Symposium Series 327; American Chemical Society, Washington, DC.
- Mohr, F.* (1866): *Geschichte der Erde – Eine Geologie auf neuer Grundlage*. Verlag von Max Cohen & Sohn, Bonn, digitizált verzió: [https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.\\$b50628;view=1up;seq=1](https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.$b50628;view=1up;seq=1), (letöltve: 2018.03.29).
- Molnár F.* (2008): Ércék, salakok, fémek. A Miskolci Egyetem Közleménye – A sorozat, *Bányászat*, **74**, 91-111.
- Mortvedt, J. J.* (1986): Methods of Applying Micronutrient Fertilizers to Correct Deficiencies of Crops. *Outlook on Agriculture*, **15**, 135-140.
- Murell, J. C., McDonald, I. R., Gilbert, B.* (2000): Regulation of expression of methane monooxygenases by copper ions. *Trends in Microbiology*, **8**, 221-225.
- Neish, A. C.* (1939): Studies on chloroplasts ii. their chemical composition and the distribution of certain metabolites between the chloroplasts and the remainder of the leaf. *Biochem J.*, **33**, 300-308.
- Ninkov, J., Vasin, J., Milic, S., Sekulic, P., Zeremski, T., Milenkovic, S.* (2014): Copper content and distribution in vineyard soils of central Serbia. *Eurasian Journal of Soil Science*, **3**, 131 – 137.
- Nolting, R. F., de Baar, H. J. W.* (1994): Behaviour of nickel, copper, zinc and cadmium in the upper 300 m of a transect in the Southern Ocean (57°-62°S, 49°W). *Marine Chemistry* **45**, 225-242.

- Nolting, R. F., de Baar, H. J. W., Timmermans, K. R., Bakker, K.* (1999): Chemical fractionation of zinc versus cadmium among other metals nickel, copper and lead in the northern North Sea. *Marine Chemistry* **67**, 267–287.
- Pais I.* (1980): A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Partelová, D., Horník, M., Lesný, J., Rajec, P., Kováč, P., Hostin, S.* (2016): Imaging and analysis of thin structures using positron emission tomography: Thin phantoms and in vivo tobacco leaves study. *Applied Radiation and Isotopes*, **115**, 87–96.
- Rahimi, A., Bussler, W.* (1973): The effect of copper deficiency on the tissue structure of higher plants. *Z. Pflanzenerachr.*, **135**, 183-195.
- Rasheed, M. A., Seeley, R. C.* (1966): Relationship between the Protein and Copper Contents of Some Plants, *Nature*, **212**, 644-645.
- Rauch, J. N., Graedel, T. E.* (2007): Earth's anthropobiogeochemical copper cycle. *Global Biogeochemical Cycles*, **21**, pp. 13.
- Richardson, H. W.* (1997): *Handbook of Copper Compounds and Applications*. Marcel Dekker, New York.
- Romano, D., Matteucci F.* (2007): Contrasting copper evolution in ω Centauri and the MilkyWay. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **378**, 59–63.
- Rowshanfarzad, P., Sabet, M., Jalilian, A. R., Kamalidehghan, M.* (2006): An overview of copper radionuclides and production of ^{61}Cu by proton irradiation of ^{nat}Zn at a medical cyclotron. *Applied Radiation and Isotopes*, **64**, 1563–1573
- Ruyters, S., Salaets, P., Oorts, K., Smolders, E.* (2013): Copper toxicity in soils under established vineyards in Europe: A survey. *Science of the Total Environment*, **443**, 470–477.
- 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. Réz, cink a környezetben szakmai konferencia. *Acta Agronomica Óváriensis*, **47**, 195-203.
- Sillanpää, M.* (1982): Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study. *FAO Soils Bulletin* 48. Food and Agricultural Organisation, Róma.
- Smilde, K. W., Henkens, CH. H.* (1967): Sensitivity to copper deficiency of different cereals and strains of cereals. *Neth. J. Agric. Sei.*, **15**, 249-258.
- Smith, K. S., Huyck, H. L. O.* (1999): An Overview of the Abundance, Relative Mobility, Bioavailability, and Human Toxicity of Metals. In *Plumlee, G. S., Logdson,*

- M. J.* (szerk.): *Reviews in Economic Geology*, Vol. 6A, Society of Economic Geologists, Inc, Littleton.
- Solimanzadeha, A., Mozafaria, V., Kamalia, M.* (2014): Treatment of Pistachio Trees with Zinc and Copper in Time of Swollen Bud in Two Consecutive Years. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **45**, 1025–1036.
- Solomon, E. I., Heppner, D. E., Johnston, E. M., Ginsbach, J. W., Cirera, J., Qayyum, M., Kieber-Emmons, M. T., Kjaergaard, C. H., Hadt, R. G., Tian, L.* (2014): Copper Active Sites in Biology. *Chemical Reviews*, **114**, 3659–3853.
- Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy.* (1999): Talajtan. Digitális Tankönyvtár – <http://www.tankonyvtar.hu/hu> (letöltve: 2018.03.26.).
- Swaine, D. J., Mitchell, R. L.* (1960): Trace-element distribution in soil profiles. *Journal of Soil Science*, **11**, 347–368.
- 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. *Cereal Research. Communications*, **33**, 415–418.
- Tang, M., Hu, F., Wu, L., Luo, Y., Jiang, Y., Tan, C., Li, N., Li, Z., Zhang, L.* (2009): Effects of copper-enriched composts applied to copper-deficient soil on the yield and copper and zinc uptake of wheat. *International Journal of Phytoremediation*, **11**, 81–93.
- Taylor, R. S., McLennan, S. M.* (2009): *Planetary crusts: their composition, origin and evolution.* Cambridge University Press, Cambridge.
- Thomson, A. J., Gray, H. B.* (1998): Bio-inorganic chemistry. *Current Opinion in Chemical Biology*, **2**, 155–158.
- USGS* (2013): *Mineral Commodity Summaries 2013.* U.S. Geological Survey, Virginia.
- Watanabe, S., Iida, Y., Suzui, N., Katabuchi, T., Ishii, S., Kawachi, N., Hanaoka, H., Watanabe, S., Matsuhashi, S., Endo, K., Ishioka, N. S.* (2009): Production of no-carrier-added ^{64}Cu and applications to molecular imaging by PET and PETIS as a biomedical tracer. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **280**, 199–205.
- Whatley, F. R., Ordin, L., Arnon, D. I.* (1951): Distribution of micronutrient metals in leaves and chloroplast fragments. *Plant Physiol.*, **26**, 414–418.
- Wightwick, A. M., Salzman, S. A., Reichman, S. M., Allinson, G., Menzies, N. W.* (2013): Effects of copper fungicide residues on the microbial function of vineyard soils. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **20**, 1574–1585.

Wood, M. J., Robson, A. D. (1984): Effect of copper deficiency in wheat on the infection of roots by *Gaeumannomyces Graminis* var. *Tritici*. *Australian Journal of Agricultural Research*, **35**, 735-742.

Yamasaki, H., Pilon, M., Shikanai, T. (2008): How do plants respond to copper deficiency? *Plant Signal Behav.*, **3**, 231–232.

Yruela, I. (2005): Copper in plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, **17**, 145-156.

Zinkiewicz, E., Ruszkowska, M., Samiec, H. (1985): Rate of dark respiration of oats at various levels of copper supply. *Acta Agrobotanica*, **38**, 23-32.

A szerző levélcíme – Address of the author:

GICZI ZSOLT

Széchenyi István Egyetem

Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar

Élelmiszertudományi Tanszék

H-9200 Mosonmagyaróvár, Lucsony u. 15-17.

E-mail: giczi.zsolt@sze.hu

9200 Mosonmagyaróvár Lucsony u. 15-17.