

## Tartamkísérletben alkalmazott molibdén-kezelés hatása a növényi elemfelvételre

Puskás-Preszner Anita – Kovács Béla – András Dávid – Burján Zita Kata

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma,  
Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézet, Debrecen,  
presznera@agr.unideb.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A molibdén számos enzim alkotóelemként létfontosságú az élő szervezet számára. Minden élelmiszerben megtalálható: természetes körülmények között kis mennyiségben, csak külső hatásra (pl. természetes vagy antropogén szennyezés) nő meg a koncentrációja.

Kutatómunkánk alapját a nagyhorcsői terheléses tartamkísérlet jelenti, ahol különböző mértékű talajszennyezettségi viszonyokat modelleznek. A vizsgált növényminták a kísérleti telepről származnak, és lehetőséget biztosítanak az elemek viselkedésének vizsgálatára: növényi felvétel, növényen belüli transzport, az egyes szervekben történő felhalmozódás, fitotoxicitás és a termés minőségére, ill. mennyiségére gyakorolt hatás.

Jelen dolgozatban a tartamkísérletben alkalmazott molibdén-kezelés egyéb elemek felvételére gyakorolt hatását mutatjuk be. A molibdén bizonyítottan antagonistá kölcsönhatásban van a rézzel és a kénnel, a molibdén-foszfor kapcsolat pedig szinergista jellegű.

Az általunk vizsgált növényminták legtöbbször azonban meglepő módon a növekvő molibdén-terhelés a kadmium-felvételt fokozta. A legjelentősebb kadmium-akkumulációt a borsó, a spenót illetve a cékla mutatta.

**Kulcsszavak:** tartamkísérlet, növény, molibdén, kadmium

### SUMMARY

Molybdenum as a constituent of several important enzymes is an essential microelement. It can be found in all kind of food naturally at low level, however, environmental pollution, from natural or anthropogenic sources, can lead to high level of the metal in plants.

Our study is based on the long-term field experiments of Nagyhorcsók, where different levels of soil contamination conditions are simulated. Plant samples were collected from the experiment station to study the behaviour of elements: uptake by and transport within the plants, accumulation in different organs, phytotoxicity and effects on the quantity and quality of the crop.

In this work we present the effect of molybdenum treatment on the uptake of other elements. Molybdenum is proved to be in an antagonist relationship with copper and sulphur, while molybdenum-phosphorus is a synergist interaction.

However, in most of the plants we studied increasing molybdenum-treatment enhanced cadmium-uptake. We have found the most significant cadmium-accumulation in the case of pea, spinach and red beet.

**Keywords:** long-term field experiment, plant, molybdenum, cadmium

### BEVEZETÉS, IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A molibdén a növények, állatok és az ember számára egyaránt létfontosságú elem. Számos enzim illetve enzimrendszer fontos alkotója, ezáltal hozzájárul a megfelelő sejtműködéshez, fejlődéshez, növekedéshez (Berman, 1980; Reilly, 1991; Pyrzynska, 2007). A legfontosabb működésükhöz molibdént igénylő enzimek: nitrogénáz, nitrát-reduktáz, szulfít-oxidáz, xantin-oxidáz, xantin-dehidrogenáz, aldehid-oxidáz.

Ezek működése a Mo(V)-Mo(VI) vegyértékváltásán alapul (Kalocsai és Pogány, 2007). Szabó et al. (1987) szerint a növények molibdén igénye más mikroelemekhez mérten kicsi. A növények szövetekben a molibdén átlagos koncentrációja szárazanyagra számítva 0,3–3,0 mg/kg, de ennél lényegesen magasabb érték sem okoz általában toxikus tüneteket (Pais, 1984).

Kísérletek támasztják alá, hogy bizonyos elemek szinergista hatással vannak a molibdénre, vagyis felvételét elősegítik, míg egyes elemek antagonistá, vagyis ellenirányú, gátló hatást eredményeznek. A felvétel során a molibdén és a réz között antagonizmus áll fenn, az átlagosnál nagyobb molibdén-felvétel rézhiányt idéz elő. Ezt támasztja alá az a megfigyelés, hogy azoknak az állatoknak a szervezetében, amelyek molibdéntoxikózisban szenvedtek, a rézkoncentráció jóval alacsonyabb volt, mint egy egészséges állat szervezetében. A molibdéntoxikózis betegség viszont rézadagolással gyógyítható volt (Pais, 1980). Ehhez hasonlóan Suttle (1983) tanulmánya is a molibdén réz kölcsönhatást tárgyalja és megállapítja, hogy a takarmány szárazanyagában már 4–6 mg/kg molibdén-koncentráció gátolja a réz felvételét.

Kérődző állatok esetében a molibdén és a szulfát között figyelhető meg antagonizmus. Szinergizmus jön létre a molibdén és a foszfor között. A foszfát-ionok, feltehetően foszfo-molibdenát képződése eredményeként, elősegítik a növények molibdén-felvételét (Pais, 1984).

### ANYAG ÉS MÓDSZER

#### A termőhely és a szabadföldi kísérlet ismertetése

Vizsgálataink alapjául a nagyhorcsői terheléses kísérlet mintaanyaga szolgált.

A termőhely löszön képződött mészlepedékes csernozjom talaja a szántott rétegben átlagosan 5% CaCO<sub>3</sub>-ot és 3% humuszt tartalmaz. Fizikai féleségét tekintve vályog, 20% agyag, ill. 40% leiszapolható rész frakcióval. Agyagásványainak közel felét illit, 1/3-át klorit, kisebb részét szmektit alkotja. Szántott rétegében a

pH(KCl)=7,3, AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=80–100, AL-K<sub>2</sub>O=140–160, KCl-Mg=150–180, a KCl+EDTA-oldható Mn=80–150, Cu=2–3, Zn-tartalom 1–2 mg/kg értéket mutat. A MÉM NAK (1979) által bevezetett módszerek és határértékek alapján ezek az adatok a talaj igen jó Mn-, kielégítő Mg- és Cu-, közepes N- és K-, valamint gyenge P- és Zn-ellátottságáról tanúskodnak.

A kísérlet 21 m<sup>2</sup> területű parcellákkal lett beállítva, split-plot elrendezésben. Az osztott parcellás elrendezésben a 13 vizsgált mikroelem-terhelés (Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) jelenti a főparcellákat, a 4 terhelési szint az alparcellákat. Az ismétlések száma 2. A kísérleti kezeléseket az 1. táblázat ismerteti.

Az alaptrágyázás évente: N=100, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=100, K<sub>2</sub>O=100 kg ha<sup>-1</sup> ammónium-nitrát, szuperfoszfát és 60%-os kálisó formájában.

1. táblázat

A kísérletben alkalmazott egyszeri terhelési kezelések 1991-ben

Elem (1)	Adagolás (1991 tavasz) (kg ha)(2)				Alkalmazott sók formája(3)
	1	2	3	4	
Al	-	90	270	810	AlCl <sub>3</sub>
As	30	90	270	810	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /NaAsO <sub>2</sub>
Ba	-	90	270	810	BaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O
Cd	30	90	270	810	CdSO <sub>4</sub> ·8/3H <sub>2</sub> O
Cr	-	90	270	810	K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>
Cu	-	90	270	810	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O
Hg	30	90	270	810	HgCl <sub>2</sub>
Mo	-	90	270	810	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4H <sub>2</sub> O
Ni	-	90	270	810	NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O
Pb	-	90	270	810	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Se	30	90	270	810	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>
Sr	-	90	270	810	SrSO <sub>4</sub>
Zn	-	90	270	810	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O

Forrás: Kádár I. (1995)

Table 1: Elements and doses applied in 1991 (calcareous loamy chernozem, Nagyhörcsök) Elements(1), Dose in spring of 1991, kg ha<sup>-1</sup>(2), Chemicals applied(3), Source: Kádár I. (1995)

### Minta-előkészítés, elemzés

Növényminták begyűjtésekor parcellánként 20–40 növényből álló átlagmintát képeztek, külön gyűjtve a gyökeret, hajtást, levelet, az aratáskori szemtermést. Munkánk során a telepről származó kukorica (1991), sárgarépa (1992), burgonya (1993), borsó (1994), cékla (1995), spenót (1996), napraforgó (1998), sóska (1999) és mák (2000) mintákat dolgoztuk fel.

Szárítószekrényben történő szárítás és homogenizálást követően a növényminták esetében is a Kovács et al. (1996) által közölt salétromsavas-hidrogén-peroxidos roncsolási technikát alkalmaztuk. A megfelelően előkészített (szárított, darált) minta bemért tömege 1 g (±0,01 g) volt. Az előroncsolás során 10 cm<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub>-at alkalmaztunk 60 °C hőmérsékleten 30 perc időtartamig. A főroncsolás előtt 3 cm<sup>3</sup> 30%-os H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-ot adagoltunk hozzá, majd 90 percig 120 °C-on tartottuk a roncsolmányt. A roncsolmányokat lehűlés után 50 cm<sup>3</sup>-re feltöltöttük ioncserélt vízzel, FILTRAK 389 szűrőpapírral szűrtük. Az elemtartalmi méréseket ICP-OES (Perkin Elmer OPTIMA 3300 DV) ill. ICP-MS (Thermo Elemental X7) műszerekkel végeztük, melynek során meghatároztuk a növénymintákban lévő Mo, Al, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, P, Pb, S, Sr és Zn mennyiségét. Ezt követően egytényezős varianciaanalízissel vizsgáltuk a molibdén-trágyázás elemfelvételre gyakorolt hatását. Az eredmények statisztikai kiértékelésekor SPSS 14.0 statisztikai programcsomagot használtunk.

### EREDMÉNYEK

A növekvő mértékű molibdén-trágyázásnak a növények molibdén-tartalmára gyakorolt hatása egyértelmű, szoros korrelációt mutat (r<sup>2</sup>>0,970). Az erre vonatkozó eredmények további tárgyalása nem képezi a dolgozat tárgyát.

Jelen kutatások célja az volt, hogy felmérjük, milyen hatással volt a molibdén-kezelés az egyéb elemek felvételére. Az ennek felderítésére végzett statisztikai elemzés eredményét a 2. táblázat foglalja össze. A

táblázatban növényi részenként soroltuk fel, hogy melyik elem felvételében következett be szignifikáns pozitív (+) vagy negatív (-) irányú változás a kontroll mintához képest.

2. táblázat

**A molibdén-kezelés hatása a vizsgált növényi részek elemtartalmára**

Növényi rész(1)	Kontrolltól szignifikánsan különböző elem(2)
Kukoricaszem(3)	(+)Cd*** (+)Ca
Kukoricalevél(4)	(+)Cd**
Sárgarépa(5)	(+)Cd* (-)Cr***
Burgonya(6)	(+)B*
Borsószem(7)	(+)Cd** (+)Co***
Borsószár(8)	(+)Cd***
Cékla(9)	(+)Cd*
Spenót(10)	(+)Cd* (-)B* (+)Pb*
Napraforgó(11)	(-)Sr* (-)Cr *
Sóska(12)	(+)Cd* (+)Mn**
Máktok(13)	(-)Al* (-)Co* (-)Fe* (-)Mn**
Mákmag(14)	(-)Co* (+)S*

Megjegyzés: \* p < 0,05 \*\* p < 0,01 \*\*\* p < 0,001

Table 2: Effect of molybdenum treatment on the element-content of studied plant parts

Plant part(1), Element significantly differing from control(2), Maize grain(3), Maize leaf(4), Carrot(5), Potato(6), Pea seed(7), Pea straw(8), Red beet(9), Spinach(10), Sunflower(11), Garden sorrel(12), Poppy-head(13), Poppy-seed(14), Note: \* p < 0.05 \*\* p < 0.01 \*\*\* p < 0.001

(Annak ellenére, hogy az 1. terhelési szinten 0 kg/ha molibdént alkalmaztak, szükségesnek tartottuk, hogy külön kontrollmintát használjunk vizsgálataink során. Az előzetes talajvizsgálatok eredményei alapján ugyanis úgy tapasztaltuk, hogy előfordulhatott kisebb-nagyobb mértékű talajáthordás a szomszédos parcellák között, így az 1-es kezelés talaja is szennyeződhetett molibdénnel.)

Az eredmények közül kiemelnénk, hogy a vizsgált 12 növény illetve növényi rész közül a kadmium (Cd) 8 esetében is a kontrolltól szignifikánsan megnövekedett értékeket mutatott, ezért a továbbiakban ennek bemutatására fókuszálunk. Az alábbiakban bemutatjuk néhány növény kadmium-felvételében bekövetkezett változást.

A molibdén-terhelés a kukorica esetében, a többi növényhez hasonlóan, fokozott kadmium-felvételt indukált (3. táblázat). Ennek mértéke azonban jelentős különbségeket mutat a szem és a levél között, hiszen a levélben egy nagyságrenddel magasabb kadmium-koncentrációt tapasztaltunk.

3. táblázat

**Kukoricalevél és -szem kadmium-tartalmának (mg/kg) változása a molibdén-kezelés hatására**

Mo kezelés (kg/ha)(1)	Kukoricalevél(2)	Kukoricaszem(3)
Kontroll(5)	0,017 ± 0,004	0,003 ± 0,001
0	0,090 ± 0,092	< KH(4) ± -
90	0,587 ± 0,000	0,014 ± 0,002
270	0,996 ± 0,097	0,027 ± 0,001
810	1,435 ± 0,216	0,054 ± 0,009

Megjegyzés: < KH – kimutatási határ alatt

Table 3: Effect of molybdenum treatment on cadmium content of maize leaf and grain

Treatment(1), Maize leaf(2), Maize grain(3), LD - limit of detection(4), Control(5), < LD – lower than limit of detection

A borsó kadmium-tartalmának vizsgálatakor hasonló összefüggést figyeltünk meg, legalábbis ami a szem:szár arányt illeti, azaz nagyságrendi különbség adódott a borsószem és a borsószár által akkumulált kadmium mennyisége között is (4. táblázat).

A két növény vegetatív és generatív szerveit páronként összevetve ugyancsak egy nagyságrendnyi különbséget fedezhetünk fel.

A magok illetve szemek alacsonyabb kadmium-tartalma azzal magyarázható, hogy a növények generatív szervei genetikailag védettek az esetleges károsító hatásokkal (pl. toxikus elem-felhalmozódással) szemben, és általában alacsonyabb elemkoncentrációkkal jellemezhetők. A kukorica és a borsó közötti különbség mögött pedig rendszertani, élettani okok rejtőznek. Az egyszikű és kétszikű növények elemfelvétele ugyanis eltérő mechanizmus szerint történik, és a környezeti tényezők (pl. talaj pH-ja) is másképp hatnak rá.

A többi vizsgált növény a kadmiumot nagyságrendileg azonos mennyiségben (0,1–1 mg/kg) akkumulálta, de kiemelkedik közülük a cékla illetve a spenót (1–2. ábra)

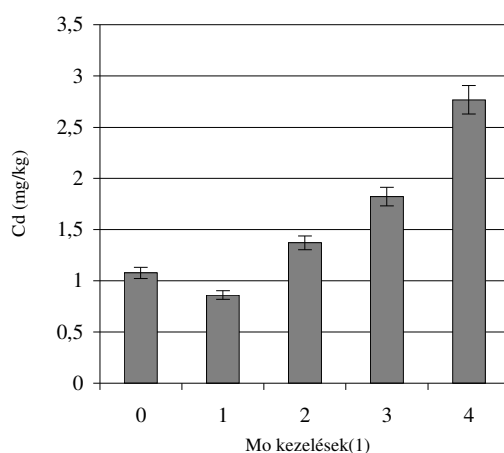
4. táblázat

**Borsószár és -szem kadmium-tartalmának (mg/kg) változása a molibdén-kezelés hatására**

Mo kezelés (kg/ha)(1)	Borsószár(2)	Borsószem(3)
Kontroll(4)	0,078 ± 0,028	0,089 ± 0,020
0	1,899 ± 0,962	0,295 ± 0,074
90	3,434 ± 0,584	0,320 ± 0,005
270	6,397 ± 0,055	0,404 ± 0,051
810	7,115 ± 1,093	0,427 ± 0,083

Table 4: Effect of molybdenum treatment on cadmium content of pea straw and seed  
Mo treatment(1), Pea straw(2), Pea seed(3), Control(4)

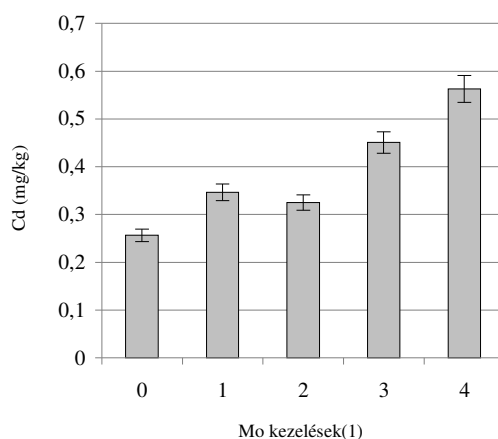
1. ábra: **Cékla kadmium-tartalma a molibdén-kezelés függvényében**



Megjegyzés: 0 – kontroll, 1 – 0 kg/ha, 2 – 90 kg/ha, 3 – 270 kg/ha, 4 – 810 kg/ha

Figure 1: Cadmium content of red beet depending on molybdenum treatment  
Mo treatment(1), Note: 0 – Cotrol, 1 – 0 kg ha<sup>-1</sup>, 2 – 90 kg ha<sup>-1</sup>, 3 – 270 kg ha<sup>-1</sup>, 4 – 810 kg ha<sup>-1</sup>

2. ábra: **Spenót kadmium-tartalma a molibdén-kezelés függvényében**



Megjegyzés: 0 – kontroll, 1 – 0 kg/ha, 2 – 90 kg/ha, 3 – 270 kg/ha, 4 – 810 kg/ha

Figure 2: Cadmium content of spinach depending on molybdenum treatment  
Mo treatment(1), Mo treatment(1), Note: 0 – Cotrol, 1 – 0 kg ha<sup>-1</sup>, 2 – 90 kg ha<sup>-1</sup>, 3 – 270 kg ha<sup>-1</sup>, 4 – 810 kg ha<sup>-1</sup>

A cékla és a spenót nagyobb mértékű kadmium-felvételéről már beszámoltak mások is (Kádár et al. 2001a,b), e tekintetben nem okozott meglepetést az eredmény. (Az általunk vizsgált spenót és sóska mellett egyébként a többi leveles zöldség is hajlamos a kadmium-akkumulációra). Az viszont elgondolkodtató, hogy eredményeink szerint a nagyobb molibdénigényű növények (pillangósvirágúak, leveles zöldségek) vették fel a kadmiumot nagyobb mennyiségben.

### **KÖVETKEZTETÉSEK**

A molibdénrel kezelt parcellákon termesztett növények fokozott kadmium-felvételének megfejtése mindenképpen további kutatásokat igényel, de néhány lehetséges magyarázat így is felvetődik.

Az első logikusan adódó gondolat, hogy a molibdén-kezelés és a kadmium-kezelés parcellái szomszédosak, és a molibdén parcellák az áthordás révén kadmiummal szennyeződtek. Ezt a felvetést biztonsággal kizárhatjuk, mert az I-es ismétlésben a molibdén- és a kadmium-kezelés között hat egyéb kezelés található, a II-es ismétlésben pedig három.

Egy jelentős kadmiumforrás lehet a műtrágyák, közülük is elsősorban a foszfortartalmú műtrágyák kadmium-tartalma, amelyeket minden parcellára évente azonos mennyiségben juttatnak ki. Az azonos mennyiség miatt nem valószínű, hogy ez az oka a tapasztalt kadmium-felhalmozásnak, hiszen az kezelésként eltérő mértékű (növekvő).

Nem kizárt, hogy a  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  formájában kijuttatott molibdén pH-változást idézett elő a talajban, ami a kadmium-felvételre pozitív irányban hatott, viszont ebben az esetben a molibdén-felvételnek kellett volna mérséklődnie, hiszen a kadmium és a molibdén azonos pH-n ellentétesen viselkedik. Bár meglehet, hogy az esetleges pH-csökkenéssel bekövetkező molibdén-felvétel mérséklődését az egyre nagyobb molibdén dózisok ellensúlyozták. Mindenesetre a pH szerepét nem hagyhatjuk figyelmen kívül, de ahhoz, hogy befolyásoló hatását pontosan leírjuk, további kutatásokra van szükség.

Felvetődött egy a műszeres elemzéssel összefüggő lehetséges magyarázat is, miszerint az induktív csatolású plazmában a molibdén izotópjaiból  $^{94}\text{Mo}^{16}\text{O}^+$  vagy  $^{95}\text{Mo}^{16}\text{O}^+$  összetételű dimerek képződhetnek, amelyek tömegszáma megegyezik a  $^{110}\text{Cd}$ -mal és a  $^{111}\text{Cd}$ -mal, így a tömegspektrométer detektorában azonos m/z jelet adnak. A CCT (collision cell technology) módszer alkalmazásával viszont ez elkerülhető (Széles et al., 2005), így ezt az eshetőséget kizárhatjuk.

Végül felmerül a molibdén és a kadmium közötti közvetlen vagy közvetett interakció lehetősége, de mivel erre vonatkozó szakirodalmi utalásokat egyelőre nem találtunk, nem szeretnénk messzemenő következtetéseket levonni egyetlen kísérlet eredményei alapján. Az általunk tapasztalt okainak felderítéséhez mindenképpen további vizsgálatok elvégzése szükségeltetik.

### **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Megköszönjük a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatását, továbbá köszönettel tartozunk dr. Kádár Imrének (Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete), aki a növény-és talajmintákat rendelkezésünkre bocsátotta.

### **IRODALOM**

- Berman, E. (1980): Toxic metals and their analysis. Heyden & Son Ltd. 161–166.
- Kalocsai R.–Pogány É. (2007): A molibdén jelentősége, előfordulása a talajban, felvétele. *MezőHír*. 11: 62.
- Kádár I. (1995): A talaj-növény-állat tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- Kádár I.–Koncz J.–Radics L. (2001a): Mikroelem-terhelés hatása céklára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és talajtan*. 50. 3–4: 315–334.
- Kádár I.–Hussein, D.–Radics L. (2001b): Mikroelem-terhelés hatása spenótra karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és talajtan*. 50. 3–4: 334–352.
- Kovács, B.–Győri, Z.–Prokisch, J.–Loch, J.–Dániel, P. (1996): A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry parameters. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 27. 5–8: 1177–1198.
- Pais I. (1980): A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. *Mezőgazda Kiadó*. Budapest. 70–71.
- Pais I. (1984): A mikroelemek jelentősége a mezőgazdasági termelésben, kutatásuk helyzete a világban. *Kertészeti Egyetem Kiadványa*. 45.
- Pyrzynska, K. (2007): Determination of molybdenum in environmental samples. *Analytica Chimica Acta*. 590: 40–48.
- Reilly, C. (1991): Metal contamination of food. Elsevier Science Publisher Ltd. 225–229.
- Suttle, N. F. (1983): *J. Agric. Sci. Camb.* 100: 651–656.
- Szabó S. A.–Régiusné M. Á.–Győri D.–Szentmihályi S. (1987): Mikroelemek a mezőgazdaságban I. (Esszenciális mikroelemek). *Mezőgazdasági Kiadó*. Budapest. 133–137., 153.
- Széles É.–Kovács B.–Prokisch J.–Győri Z. (2005): Ütközési cella (CCT) alkalmazása az ICP-MS technikában. *Agrártudományi Közlemények*. 16: 120–125.