



Az esszenciális mikroelemek szerepe a növények élettani folyamataiban

TÓTH ENDRE ANDOR – KALOCSAI RENÁTÓ – DORKA-VONA VIKTÓRIA –
GICZI ZSOLT

Széchenyi István Egyetem Mezőgazdasági- és Élelmiszertudományi Kar
Mosonmagyaróvár

ÖSSZEFOGLALÁS

Az utóbbi évtizedekben az egyre intenzívebb növénytermesztés következtében a termőterületről egyre nagyobb mértékben kivont mikroelemek sokszor nem kerülnek vissza a talajba, melynek hatása a termés mennyiségében és minőségi mutatóiban is meglátszik. A mikroelemek nélkülözhetetlenek az élő szervezetek számára. A növények elsősorban a talajból veszik fel őket, azonban a talajok mikroelem-ellátása nagy diverzitást mutat. Fontos foglalkoznunk a mikroelemek tulajdonságaival, formáival, valamint a felvételüket befolyásoló tényezőkkel.

A dolgozat áttekintést nyújt a növények szempontjából fontosabb mikroelemek (Cu, Mo, B, Mn, Fe) növényi életfolyamatokban betöltött szerepéről, a növényekben és a talajban történő előfordulásukról, valamint a hiánytüneteikről. Mindezeket túl kitérünk arra is, hogy az elmúlt évek során milyen nemzetközi kutatások és kísérletek láttak napvilágot az adott mikroelem kapcsán, betekintést nyerve a mikroelem-kutatások irányába.

Kulcsszavak: mikroelem, talaj, réz, molibdén, bór, mangán, vas

BEVEZETÉS

Termesztett növényeink optimális fejlődéséhez kielégítő mennyiségű esszenciális tápelemre van szükség. A hazai tápanyagellátási gyakorlat ugyanakkor viszonylag kis figyelmet fordít termesztett növényeink megfelelő mikroelem-ellátására, így az

gyakorlatilag kizárólag a makroelemek (N, P, K) pótlására korlátozódik. Liebig minimum-törvénye óta tisztában vagyunk vele, hogy a tápelem-egyensúlyra is oda kell figyelni, hiszen egy adott esszenciális elem hiánya nem helyettesíthető másik tápelemmel. Ebből kifolyólag bármely esszenciális tápelem hiánya gátolja a növény növekedését, amely a terméseredmény csökkenéséhez vezethet (*Whitcomb et al.* 2014). Mennyiségi megoszlásuk alapján az elemeket makro- és mikroelemekre oszthatjuk (*Szabó et al.* 1987). A makroelemek csoportjába sorolható a C, H, O, N, P, K, S, Ca és a Mg. Mikroelemnek minősül a Fe, Mn, B, Cu, Mo és a Zn (*Buzás* 1983). *Tisdale et al.* (1985) alapján 20, a növény szempontjából esszenciális elemet különböztethetünk meg.

A mikroelemek a növényi szervezetben csak kis mennyiségben (0,01% - 0,00001%) fordulnak elő, ennek ellenére a növényi életfolyamatokban betöltött szerepük alapvető jelentőségű (*Kalocsai et al.* 2006). A mikroelemek a talajban többféle formában vannak jelen: vízoldható alakban (szabad kationként, szerves és szervetlen komplexek ligandumaiként); agyagásványok kicserélési helyein; specifikusan adszorbeált állapotban; szerves anyagok által komplexek alakjában megkötve vagy adszorbeálva; oldhatatlan csapadékokban; primer ásványokban és a szilikátanyagok oktaéder-rácsában a Fe és Al izomorf helyettesítésében részt vevő kationként. Többnyire csak kis mennyiségű mikroelem van a növények számára felvehető állapotban (formában) a talajban, azonban, ha a talajoldatban csökken a mikroelemek koncentrációja (a növények tápanyagfelvételének köszönhetően), az egyes elemek átalakulhatnak oldhatatlan, vagy kevésbé oldható formából oldhatóba (*Stefanovits et al.* 1999). A nyomelemek olyan elemek, amelyek a legtöbb talajban, növényben, vagy élő szervezetben csak kis mennyiségben vannak jelen (mg/kg vagy kisebb mértékben) (*Phipp* 1981). Az elmúlt évtizedben számos tanulmány jelent meg, melyekben vizsgálták a réz (Cu), cink (Zn), vas (Fe), mangán (Mn), molibdén (Mo), bór (B), klór (Cl), kobalt (Co), nikkelt (Ni) és a szelént (Se) tulajdonságait. 8 nyomelem esszenciális a növények szempontjából számára: a Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, B, Cl és Ni. Amennyiben egy vagy több esszenciális nyomelem nem kielégítő mennyiségben áll a növény rendelkezésére, termés- és minőségcsökkenéssel kell számolnunk (*Alloway* 2008).

Az „esszenciális ásványi elemek” fogalmat *Arnon* és *Stout* alkották meg 1939-ben, és három kritériumot fogalmaztak meg, melyek szükségesek ahhoz, hogy egy elemet esszenciálisnak nevezzünk:

- hiánya esetén abnormális és gátolt lesz a növekedés,

- hatása specifikus, más elemmel nem helyettesíthető,
- közvetlen hatást fejt ki és részt vesz a szervezet anyagcseréjében.

A mikroelemek növényi felvehetőségét legmarkánsabban a talaj pH-értéke szabályozza. Minden olyan tevékenység, behatás, mely közvetetten, vagy közvetlenül módosítja a pH-t, a mikroelem felvételre is hat (Kádár 2008). Az egyes elemek felvételét más elemek hiánya, vagy jelenléte erősen befolyásolhatja a különféle antagonizmusok, illetve szinergizmusok által (Havlin et al. 2005). Magas pH értékű erősen meszes, illetve esetlegesen túlmeszesített talajokon felmerülhet a Cu, Fe, Mn, és a Zn hiánya. Ezeken a területeken kiemelt fontosságúnak tartjuk a levéltrágyát (Szentpéteri et al. 2005). A különböző növények a mikroelemeket különböző mértékben vonják ki a talajból, amit az 1. táblázat szemléltet. A jó minőségű termék előállításának feltétele a harmonikus növénytáplálás, amelyet az N, P, K elemek pótlásán túl a mikroelemek okszerű ellátásával biztosíthatunk.

1.táblázat: Mikroelemek kivonása a talajból (Szakál-Barkóczi 1989)

Table 1: Microelement extraction from the soil

| Növényfaj | Kivont mennyiség (g/ha) | | | | |
|---------------|-------------------------|--------|----------|------|---------|
| | B | Cu | Mn | Mo | Zn |
| gabonafélék | 50-70 | 50-70 | 160-460 | 3-6 | 150-250 |
| burgonya | 50-70 | 40-60 | 300-450 | 3-6 | 200-500 |
| cukorrépa | 300-500 | 80-120 | 300-1000 | 4-20 | 300-600 |
| lucerna | 500-700 | 70-90 | 400-500 | 5-20 | 400-600 |
| takarmányrépa | 300-500 | 80-120 | 250-1000 | 4-20 | 300-600 |
| fűfélék | 70-90 | 30-60 | 250-360 | 3-20 | 200-400 |
| lóbab | 10-30 | 20-40 | 14-28 | 5-8 | 70-100 |

A következőkben tekintsük át a növények szempontjából néhány fontos mikroelem (Cu, Mo, B, Mn, Fe) növényi életfolyamatban betöltött szerepét, előfordulásukat a talajban és a növényekben, illetve hiánytüneteiket.

RÉZ

A réz a növények számos élettani folyamataiban résztvevő mikroelem. Alkotója és aktivátora olyan enzimeknek, amelyek részt vesznek a fotoszintetikus elektrontranszportban, a transzspirációs anyagcserében, a szénhidrát-, zsír- és anyagcserében (Shkolnyik 1984). A réz specifikus élettani hatását kis ionátmérvőjével,

viszonylag nagy atomtömegével, változó vegyértékével és komplexképzési hajlamával magyarázzák (Loch és Nosticzius 1992). Először 1882-ben, Bordeaux város közelében használtak CuSO_4 5%-os oldatot gombaölőszerként, szőlőperonoszpóra ellen (Mehrotra és Aggarwal 2003). Ennek használata volt az első lépcső a réz növénystimuláló hatásának megfigyeléséhez. 1925-ben bizonyították be, hogy a réz a növény és állat számára egyaránt esszenciális elem (Pais 1980).

A réz a talajban főként kétértékű formában, szerves és szervetlen adszorpciós felületekhez kötődve van jelen (Loch és Nosticzius 2004). Az egyes kationok közül a réz kötődik legerősebben az agyagásványokhoz, csökkentve a növény általi felvételt (Ma et al. 2006). A réz 0,00002-0,01% mennyiségben van jelen a talajban. Összmenyiségének csupán igen kis része van kicserélhető formában, a szelvényen belüli réztartalom mégis változik az agyag eloszlásával (Stefanovits 1975). A legtöbb növény csak csekély mennyiségben vesz fel rézet. A Cu-t a növények Cu^{2+} -ion formájában vagy szerves anyagokhoz kötve veszik fel. Felvehetősége függ a talaj szervesanyag-tartalmától, a pH-tól, a vas, a mangán és az alumínium mennyiségétől (Buzás 1983). Győri (1984) adatai alapján a hazai talajok összes réztartalma a szántott rétegben 10-110 kg/ha-ra tehető, az összes Cu-készlet pedig 3-38 mgkg⁻¹. A nagy szervesanyag-tartalmú, laza szerkezetű podzolos talajok, valamint a magas pH-értékű, meszes területek réztartalma általában alacsonyabb (Kalocsai et al. 2005). Tölgyessy (1978) hazánk talajainak 13%-át találta rézben gyengén ellátottnak. Kádár (1997) részben saját vizsgálatait, részben FAO megbízásból készült elemzések alapján Magyarország talajainak és növényeinek becsült rézellátottságát 1%-ban magasnak, 70%-ban közepesnek és 29%-ban gyenge ellátottságúnak találta.

A növények átlagos réztartalma szárazanyagra vetítve 2-20 mgkg⁻¹. A növények felvételét jelentősen befolyásolja a talajban felvehető réztartalom és más kationok (pl. Zn) jelenléte (Füleky 1999). A réz a savanyú talajokban a legoldhatóbb, a pH-érték emelkedésével csökken az oldhatósága. Szerves talajokban gyakori a rézhiány, mivel az ilyen talajokban nincsenek mállásra képes ásványok, kőzetek, így rézpótlás sincs. Gyengén ellátott talajokon, valamint növekvő N-trágyázás hatására csökkenhet a növények réz-tartalma. A nitrogén-trágyázás hatására növekvő termés réz-igényét a talaj nem képes kielégíteni, így N x Cu antagonizmus lép fel. Ez könnyen orvosolható a talajok tápanyagban való ellátásával, illetve a nitrogénnel párhuzamos réz-trágyázással (Kádár 2008).

Flynn et al. (1987) Ausztráliában rézhiányos talajon végzett réztrágyázási kísérletek alapján megállapította, hogy a pollenképződés előtti kezelés eredményeként mind a hozam, mind a minőségi paraméterek javultak.

Nadim et al. (2011) Pakisztánban végzett kísérletükben agyagos vályogtalajon nevelt búzánövényen vizsgálták különböző dózisu CuSO_4 trágyázás hatását (6; 8; 10 kg ha^{-1}). Eredményeik alapján a 8 kg ha^{-1} Cu dózis mellett kapták a legmagasabb hozamot.

Liew et al. (2012) Malajziában végzett kísérletükben bór- és réztartalmú levéltrágyák hatását vizsgálták rizs növényen. Megállapításaik alapján szántóföldi körülmények között akár 27%-al növelhető a rizs hozama réz- és bór levéltrágya használatával, amely főként a nagyobb arányú szemtelítettségnek és a magasabb ezermagtömegnek köszönhető.

Harris et al. (2017) Srí Lankán beállított kísérletükben a bór és a réz levéltrágyázás hatását vizsgálták paradicsom növényen. A mikroelemek pozitív hatással voltak a növények hosszára, levélszámára, a gyökér hosszára és a szárazanyag-tartalmára is

Shams et al. (2017) Iránban homokos vályogtalajon végzett kísérletükben görögcszénán vizsgálták a nitrogén és a réz hatását. Megállapításaik szerint a réz kisebb dózisokban növelte a növény hozamát, a termést hozó részek arányát és a diosgenin tartalmát, azonban magasabb dózisban (30 kg ha^{-1}) már csökkentette a hozamot.

Azeez et al. (2015) Nigériában erősen kilúgozott savanyú erdőtalajon vizsgálták a réz-szulfát trágyázás hatását a felvehető P, Zn, Fe és a kukorica növekedésének tekintetében. A növekvő Cu adagok hatására a felvehető P szignifikáns csökkenése volt megfigyelhető. Hasonló módon csökkent a felvehető Zn, melyet a szerzők a Cu és a Zn hasonló töltése és ion-méretének tulajdonítanak. A növénymagasság, átmérő és levélfelületi index fokozatos csökkenését észlelték továbbá a növekvő Cu adagok hatására, mely rámutat, hogy a Cu túlzott jelenléte a talajban akadályozza a növények tápelemekhez való hozzáférését.

Ghorbanpour et al. (2016) tenyészedényes kísérleteikben vizsgálták a cink és a réz hatását a bazsalikom növény biomasszájára és esszenciális olaj-tartalmára. Vizsgálataik eredményeként azt tapasztalták, hogy a Cu és a Zn egyedül, vagy kombináltan már kis mennyiségben is pozitív hatással van mind a növény hajtásának és gyökerének szárazanyag-tartalmára, mind az esszenciális olaj-tartalmára.

Hiánytünetei: réz hiányában gátolt a növények nitrogénfelvétele és fehérjeszintézise (*Kádár - Shalaby* 1984b). Csökken a betegségekkel szembeni ellenállóképesség, mivel

csökken a polifenol-oxidáz aktivitása, csökken a szárszilárdság, a szárazságtűrő képesség és romlik a vízháztartás (Grundon 1991; Judel 1962). A levelek elfonnyadnak, besodródznak, klorotikusak lesznek és elhalnak (Marschner 1995). Rahimi 1971-ben végzett kísérleteiben mesterséges rézhiány kialakítása során sejtfal-lignifikálódásra és a szállítóyalábok rendellenes fejlődésére figyelt fel.

Növényekben réz-toxicitás ritkán fordul elő, mivel a réz erősen kötődik a talajrészecskékhez (Füleky 1999). Rézfelhalmozódáshoz vezethet, ha egy adott területen huzamosabb ideig használnak réztartalmú fungicideket, desztillációs üzemek, ipari létesítmények szennyvizét, valamint a takarmányukban rézkiegészítést kapott állatok hígtrágyáját. Ilyenkor a növények nagy mennyiségű rezet akumulálhatnak, amely toxikus hatású lehet, melynek következtében klorózis, valamint természsökkenés következhet be (Szabó et al. 1987).

MOLIBDÉN

A molibdén a növények számára esszenciális mikroelem, amely a nitrogén-anyagcserében résztvevő enzimek egyik fontos alkotója. Részt vesz a légköri nitrogén megkötésében és szerepe van a nitrát redukciójában (Yaneva et al. 1996). A molibdén jelen van több mint 40 enzimből, amelyek közül csak 4 található meg növényekben is. A már említett nitrát-reduktázon kívül jelen van az aldehid-oxidázban, amely az abszcizinsav bioszintézisének utolsó lépésében vesz részt, a xantin-dehidrogénázban, melynek a purin anyagcserében és stressz reakciókban van szerepe, valamint a szulfít-oxidázban (Mendel és Hänsch 2002). A molibdén biológiai szerepére először Bortels mutatott rá 1930-ban. Megállapította, hogy a molibdén esszenciális az *Azotobacter* baktérium növekedéséhez és a légköri nitrogén megkötéséhez. Nem sokkal később Steinberg 1936-ban *Aspergillus niger* gombafajon mutatott rá a molibdén esszenciális mivoltára.

A molibdén a legtöbb mikroelemhez képest csekély mennyiségben van jelen a talajokban, átlagos koncentrációja 1-2 mgkg⁻¹ (Barceloux 1999). Többnyire vas- és alumínium-oxidokhoz kötődve található meg (Bibak és Borggard 1994), azonban a talajban különböző ásványokban is előfordul: molibdenit, powellit, wulfenit, ilsemanit és a ferrimolibdit (Sarkar 2002). A növények a molibdént molibdenát anion (MoO₄²⁻) formájában veszik fel (Mengel és Kirkby 1987). Átlagos mennyisége a növényekben 1

mgkg⁻¹ körül van (Buzás 1983). A növények molibdén igénye a többi mikroelemhez képest alacsonynak mondható. Lindsay (1972) megállapítása szerint 5 pH érték felett, ha a talaj pH értéke egy egységgel nő, a felvehető MoO₄²⁻ koncentrációja a százszorosára emelkedik. Ebből adódóan savanyú talajaink meszezése általában elegendő a molibdén hiány leküzdésére (Bittner 2014). Arnon (1937, 1938) vizsgálatai kimutatták, hogy a molibdén megfelelő mennyiségben történő kijuttatása segítette az árpa (*Hordeum vulgare* L.), a fejessaláta (*Lactuca sativa* L.) és a spárga (*Asparagus officinalis* L.) növekedését. Molibdén hiányában a növények Mo hiánytüneteket produkáltak, amelyeket csak Mo hozzáadásával tudtak megszüntetni. A molibdén kulcsszerepet játszik a nitrogén anyagcserében és elősegíti a felvételét (Silva et al. 2012). A molibdén és a kén között antagonisták kapcsolata áll fenn (Gupta és Mehla 1980). A molibdén és a foszfor kölcsönhatást számos kísérlet vizsgálat, azonban a kapott eredmények sok esetben egymással szemben állnak. Egyes kísérletek szinergista viszonyt (Liu et al. 2010; Basak et al. 1982; Kandil et al. 2013), míg mások antagonisták viszonyt (Chatterjee et al. 1985; Heuwinkel et al. 1992) véltek felfedezni a két elem kapcsolatában. Basak et al. (1982) rizs növényen végzett kutatásaik alapján azt tapasztalták, hogy Mo-kezelés hatására a rizs cink és réz-koncentrációja szignifikánsan csökken.

Togay et al. (2015) Törökországban főzeléklencse szántóföldi termesztésben beállított kísérletben vizsgálták a molibdén és a vas hatását a növény termésére. Kutatásaik során a főzeléklencse vetőmagját kezelték 0-2-4-6 g Mo kg⁻¹ dózisokban. Vizsgálataik megállapították, hogy az általuk vizsgált agyagos vályogtalajon a 6g Mo kg⁻¹ kezelés javította legjobban a terméseredményt és a lencse minőségi paramétereit.

Alam et al. (2015) Dél-Koreában Mo-hiányos talajon végzett tenyészedényes kísérletükben a molibdén hatását vizsgálták szöszös bükkönyön. Az adagolt molibdén mennyiségének emelése növelte a gyökércsomók mennyiségét, tömegét és N-fixáló képességet, így nőtt a növény N-tartalma.

Škarpa et al. (2013) Csehországban kispárcellás kísérletben Mo-hiányos talajon vizsgálták a molibdén lombtrágyázás hatását a napraforgó terméshozamára és minőségi paramétereire. A lombtrágyázás hatására nőtt a napraforgó biomassza tömege, szárazanyag-tartalma és termésmennyisége, nem volt hatással azonban a napraforgó olajsav-tartalmára.

Steiner és Zoz (2015) Braziliában napraforgó növényen beállított lombtrágya kísérletükben a molibdén hatását vizsgálták a növény N-ellátottságára és a kaszattermesére. Megállapításaik szerint 60-70 g ha⁻¹ Mo hatóanyag kijuttatásig növelhető a növény N-felvétele és a kaszattermés mennyisége.

Tahir et al. (2014) Pakisztánban beállított kísérletükben vizsgálták a molibdén hatását a mungóbab termésére és minőségi paramétereire. Különböző mennyiségben csávázták a növény vetőmagját nátrium-molibdenáttal. Megállapításaik szerint 4g Mo kg⁻¹ kezelés esetén kapták a legnagyobb termést. Az ennél nagyobb mennyiségben történő csávázás már csökkentette a terméseredményeket.

Hiánya, hiánytünetei: nem kielégítő molibdén ellátottság esetén a növények növekedése lassul, a levelek fakó színt vesznek fel (*Martin et al.* 1995). Jellemző tünetek a levelek szürkészöld elszíneződései, a levélerek közötti klorózis, súlyosabb esetben nekrozis (*Mengel et al.* 2001). *Gupta és Lipsett* (1981) megfigyelései alapján a kétszikűeknél a következő hiánytünetek is előfordulhatnak: levéltorzulás, klorotikus elváltozás, nekrotikus foltok és a tenyészőkúp elhalása. A növények a molibdén feleslegre kevésbé érzékenyek, toxikus hatás csak igen nagy koncentrációnál jelentkezik (*Broadley et al.* 1995). A molibdén többlet esetén a levelek vörössárga – aranyárga klorózisa figyelhető meg (*Gupta* 1997), emellett a molibdén felesleg a hajtás és a gyökér fejlődését is gátolja (*Kevresan et al.* 2001).

BÓR

A bór alapvető fontosságát 1923-ban *Warrington* szemléltette. Lóbab növényen végzett kísérletei során rámutatott, hogy bór hiányában a növényeken egyértelmű hiánytünetek jelentkeznek, amelyek csak bór adagolásával szüntethetőek meg. Bórra a növényeknek életük során folyamatosan szükségük van a növény sejtfalában betöltött strukturális szerepe végett. Emellett fontos szerepet tölt be a nukleinsavak anyagcsere-folyamataiban, a szénhidrátok és a fehérjék szállításában és felhalmozásában, a sejtfal-szintézisben (*Goldbach és Wimmer* 2007; *Miwa et al.* 2007). Megkönnyíti a cukor mozgását azzal, hogy bór-cukor komplexet alkot, így a cukrok könnyebben áthatolnak a sejt falán (*Buzás* 1983). A bór számos formában jelen van a talajban, azonban átlagos talaj pH szinten (5,5-7,5) legnagyobb mennyiségben oldható bórsav (H₃BO₃) formájában található. A növények a bórt elsősorban bórsav formájában veszik fel a

talajból (Tanaka és Fujiwara 2008). Felvehetik továbbá a következő ionos formákban is: $B_4O_7^{2-}$, $H_2BO_3^-$, HBO_3^{2-} , BO_3^{3-} (Buzás 1983). A növények számára felvehető bór a talaj fizikai és kémiai tulajdonságától függ, amelyek a következők: pH, talajtextúra, agyagtartalom, kötöttség, szervesanyag-tartalom, stb (Goldberg 1993). Az egyszikűekben 6-18 $mg\ kg^{-1}$, kétszikűekben 20-60 $mg\ kg^{-1}$ közötti szárazanyagra vonatkoztatott koncentráció jellemző (Füleky 1999).

Singh et al. (1990) nagy mennyiségű bór kijuttatása esetén antagonista hatást vélt felfedezni búzában a többi tápelem felvételére. Mások bór többlet esetében is szinergista viszonyt észleltek a tápelemek felvételére paradicsom növényben (Carpana-Artes és Carpana-Ruiz, 1987). Leece (1978) szerint bór jelenlétében a P/Zn, Fe/Zn, Cu/Zn és Mn/Zn arányok növekednek kukoricában, mely alapján feltételezhető, hogy a bór is hatással van a növények tápelem egyensúlyára.

Hossain et al. (2011) Bangladesben, meszes, B-hiányos talajon, kisparcellás kísérletben vizsgálták a bórtrágyázás mustárra gyakorolt hatását. Megállapításaik alapján a talajba juttatott bór hatására 30-35%-al tudták növelni a termésmennyiséget (optimális mennyiség 1 kg B/ha).

Konuskan et al. (2017) Törökországban, agyagos talajon állítottak be kisparcellás kísérletet kukorica növényen, ahol különböző dózisú bór lombtrágyázás hatását vizsgálták a növény minőségi paramétereire. Szignifikáns változást állapítottak meg a zsírsavak összetételében és az olaj mennyiségében.

Turan et al. (2018) tenyészedényes kísérletükben durumbúzában valamint őszi búzában vizsgálták a bórsav hatását termőközegbe juttatva a növények B, illetve Ca-koncentrációjára. Míg 1 mg B kg^{-1} növelte mindkét kultúrnövény szárazanyag-tartalmát, addig a nagyobb, 10 mg B kg^{-1} dózis szignifikánsan csökkentette szárazanyag-tartalmukat. A B-dózis növelésével nőtt a B-felvétel és a koncentráció a levélcúcsokban és a sejtfalban, azonban a Ca felvétele és koncentrációja is csökkent mindkét kultúrváltozat esetében. A bór toxicitás tünetei erősebben jelentek meg a durumbúza esetében, mint a hagyományos őszi búza esetében.

Dursun et al. (2010) Törökországban végzett két éves, üvegházás kísérletükben paradicsomon, paprikán és uborkán vizsgálták a B-trágyázás (mint $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) hatását a zöldségek hozamára, valamint a növények makro- és mikroelem-koncentrációira. Megállapításaik szerint a B-trágya használata mindhárom növény terméseredményét növelte (maximális mértékben 3 kg B ha^{-1} dózisban), növelte továbbá

a szövetek P, K, Fe, Mn, Zn és Cu koncentrációját, azonban csökkentette a N, Ca és Mg koncentrációját.

Škarpa (2013) Csehországban beállított, 4 éves szántóföldi kísérletében vizsgálta napraforgó növényen a bór különböző időpontokban történő lombtrágyázásnak hatását a növény mennyiségi és minőségi paramétereire. A kaszattermés legnagyobb mértékben (8,3%-al) a vegetáció kezdetekor kijuttatott bór hatására nőtt, az olajmennyiség szintén a vegetáció elején kijuttatott trágyázás hatására nőtt legnagyobb mértékben (10,2%).

A bórhiány elsődleges következményei a sejtfalban fellépő változások, amelyből következnek a másodlagos hatások, melyek az anyagcserére és a növekedésre hatnak (*Dordas és Brown* 2000). A bórhiány egyik legkorábban jelentkező tünete a gyökérnövekedés szünetelése (*Marschner* 1995). A fiatal leveleken korán jelentkeznek a bórhiány tünetei: a klorotikus levelek kifakulnak, lankadtá válnak; a gyökereken a tenyészőcsúcs pusztulása jellemző. Cukorrépa és repce esetében további tipikus hiánytünet a répatest szív- és szárazrothadása, paradicsomnál a hajtások csúcsainak pusztulása. Gyümölcsfáknál a kifejlődött gyümölcsök, valamint szőlőnél a bogyók aprók maradnak, minőségük jelentősen romlik (*Füleký* 1999). A bórhiány talaj- és levéltrágyázással is könnyen orvosolható. Szőlőnél jellegzetes tünet az úgynevezett „madárkás fürt”, mely a hiányos termékenyülés és a gátolt bogyófejlődés következménye.

A bórhiány könnyen kezelhető, azonban a bór felesleg egy komoly mikroelem zavar, amely a világon sok helyen befolyásolja a termesztett növények, főként a gabonák terméseredményét (*Kalayci et al.* 1997). A bór felesleg egyik jellemző tünete a levélen jelentkezik (leaf burn): klorotikus, majd később nekrotikus foltok, gyakran az idősebb levelek szélein és végein (*Bennett* 1993). A felesleg a gyökereken nem mutat látható tüneteket, mivel a bór koncentráció a gyökerekben viszonylag alacsony marad a levelekhez képest, még nagyon magas bór-ellátottság esetén is (*Nable* 1988; *Oertli and Roth*, 1969, in *Ross et al.* 1997). *Lovatt és Bates* (1984) megfigyelései alapján fiatal cukkini növényeknél a bór feleslege késleltette a növekedést, csökkentette a levélfelület nagyságát és a szén-dioxid asszimilálását.

MANGÁN

A mangán esszencialitását *J. S. McHargue* mutatta ki 1922-ben. A mangán számos élettani és biokémiai folyamatban játszik szerepet a növényekben: részt vesz a klorofill felépítésében, a citromsav-ciklusban, a légzést szabályzó enzimek aktiválásában, számos anyagcsere-reakcióban, valamint a csírázás és a fejlődés gyorsításában is (*Fageria* 2001). A talajban mangán-oxidok, szilikátok és karbonátok tartalmazzák, valamint adszorbeáltan vas-oxidok és szerves komplexek felületén fordul elő (*Smith és Peterson* 1995). Savanyú talajokon, a pH csökkenésével nő a kicserélhető mangántartalom (főként Mn^{2+} formában) a talajban, mely a növények számára könnyen felvehető (*Marschner* 1995).

A talajban jelen levő Mn^{2+} mennyisége a talaj következő paramétereitől függ elsősorban: a talaj pH-értékétől, porozitásától, redoxipotenciáljától és mikrobiológiai aktivitásától (*Schmidt et al.* 2016). Magasabb pH értékeken a mangán Mn(III) és Mn(IV) vegyértékű formában van jelen a talajban, amely a növények számára nem érhető el (*Rengel* 2000). A talajban jelen levő mangán-tartalom széles skálán mozog. *Sparks* (1995) 20 és 10000 $mg\ kg^{-1}$ között állapította meg a mennyiségét, *Adriano* (2001) 450 és 4000 $mg\ kg^{-1}$ közé tette a talaj összes mangán-tartalmát. Hazánk talajainak átlagos Mn-tartalma 100-1100 $mg\ kg^{-1}$ (*Győri et al.* 1971). Átlagos koncentrációja a növényekben szintén széles skálán mozog, szárazanyagra vonatkoztatva 30-500 $mg\ kg^{-1}$ érték között változik (*Clarkson* 1988).

Savanyú talajokon, melyek nagy mennyiségű, a növények által könnyen felvehető mangánt tartalmaznak, megfigyelhető a Mn-Fe antagonizmus. A Fe-Mn arány (átlagos értéke 1,5-2,5 közötti) szinten tartása szükséges a növény egészségének megőrzése szempontjából. Ezen arány alatt Mn-mérgezés és Fe-hiány előfordulására számíthatunk, míg 2,5 arány felett relatív vas túlsúlyt és ebből kifolyólag Mn-hiányt észlelhetünk (*Kabata-Pendias és Pendias* 1992).

Singh és Patra (2017) Indiában a szerves trágyázás és mangán-kezelés hatását vizsgálták szántóföldi kísérletükben őszi búza növényen. Megállapításaik alapján a mangán-trágyázás hatására a növénymagasság, valamint a szalma- és a szemtermés 10 kg Mn ha^{-1} -ig lineárisan nőtt, továbbá a mangán-trágyázásnak pozitív hatása volt a búza K, P és S hasznosítására is.

Ozbahce és Zengin (2014) Törökországban magas pH-tartalmú, agyagos vályogtalajon beállított kisparcellás kísérletben vizsgálták veteménybabon a mangán-kezelések hatását. Kétféle mangán-kezelést (mangán-szulfát és Mn-EDTA) vizsgáltak talajtrágyaként, valamint lombtrágyaként kijuttatva. Mindkét esetben szignifikánsan nőttek a terméseredmények. Eredményeik alapján a Mn-EDTA használata kedvezőbb a terméshozamra és a jövedelmezőségre vonatkoztatva, mint a mangán-szulfát használata, továbbá a mangán lombtrágyaként való kijuttatása eredményesebb volt, mint talajtrágyaként történő használata.

Batukaev et al. (2018) Oroszországban homokos talajon szőlő növényen vizsgálták a mangántrágyázás hatását. Eredményeik alapján a mangán dózisok növelésével szignifikánsan nőtt a szőlő terméseredménye, a maximális értéket 4 kg Mn ha⁻¹ dózis esetén érte el.

Moosavi és Ronaghi 2011-ben Iránban agyagos, meszes talajon végzett üvegházás kísérletükben szójabab növényen vizsgálták a vas és a mangán talaj-, illetve lombtrágyaként történő alkalmazását. Megállapításaik szerint a mangán jelenléte negatívan befolyásolta a gyökerek Fe-felvételét, valamint a nagy mennyiségű Mn talajtrágya akadályozta a vas transzlokációját a gyökerekből a hajtásba. A mangán talajtrágyaként történő használata kevésbé hatékony módszer a vastrágyázás okozta relatív Mn-hiány kiküszöbölésére, mint lombtrágyaként történő használata.

Számos növénykultúra érzékeny a mangán-hiányra: az alma (*Malus domestica*), a cseresznye (*Prunus avium L.*), a málna (*Rubus spp. L.*), a borsó (*Pisum sativum L.*), bab (*Phaseolus vulgaris L.*), a cukorrépa (*Beta vulgaris L.*), a burgonya (*Solanum tuberosum L.*), a szója (*Glycine max Merr.*), és a búza (*Triticum aestivum*) (*Humphries et al.*, 2007). Azonban a kukorica (*Zea mays L.*) és a rozs (*Secale cereale L.*) viszonylag toleráns a mangán-hiánnyal szemben (*Marschner* 1995). Mivel a mangán növényen belüli mozgása kevésbé jellemző, ezért a mangán-hiány tünetei először a fiatal leveleken jelennek meg. A mangán hiánya erősen befolyásolja a fotoszintézist, azonban látható tünetek a leveleken csak akkor válnak észrevehetővé, ha a növény növekedése már nagymértékben visszamaradt (*Hannam és Ohki* 1988). *Marschner* (1995) alapján a leveleken a következő tünetek észlelhetőek: érközi vagy foltos klorózis a levéllemezen, érközi nekrozis a fiatal levéllemezekon, mely később a levél száradásához vezet. A mangán hiánya csökkenti a lignin koncentrációját a növényben, kiváltképp a gyökérben,

emiatt a mangán-hiányban szenvedő növény fogékonyabbá válik a gombás megbetegedésekre (Rengel *et al.* 1993 in Schmidt *et al.*, 2016).

Savanyú talajokon (5,5 pH alatt) könnyen mangán-mérgezés fordulhat elő a túl sok Mn-felvétel végett, azonban ez meszezéssel, a talaj pH-jának helyreállításával kiküszöbölhető (Buzás 1983). Mangán-túlsúly esetében a növekedési erély csökkenésén túl egyéb látható jelei is vannak a túlzott mangán ellátottságnak, mint pl.: a levélközű és levélszélei klorózis, valamint nekrotikus barna pöttyök (Wissemeier és Horst 1991). A mangán-mérgezés súlyosbodik, ha további elemek, mint a Ca, Mg, K, Fe és Si csak kis mennyiségben érhetőek el a növény számára (Abou *et al.* 2002).

VAS

A mikroelemek közül a vas esszencialitását (felsőbbrendű növényekben) fedezték fel legkorábban, 1860-ban (J. Sachs). A vas ~2,1%-ban van jelen a talajban (Rose *et al.* 1979). Bodek *et al.* (1988) mérései alapján a vas mennyisége a talajokban széles skálán mozog, 0,2% és 55% között. Szántóföldi kultúrák átlagos vaskoncentrációja szárazanyagra vonatkoztatva 50 és 250 mgkg⁻¹ között alakul. 50 mgkg⁻¹ alatti koncentrációnál vashiány fellépésére kell számítani (Füleky 1999). A vas előfordulhat kétértékű (Fe²⁺) vagy háromértékű (Fe³⁺) formában, azonban a talajban többnyire csak háromértékű formában van jelen (Bodek *et al.* 1988). A vas a harmadik leggyakoribb elem a kőzetekben és az ásványokban. Leggyakrabban előforduló ásványai a hematit (Fe₂O₃), a magnetit (Fe₃O₄), a limonit (2 Fe₂O₃ · 3H₂O), goethit (FeOOH), valamint a pirit (FeS₂) (Stefanovits *et al.* 1999). A növények a vasat főként Fe²⁺ formában veszik fel (Füleky 1999). A vas nagy része a levegőzött talajban Fe(III) alakban van jelen, ami a növények számára nem felvehető, így bár a talaj összes vastartalma aránylag magas, a növények által felvehető mennyiség relatíve csekély. Az így rendelkezésre álló vas főként a talajásványokból válik szabaddá a növények számára Fe(II)-ionok formájában (Szabó *et al.* 1987).

A nehézfémek (réz, cink) kelátképzési hajlamuktól függően gátolják a vas felvételét és szállítását, mivel a vasat kiszorítják a kelátkomplexekből. A vas felvételét számos ion gátolja. A nagy foszfáttion-koncentráció kedvezőtlen hatású, mivel oldhatatlan vas-foszfátok képződhetnek a talajoldatban és a növények szállító rendszerében, és ezek a folyamatok akadályozzák a növény vastáplálását. Nagy Ca²⁺- és Mn²⁺ koncentrációk a

talajban és a növényben egyaránt kedvezőtlenül befolyásolják a vas fiziológiai aktivitását. A nitráttáplálás akadályozza, az ammóniumtáplálás pedig elősegíti a vasfelvételt. (Loch és Nosticzius 2004). A vas számos élettani folyamatban nélkülözhetetlen elem. Szerepe fontos a légzésben, az anyagcserében, a fotoszintézisben és a fehérjeképző folyamatokban is (Kalocsai et al. 2005). Közreműködik több enzimszisztéma (mint a fumársav-hidrogenáz, a kataláz, az oxidáz és a citokrómok) aktiválásában (Buzás 1983). Amennyiben nem áll elegendő Fe a növény rendelkezésére, mind a mitokondriumban (Mori et al. 1991 cit. Selby-Pham et al. 2017), mind a kloroplasztiszban (Stocking 1975 cit. Selby-Pham et al. 2017) vashiány lép fel, ami a légzés és a fotoszintézis károsult működéséhez vezet (Selby-Pham et al. 2017).

Singh et al. (2016) Indiában mungóbab növényen beállított kisparcellás kísérletükben a kén- és vas-trágyázás hatását vizsgálták a termesztett növény mennyiségi és minőségi paramétereire. Megállapításaik alapján a növény magassága, a szárazsúly, a terméshozam és a szalma tápanyag-felvétele a $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ S}$ és $5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Fe}$ esetében érte el a maximumot.

Caliskan et al. (2008) Törökországban mediterrán körülmények között vizsgálták a nitrogén- és a vas-trágyázás hatását a szója növényen. Eredményeik alapján a Fe-trágyázás pozitív hatással volt a növény növekedési paramétereire, valamint a terméshozamra. A legnagyobb terméshozamot 80 kg N ha^{-1} és $400 \text{ g Fe EDTA ha}^{-1}$ esetén kapták. Pozitív kölcsönhatást véltek felfedezni továbbá N x Fe trágyázás esetén (80 kg N ha^{-1} -ig) a szója növekedésére és termésére. Sabet és Mortazaeinezhad (2018) római kömény növényen végeztek szántóföldi kísérletet Iránban, hogy megállapítsák, a 3 vizsgált kijuttatási mód közül (kelát-Fe, nano-kelát-Fe, sziderofór-Fe) melyik a Fe-lombtrágya van legnagyobb hatással a terméseredményekre, valamint a növény Fe-felvételére, illetve milyen mennyiségben érdemes kijuttatni azt. Megállapításaik alapján a nano-kelát-Fe (1 g/l) volt a legnagyobb hatással a növény növekedésére és terméseredményére, míg a sziderofór-Fe-nek volt a legkisebb hatása a növény jellemzőire.

Vashiány főként a magas mésztartalmú, magas pH-értékű (nagyobb, mint 7) talajokon jelent problémát, ahol a vas felvehetősége alacsony (Lindsay 1995). Mészben gazdag talajon ún. „mészklorózis” lép fel, mivel a magas kalciumszint semlegesíti a vas mobilizálásához szükséges protonokat, emiatt romlik a vas felvehetősége (Mengel et al. 1984). Annak ellenére, hogy a vas a legtöbb talajban kellő mennyiségben jelen van, a

vashiány komoly problémát jelent a mezőgazdaság számára, hiszen a világ művelhető területeinek ~30%-a meszes, ebből kifolyólag lúgos. Ezeken a területen a vashiányt vastartalmú műtrágyázással nem lehet könnyen megoldani, hiszen itt a vas oldhatósága a probléma forrása, nem pedig a mennyisége (*Guerinot 2001 in Hell és Stephan 2003*). Vashiány esetében a fiatalabb leveleken sárgulás vagy klorózis tünetei lépnek fel (*Terry és Low 1982*). Vashiányos körülmények között a növények levele megsárgul, a növekedés mérséklődik, a termés csökken (*Pushnik és Miller 1989*). A levelek szélei később megbarnulnak és elhalnak, a gyökerek rövidek maradnak, erősen elágaznak és gyakran barna színűek (*Buzás 1983*).

Role of essential micronutrients in the physiological processes of plants

ENDRE ANDOR TÓTH – RENÁTÓ KALOCSAI – VIKTÓRIA DORKA-VONA -
ZSOLT GICZI

Széchenyi István Egyetem Mezőgazdasági- és Élelmiszertudományi Kar
Mosonmagyaróvár

SUMMARY

Micronutrients are essential for living organisms. However, due to the increasingly intensive plant production, the micronutrients extracted from the soil are not returned most of the times, and it is shown on the quality and the quantity of the yield. It is important to increase awareness about the importance of correct and proportional nutrient supply.

In the present article the concerning literatures and studies, and also the research results of the recent years of the most important micronutrients (Cu, Mo, B, Mn, Fe) are summarized.

Keywords: micronutrient, soil, copper, molybdenum, boron, manganese, iron

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutatást az EFOP-3.6.1-16-2016-00017 „Nemzetköziesítés, oktatói, kutatói és hallgatói utánpótlás megteremtése, a tudás és technológiai transzfer fejlesztése, mint az intelligens szakosodás eszközei a Széchenyi István Egyetemen“ projekt támogatta.

IRODALOM

Abou, M. - Symeonidis, L. - Hatzistavrou, E. - Yupsanis, T. (2002): Nucleolytic activities and appearance of a new DNase in relation to nickel and manganese accumulation in *Alyssum murale*. *J. Plant Physiol.* 159, 1087-1095.

Adriano, D.C. (2001): Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, New York, 867 p.

Alam, F. – Kim, T.Y. – Kim, S.Y. – Alam, S.S. – Pramanik, P. – Kim, P.J. – Lee, Y.B. (2015): Effect of molybdenum on nodulation, plant yield and nitrogen uptake in hairy vetch (*Vicia villosa* Roth). *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(4):664-675.

Alloway, B.J. (2008). Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production.

Arnon, D. I. (1937): Ammonium and nitrate nutrition of barley at different seasons in relation to hydrogen-ion concentration, manganese, copper, and oxygen supply. *Soil Science*, 44. 91-114.

Arnon, D. I. (1938): Microelements in culture-solution experiments with higher plants. *American Journal of Botany*, 25. 322-325.

Arnon, D.I. - Stout, P.R. (1939): The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol.* 14, 371–375.

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(5), 359-364.

Barceloux, D. G. (1999): Molybdenum. *Clinical Toxicology*, 37. 2. 231-237

Basak, A. – Mandal, L. N. – Haldar, M. (1982): Interaction of phosphorus and molybdenum in relation to uptake and utilization of molybdenum, phosphorus, zinc, copper and manganese by rice. *Plant and Soil*, 68. 261-269.

- Batukaev, A. – Magomadov, A. – Chavanov, M. – Sushkova, S. – Deryabkina, I.* (2018): Influence of manganese fertilizers on grapes efficiency on sandy soils of the South Russia. *Agrofor International Journal*, Vol. 3, Issue No. 1, 158-162.
- Bennett, W. F.* (1993): *Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants*. APS Press, St Paul, MN, USA.
- Bibak, A. – Borggard, O. K.* (1994): Molybdenum adsorption by aluminium and iron oxides and humic acid. *Soil Science*, 158. 323-328.
- Bittner, F.* (2014): Molybdenum metabolism in plants and crosstalk to iron. *Frontiers in Plant Science*, 5. 28. 1-6.
- Bodek, I. - Lyman, W.J. - Reehl, W.F. – Rosenblatt, D.H.* (1988): *Environmental Inorganic Chemistry: Properties, Processes, and Estimation Methods*. SETAC Special Publication Series, *B.T. Walton and R.A. Conway*, editors. Pergamon Press. New York.
- Bortels, H.* (1930): Molybdän als Katalysator bei der biologischen Stickstoffbindung. *Archives of Microbiology*, 1. 333-342.
- Broadley, M. – Brown, P. – Cakmak, I. – Rengel, Z. – Zhao, F.* (1995): Function of Nutrients: Micronutrients. pp. 191-248. In: *Marschner, H.:* *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second Edition. Academic Press, London. pp. 889
- Buzás I.* (1983): *A növénytáplálás zsebkönyve*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Caliskan, S. – Ozkaya, I. – Caliskan, M. E. – Arslan, M.* (2008): The effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a Mediterranean-type soil. *Field Crops Research*. Vol. 108, Issue 2, 126-132.
- Carpana-Artes, O. - Carpana-Ruiz, R. O.* (1987): Effects of Boron in tomato plant. Leaf evaluations. *Agrochimica*, 31: 391-400.
- Chatterjee, C. – Nautiyal, N. – Agarwala, S. C.* (1985): Metabolic changes in mustard plants associated with molybdenum deficiency. *New Phytologist*, 100. 511-518.
- Clarkson, D.T.* (1988): The uptake and translocation of manganese by plant roots. In: *R.D. Graham, R.J. Hannam, N.J. Uren.* (eds). *Manganese in Soil and Plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 101- 111.
- Dordas, C. - Brown, P. H.* (2000): Permeability of boric acid across lipid bilayers and factors affecting it. *J. Membr. Biol.* 175, 95–105.
- Dursun, A. - Turan, M. - Ekinçi, M. - Gunes, A. - Ataoglu, N. – Esringü, A. – Yildirim, E.* (2010): Effects of Boron Fertilizer on Tomato, Pepper, and Cucumber Yields and

Chemical Composition. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 41:13, 1576-1593.

Fageria, N.K. (2001): Nutrient management for improving upland rice productivity and sustainability. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32:2603-2629.

Flynn, A.G. – Panozzo, J.F. – Gardner, W.K. (1987): The effect of copper deficiency on the quality and dough properties of wheat flour. Journal of Cer. Science 56:4. 91-98 p

Fülek Gy. (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Ghorbanpour, M. - Asgari Lajayer, H. - Hadian, J. (2016): Influence of copper and zinc on growth, metal accumulation and chemical composition of essential oils in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Medical Plants. 15(59): 132-144.

Goldbach, H. - Wimmer, M. (2007): Boron in plants and animals: Is there a role beyond cell-wall structure?. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 170. 39 - 48.

Goldberg, S. (1993): Chemistry and mineralogy of boron in soils. In: Boron and Its Role in Crop Production. Ed.: *Gupta, U.C.* pp. 344. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Grundon, N. J. (1991): Copper deficiency of wheat: effect of soil water content and fertilizer placement on plant growth, Journal of Plant Nutrition, 14, 5 p. 499–509.

Guerinot, M.L. (2001): Improving rice yields--ironing out the details. Nat Biotechnol. 19 (5):417-8.

Gupta, U. C. (1997): Symptoms of Molybdenum Deficiency and Toxicity in Crops, pp. 160-170. In: *Gupta, U. C.* (ed.): Molybdenum in agriculture. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 276.

Gupta, U. C. – Lipsett, J. (1981): Molybdenum in soils, plants and animals. Advances in Agronomy, 34. 73-115.

Gupta, V. K. – Mehla, D. S. (1980): Influence of sulphur on the yield and concentration of copper, manganese, iron and molybdenum in berseem (*Trifolium alexandrinum*) grown on two different soils. Plant Soil, 56. 229-234.

Győri D. (1984): A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

Győri D. - Cseh E. - Keresztes I.-né, (1971): Changes in a Mn uptake of red clover (*Trifolium pratense*) as a reaction to liming. Acta Agr. Hung. 20. p. 319–327.

Hannam, R.J. - Ohki, K. (1988): Detection of manganese deficiency and toxicity in plants. In Manganese in Soils and Plants (*Graham, R.D. et al., eds*) Kluwer Academic Publishers. pp. 243–259,

- Harris, K.D. - Puvanitha, S. (2018).* Influence of Foliar Application of Boron and Copper on Growth and Yield of Tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv 'Thilina'). *AGRIEAST: Journal of Agricultural Sciences.* 11(2), pp.12–19.
- Havlin, J.L. - Beaton, J.D. - Tisdale, S.L. - Nelson, W.L. (2005):* Soil Fertility and Fertilizers. Pearson Education, Inc., Upper Sadle River, New Jersey. Chapter 9. pp. 298-361.
- Hell, R. - Stephan, U.W. (2003):* Iron uptake, trafficking and homeostasis in plants. *Planta.* Volume 216, Issue 4, pp 541–551
- Heuwinkel, H. - Kirkby, E. A. - Le Bot, J. – Marschner, H. (1992):* Phosphorus deficiency enhances molybdenum uptake by tomato plants. *Journal of Plant Nutrition,* 15. 549-568
- Hossain, M.A - Jahiruddin, M. - Khatun, F. (2011):* Effect of boron on yield and mineral nutrition of mustard (*Brassica napus*). *Bangladesh J. Agril. Res.* 36(1) : 63-73.
- Humphries, J. - Stangoulis, J. - Graham, R. (2007):* Manganese. In: *A. Barker, D. Pilbeam* (eds). *Handbook of Plant Nutrition,* Taylor and Francis, USA, pp. 351-366.
- Judel, G.K. (1962):* Einfluss von Kupfer und Stickstoffmangel auf die aktivitat der phenoloxidase und den Gehalt on Phenolen in den Blättern der Sonnenblume. *U. Pflanzernahr. Bodenkunde,* 31: 159-170.
- Kabata-Pendias, A. - Pendias, H. (1992):* Trace Elements in Soils and Plants, 3rd Edition, CRC Press, Boca Ratón, Florida, 294pp.
- Kalayci, M. - Alkan, A. - Cakmak, I. - Bayramoğlu, O. - Yilmaz, A. - Aydin, M. - Ozbek, V. - Ekiz, H. - Ozberisoy, F. (1997):* Studies on differential response of wheat cultivars to boron toxicity. In: *Wheat: Prospects for Global Improvement.* Springer. Berlin, Germany. pp. 189–195.
- Kalocsai R. – Schmidt R.- Szakál P. – Giczi Zs. (2005):* A mikroelemek hatása az őszi búza minőségére. *Agro Napló IX. évf. 2005/10.* 35-38.p
- Kalocsai R. – Schmidt R. - Szakál P. – Giczi Zs. (2006):* A talajvizsgálati eredmények értelmezése. *Agro Napló X. évf. 2006/09.* 35-38.p
- Kandil, H. - Gad, N. - Abdelhamid, M. T. (2013):* Effects of Different Rates of Phosphorus and Molybdenum Application on Two Varieties Common Bean of (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agriculture and Food Technology,* 3. 3. 8-16
- Kádár I. (1997):* Talajaink tápelemgazdálkodása az ezredfordulón. *Növénytermelés* 46. 73-84. p.

- Kádár I.* (2008): A mikroelemkutatások eredményeiről, különös tekintettel a Cu és Zn elemekre. *Acta Agronomica Óvariensis*. 50, (1) 9–12
- Kádár I. - Shalaby, M. H.* (1984b): A nitrogén és a réztrágyázás közötti kölcsönhatások vizsgálata meszes homoktalajon. *Agrokémia és talajtan* 33, 68– 74.
- Kevresan, S. – Petrovic, N. – Popovic, M. – Kandrak, J.* (2001): Nitrogen and protein metabolism in young pea plants as affected by different concentrations of nickel, cadmium, lead, and molybdenum. *Journal of Plant Nutrition*, 24. 1633-1644.
- Konuskan, O. – Konuskan, D.B. – Levai, C.M.* (2017): Effect of foliar boron fertilization on chemical properties and fatty acid compositions of corn (*Zea mays* L.). *Rev. Chim.*, 68: 2073–2075
- Leece, D. R.* (1978): Effects of Boron on the psychological activity of zinc in maize. *Aust. J. Agric. Res.*, 29: 739-749.
- Liew, Y. A. - Omar, S. R. - Husni, M. H. A. - Zainal, A. M. A. - Ashikin, N. P. A.* (2012): Effects of foliar applied copper and boron on fungal diseases and rice yield. *Pertanika Journal of Tropical Agriculture. Science*, v. 35, p .339-349, 2012.
- Lindsay, W. L.* (1972): Inorganic phase equilibria of micronutrients in soil. pp. 41- 57. In: *Mortvedt, J. J. – Giordano, P. M. – Lindsay, W. L.* (eds.): *Micronutrients in Agriculture*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Lindsay, W. L.* (1995): Chemical reactions in soils that affect iron availability to plants: a quantitative approach. In: *Abadía J*, editor. *Iron Nutrition in Soils and Plants*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. pp. 7–14.
- Liu, H. – Hu, C. – Hu, X. – Nie, Z. – Sun, X. – Tan, Q. – Hu, H.* (2010): Interaction of molybdenum and phosphorus supply on uptake and translocation of phosphorus and molybdenum by Brassica napus, *Journal of Plant Nutrition*, 33. 12. 1751- 1760.
- Loch J. – Nosticzius Á.* (1992): *Agrokémia és növényvédelmi kémia*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Loch J. – Nosticzius Á.* (2004): *Agrokémia és növényvédelmi kémia*. Mezőgazda Kiadó.
- Lovatt, C. J. – Bates, L. M.* (1984): Early effects of excess boron on photosynthesis and growth of *Cucurbita pepo*. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 35, Issue 3, pp. 297–305.
- Ma, L. Q. – Lombi, E. – Oliver, I. W. – Nolan, A. L. – McLaughlin, M. J.* (2006): Long-term aging of copper added to soils. *Environ. Sci. Technol.* 40, 6310–6317

- Marschner, H.* (1995): Mineral nutrition of higher plants, 2nd edn. London, UK: Academic Press.
- Martin, S. - Saco, D. - Alvarez, M.* (1995) Nitrogen metabolism in *Nicotiana rustica* L. grown with molybdenum: 11. Flowering stage. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.* 26, 1733—1747.
- McHargue, J. S.* (1922): The role of Manganese in plants. *J. Am. Chem. Soc.* 44 (7), pp. 1592-1598
- Mehrotra, R.S., Aggarwal, R.S.* (2003): Plant Pathology. Tata McGraw Hill Publishing Company Limited. New Delhi, 846 pp.
- Mendel, R. R. – Hänsch, R.* (2002): Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. *Journal of Experimental Botany*, 53. 1689-1698
- Mengel, K. - Breiniger, M. T. - Bübl, W.* (1984): Bicarbonate, the most important factor inducing iron chlorosis in vine grapes on calcareous soil. *Plant Soil*, 81: 333–344.
- Mengel, K. – Kirkby, E. A.* (1987): Principles of Plant Nutrition. 4th ed. International Potash Institute, Bern, Switzerland, pp. 685.
- Mengel, K. - Kirkby, E. A.* (2001): "Molybdenum". Principles of plant nutrition (5th ed.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. pp. 613–619.
- Miwa, K. - Takano, J. - Omori, H. - Seki, M. - Shinozaki, K. - Fujiwara, T.* (2007): Plants Tolerant of High Boron Levels. *Science* (New York, N.Y.). 318. 1417.
- Moosavi A. A. – Ronaghi, A.* (2011): Influence of foliar and soil applications of iron and manganese on soybean dry matter yield and iron-manganese relationship in a calcareous soil. *Aust. J. Crop Sci.* 5(12): 1550-1556.
- Mori, S. – Nishizawa, N. – Hayashi, H. – Chino, M. – Yoshimura, E. – Ishihara, J.* (1991): Why are young rice plants highly susceptible to iron deficiency? *Plant Soil* 130(1):143–56
- Nable, R. O.* (1988): Resistance to boron toxicity amongst several barley and wheat cultivars: a preliminary examination of the resistance mechanism. *Plant and Soil* 112, 45–57.
- Nadim, M.A. - Awan, I.U. - Baloch, M.S. - Khan, E.A. - Naveed, K. - Khan, M.A. - Zubair, M. - Hussain, N.* (2011): Effect of micronutrients on growth and yield of wheat. *Pakistan Journal of Agricultural Science* 48(3): 191–196.
- Oertli, J.J. – Roth, J.A.* (1969): Boron nutrition of Sugar Beet, Cotton, and Soybean. *Agronomy Journal*. Vol. 61 No. 2, p. 191-195.

- Ozbahce, A. – Zengin, M. (2014):* Effects of foliar and soil applications on different manganese fertilizers on yield and net return of bean. *Journal of Plant Nutrition*, 37:2, 161-171.
- Pais, I. (1980):* A mikrotápanyag szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Patra, A. – Singh, V. (2017):* Effect of FYM and manganese on yield and uptake of nutrients in wheat (*Triticum aestivum*). *Annals of Plant and Soil Research*. 19(4): 381-384.
- Phipps, D.A. (1981):* Chemistry and biochemistry of trace metals in biological systems. In:
N.W. Lepp (Ed.), Effect of heavy metal pollution on plants: effects of trace metals on plant function, vol. I, Applied Sci Publ, London and New Jersey , pp. 1-54.
- Puchnik, J. C. - Miller, G. W. (1989):* Iron regulation of chloroplast photosynthetic function: mediation of PS I development. *J. Plant Nutr.* 12: 407–421.
- Rahimi, A. (1971)* Kupfermangelsymptome und ihre Entwicklung bei höheren Pflanzen. Diss. Tech.n. Univ., Berlin, 14. 18 p.
- Rengel, Z. (2000):* Uptake and transport of manganese in plants. In: *A. Sigel, H. Sigel (eds.).* Metal Ions in Biological Systems. New York, Marcel Dekker, pp. 57-87
- Rengel, Z. – Graham, R.D. – Pedler, J.F. (1993)* Manganese nutrition and accumulation of phenolics and lignin as related to differential resistance of wheat genotypes to the take-all fungus. *Plant Soil* 151, 255–263
- Rose, A.W. - Hawkens, H.E. – Webb, J.S. (1979):* Geochemistry in Mineral Exploration (2nd edition). Academic Press, London.
- Ross, O. N. – Gary, S. B. – Jeffrey, G. P. (1997):* Boron Toxicity. *Plant and Soil*. Vol. 193, Issue 1-2, pp. 181-198.
- Sabet, H. – Mortazaiezhad, F. (2018):* Yield, growth and Fe uptake of cumin (*Cuminum cyminum* L.) affected by Fenano, Fe-chelated and Fe-siderophore fertilization in the calcareous soils. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, 50. (2018), pp. 154-160.
- Sanders, J. R. (1983):* The effect of pH on the total and free ionic concentrations of manganese, zinc and cobalt in soil solutions. *J. Soil Sci.*, 34, pp. 315-323.
- Sarkar, B. (2002):* Heavy Metals in the Environment. Marcel Dekker Inc., New York, Basel, pp. 712

- Schmidt R. – Szakál P. – Bede D. – Barkóczi M. – Matus L. (2008): A Zn-komplex vegyület jelentősége a burgonyatermesztésben. *Acta Agronomica Óváriensis*. 50. (1.) pp. 43-48.
- Schmidt, S. - Jensen, P. - Husted, S.. (2016). Manganese Deficiency in Plants: The Impact on Photosystem II. *Trends in Plant Science*. Vol. 21, Issue: 7, pp. 622-632.
- Selby-Pham, J. - Lutz, A. - Moreno-Moyano, L.T. - Boughton, B. - Roessner, U. - Johnson, A. (2017): Diurnal Changes in Transcript and Metabolite Levels during the Iron Deficiency Response of Rice. *Rice*. **10**:14
- Shams, M. - Haghghi, B. - Yildirim, E. - Rabiei, V. - Ercisli, S. - Masiha, S. - Golchin, A. (2017). The effect of simultaneous application of nitrogen and copper on yield and steroidal saponin production in *Trigonella foenum graecum* L.. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 16(3) 2017, 3–11.
- Shkolnyik, N.Y.A. (1984): Trace elements in plants. Elsevier, Amsterdam 33. 288-301. p.
- Silva, E. B. – Santos, S. R. – Fonseca, F. G. – Tanure, L. P. P. – Freitas, J. P. X. (2012): Foliar application of molybdenum in irrigated common bean cultivated in the Northern Minas Gerais, Brazil. *Bioscience Journal*, 28. 64-71.
- Singh, J.P. - Dahiya, D.J. – Narwal, R.P. (1990): Boron uptake and toxicity in wheat in relation to zinc supply. *Fert. Res.*, 24: 105-110.
- Singh, O. – Kumar, S. – Shahi, U. P. – Kumar, A. – Dwivedi, A. – Kumar, V. (2016): Growth, Nodulation, Yield and Nutrient Uptake of Urdbean (*Vigna mungo* L. Hepper) as Influenced by Sulphur and Iron Fertilization in Light Textured Soil, *International Journal of Bio-resource and Stress Management* 2016, 7(4) Special:693-698.
- Skarpa, P. (2013): Effect of boron foliar application at critical growth stages on sunflower (*Helianthus annuus* L.) yield and quality. *J. Elementol.* 18, 449–459.
- Skarpa, P. - Kunzova, E. - Zikalova, H. (2013): Foliar fertilization with molybdenum in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant Soil Environ.* 59, 156–161
- Smith, K. A. – Peterson, A.R. (1995): Manganese and Cobalt. In: *Alloway, B.J.* (ed.): Heavy metals in soils. Blackie Academic and Prof., London, 368. pp
- Sparks, D. (1995): *Environmental Soil Chemistry*. San Diego, Academic Press, 352 p.
- Stefanovits P. (1975): Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Stefanovits P. - Filep Gy. - Füleky Gy. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó

- Steinberg, R. A.* (1936): Relation of accessory growth substances to heavy metals, including molybdenum, in the nutrition of *Aspergillus niger*. *Journal of Agricultural Research*, 52. 439-448.
- Steiner, F. - Zoz, T.* (2015): Foliar application of molybdenum improves nitrogen uptake and yield of sunflower. *Afr. J. Agr. Res.* 2015, 10, 1923–1928.
- Stocking, C.R.* (1975): Iron deficiency and the structure and physiology of maize chloroplasts. *Plant Physiol* 55(4):626–31
- Szabó S. A. - Regiusné M. Á. - Győri D. - Szentmihályi S.* (1987): Mikroelemek a mezőgazdaságban I. Esszenciális mikroelemek. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest
- Szakál P. – Barkóczi M.* (1989): Réztartalmú hulladékból előállított réz-komplex hatása az őszi búza beltartalmára. *Agrokémia és Talajtan*, 38. 330-334 p.
- Szentszéki ZS. - Jolánkai M. - Kleinheincs CS. - Szöllősi G.* (2005): Effect of Nitrogen Topdressing on Winter Wheat. *Cereal Research Communication*. 33. 2-3. 619-727.
- Tahir, M. – Sher, A. – Majeed, A.* (2014): Effect of Molybdenum on Yield and Quality of Black Gram (*Vigna mungo* L.). *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*. 12(2):101-105.
- Tanaka, M. – Fujiwara, T.* (2008): Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. *Pflugers Archiv – European Journal of Physiology*. 456. 671-677.
- Terry, N. – Low, G.* (1982): Leaf chlorophyll content and its relation to the intracellular localization of iron. *J. Plant Nutr.* 5(4–7):301–10
- Tisdale, S. L. - Nelson, W.L. – Beaton, J.D.* (1985): *Soil Fertility and Fertilizers*. The Macmillian Company. New York.
- Togay, N. – Togay, Y. – Erman, M. - Cig, F.* (2015): Effect of Fe (iron) and Mo (molybdenum) application on the yield and yield parameters of lentil (*Lens culinaris* Medic.). *Legume Res.*, 38(3): 358-362.
- Tölgyessy Gy.* (1978): Magyarország mikrotápelem mérlege. MÉM NAK, Budapest.
- Turan, M.A. – Taban, S. – Kayin, G.B. – Taban, N.* (2018): Effect of boron application on calcium and boron concentrations in cell wall of durum (*Triticum durum*) and bread (*Triticum aestivum*) wheat. *Journal of Plant Nutrition*. Volume 41, Issue 11; Pages 1351-1357.
- Warrington, K.* (1923): The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. *Ann. Bot.* 37, 629-672.

Whitcomb, S.J. – Heyneke, E. – Aarabi, F. – Watanabe, M. – Hoefgen, R. (2014): Mineral Nutrient Depletion Affects Plant Development and Crop Yield. In: Hawkesford, M. – Kopriva, S. - De Kok, L. (eds): Nutrient Use Efficiency in Plants. Plant Ecophysiology, vol 10. Springer

Wissemeier, A. - Horst, W. (1992): Effect of light intensity on manganese toxicity symptoms and callose formation in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Plant Sci. 143, 299-309.

Yaneva, I. – Mack, G. - Vunkova Radeva, R. – Tischner, R. (1996): Changes in nitrate reductase activity and the protective effect of molybdenum during cold stress in winter wheat grown on acid soil. Journal of Plant Physiology, 149. 211-216.

A szerzők levélcíme – Address of the authors:

TÓTH ENDRE ANDOR – KALOCSAI RENÁTÓ – DORKA-VONA VIKTÓRIA –
GICZI ZSOLT

Széchenyi István Egyetem

Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar

Víz- és Környezettudományi Tanszék.

9200 Mosonmagyaróvár Lucsony u. 15-17.