

## Molibdén-kezelés hatása szabadföldi kísérletben a növényi felvételre és a talaj molibdén frakcióira

Puskás-Preszner Anita – Kovács Béla

Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma,  
Mezőgazdaságtudományi Kar, Élelmiszertudományi,  
Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézet Debrecen  
ppanital6@gmail.com

### ÖSSZEFOGLALÁS

A molibdén nem tartozik a közismert mikroelemek közé, de fontosságát az életben nem a közismertség mértéke mutatja. Számos enzim alkotóelemeként 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 nagyhőrcsöki terheléses tartamkísérlet jelenti, ahol különböző mértékű talajszennyezettségi viszonyokat modelleznek. A vizsgált talaj- és növényminták a kísérleti telepről származnak, és lehetőséget biztosítanak a molibdén viselkedésének vizsgálatára: összes molibdén-tartalom, oldható molibdén-tartalom, kilúgozódás, átalakulás, növényi felvétel, növényen belüli transzport, az egyes szervekben történő felhalmozódás, fitotoxicitás és a termés minőségére ill. mennyiségére gyakorolt hatás.

Jelen dolgozatban a kukorica-, zöldborsó-, és a hozzájuk kapcsolódó talajminták eredményeit mutatjuk be. Mérési eredményeink szerint a molibdén lassan mozog a talaj alsóbb rétegei felé. A növényi minták vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a kukoricalevélben ill. borsószárban mért molibdén-koncentráció jóval magasabb, mint a szemekben, ami arra enged következtetni, hogy az elem a vegetatív szervekben akkumulálódik. Továbbá jelentős különbség adódott a gabonafélék és a pillangósvirágúak molibdén-felvétele között.

**Kulcsszavak:** molibdén, talaj, növény, kukorica, borsó, ICP-MS, ICP-OES

### SUMMARY

Molybdenum is not a well-known microelement, but being a constituent of several important cellular enzymes it is an essential microelement. Molybdenum occurs in all foods, but at very low levels. There does not appear to be any particular foods or types of foods, which in the absence of extrinsic factors, naturally have high levels of molybdenum. 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 Nagyhőrcsök, where different levels of soil contamination conditions are simulated. Soil and plant samples were collected from the experiment station to study the behaviour of molybdenum: total concentration, available concentration, leaching, transformation, 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 results of maize and peas and the soil samples related to them.

According to our data molybdenum is leaching from the topsoil at a medium rate and it appears in the deeper layers. In the case of plant samples we found that molybdenum level in the straw is many times higher than that is in the grain, so molybdenum accumulates in the vegetative organs of the plant. The data also show differences in the molybdenum-uptake of cereals and Fabaceae (or Leguminosae).

**Keywords:** molybdenum, soil, plant, maize, peas, ICP-MS, ICP-OES

### BEVEZETÉS, IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A molibdén a növények, állatok és az ember számára egyaránt létfontosságú elem. Számos enzim ill. enzimrendszer fontos alkotója, ezáltal hozzájárul a megfelelő sejtműködéshez, fejlődéshez, növekedéshez (Berman, 1980; Reilly, 1991; Pyrzynska, 2007).

A molibdén a talajokban csak kis mennyiségben (0,5-3,0 mg/kg), különböző ásványokban, valamint kötött állapotban a vas- és alumínium-hidroxidokhoz kapcsolódva található. Ellentétben a többi nehézfémnel, különösen pH 6 alatt igen erősen kötődik, ezért savanyú talajokon könnyen molibdén-hiány léphet fel. Lúgos kémhatású talajokon viszont a növények által felvett molibdén már gyakran olyan nagy mennyiségű, ami toxikus lehet a növények, de elsősorban az azokat elfogyasztó állatok (ill. ember) számára (Szabó et al., 1987; Aubert és Pinta, 1977).

A növények életében a molibdén a nitrogén-anycserében részt vevő enzimek nélkülözhetetlen eleme: a légköri nitrogén megkötéséhez (nitrogénáz) ill. a nitrát formájában felvett nitrogén redukciójához is (nitrát-reduktáz) szükséges (Robb és Pierpoint, 1983). Ebből adódóan molibdén-hiány esetében a növényeken elsősorban a nitrogén-hiány tünetei fedezhetők fel: klorózis, korlátolt növekedés, nekrotikus levélszél, csészealakúság (Szabó et al., 1987). A növények molibdén-tartalma általában alacsony, csak ritkán haladja meg az 1 mg/kg szárazanyag értéket. Felvétele molibdenát-ion formában történik. Nem vándorol a növényben, legnagyobb mennyiségben a hancsrészben és a szállítóedények parenchimájában található. A molibdén feleslegére a növények kevésbé érzékenyek. Erősen bázikus talajokon extrém nagy mennyiségű molibdén-felvételt követően a levelek vörössárga-aranyárga klorózisa, később nekrozisa figyelhető meg. Jóval 100 mg Mo/kg szárazanyag feletti felvétel esetén a növények még nem mutatnak anyagcserezavarokat, nem jelentkezik fitotoxikus

hatás. A növények számára még messze nem toxikus molibdén-koncentrációk azonban az állatokban már molibdén-toxikózist okozhatnak (Szabó et al., 1987).

A molibdén továbbá az állatok és az ember számára is nélkülözhetetlen. Fontos alkotója többek között a xantin-oxidáznak, amely a húgysav-termelésben játszik szerepet, ill. az aldehid-oxidáznak, amely az alkohol-anyagsere kulcsenzime (Reilly, 1991). Nagyobb mennyiségű molibdén bevitel fokozza a húgysav termelődést, ami köszvény kialakulásához, ill. a már meglévő tünetek súlyosbodásához vezet.

Az élelmiszer-alapanyagok általában kis koncentrációban tartalmazzák molibdént, külső hatásra (pl. talajszennyezés) azonban olyan mértékű koncentrációnövekedés jelentkezhet, amely már toxicitási tüneteket válthat ki.

Az intenzív mezőgazdasági formák elterjedése, a közlekedés átalakulása, az iparosodással együtt járó fokozódó emisszió környezetünkben olyan káros elváltozásokat is kiváltott, amely a korábbi természetes ökológiai egyensúlyt megbontotta. A változás érzékelhető és lemérhető a talaj, a felszíni és felszín alatti vizek, a növény- és állatvilág, sőt élelmiszereink kémiai összetételének, mikroelem-tartalmának módosulásában is. A potenciálisan veszélyes vegyületek, elemek, elsősorban a nehézfémek felhalmozódása káros környezeti és egészségügyi hatásokat válthat ki. Ezért is szükséges, hogy nyomon kövessük ezeknek az elemeknek a sorsát a táplálékláncban. Az ilyen és ehhez hasonló lassú folyamatok azonban csak hosszú távú megfigyelések révén követhetők, a rövid vagy korlátozott idejű vizsgálatok ugyanis téves információkhoz, az eredmények félreértelmezéséhez vezethetnek. Másfelől szükség van laboratóriumi modellkísérletekre is, hogy feltárhassuk a természetben vagy laboratóriumban lezajló folyamatok mechanizmusát (Kádár, 1995).

A nehézfémek viselkedésének tanulmányozása céljából állították be 1991-ben az MTA TAKI Nagyhorcsöki Kísérleti Telepén azt a terheléses tartamkísérletet, amelyben tizenhárom mikroelem szennyező hatását, jelenlétét vizsgálják a talaj-növény-állat rendszerben. Az alkalmazott kezelések olyan talajszennyezettségi viszonyokat szimulálnak, amelyek ipari létesítmények, autóutak, települések környezetében, kertekben ma is gyakran előfordulnak, vagy a jövőben előfordulhatnak.

Munkánk során a kísérleti telepről származó növény- és a hozzájuk kapcsolódó talajminták molibdén-tartalmát vizsgáltuk. A rendelkezésre álló minták lehetőséget biztosítanak a molibdén talajban való viselkedésének (kimosódás, megkötődés), növényi felvételének, növényen belüli transzportjának, ill. a különböző molibdénformák minőségi és mennyiségi meghatározásának vizsgálatára.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### A termőhely és a szabadföldi kísérlet ismertetése

Vizsgálataink alapjául a nagyhorcsöki terheléses kísérlet mintanyaga szolgált. A termőhely löszön képződött mészeledékes 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 (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.

1. táblázat

A kísérletben alkalmazott egyszeri terhelési kezelések 1991-ben (Mészeledékes csernozjom, Nagyhorcsök)

Elem(1)	Adagolás 1991. tavasz,				Alkalmazott sók formája(3)
	kg/ha(2)				
	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>
<b>Mo</b>	-	<b>90</b>	<b>270</b>	<b>810</b>	<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O</b>
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, Nagyhorcsök)  
elements(1), dose in spring of 1991, kg/ha(2), chemicals applied(3)

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

**Talajminták (mintaelőkészítés, elemzés)**

Parcellánként 20-20 pontminta egyesítésével évente átlagmintát vettek a szántott rétegből. Mélységi minták begyűjtésére 3-5 évente került sor.

A begyűjtött mintákat szárítószekrényben kiszárították, majd elporították. Kétféle előkészítési módszert alkalmaztunk. Az össz-elemtartalom meghatározásához a mintákat atmoszférikus nedves roncsolásnak vetettük alá, melyet tömény salétromsavval és hidrogén-peroxiddal végeztünk (Kovács et al., 2000). A talajminták előkészítésekor 1 g ( $\pm$  0,01 g) mintához az előroncsolás során 5 cm<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub>-at alkalmaztunk 60 °C hőmérsékleten 45 perc időtartamig. A főroncsolás előtt 5 cm<sup>3</sup> 30%-os H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-ot adagoltunk hozzá, majd 270 percig 120 °C-on tartottuk a roncsolmányt.

Az oldható elemtartalom meghatározásához a Lakanen-Erviö-féle módszert alkalmaztuk (MSZ 21470-50:2006). Ehhez 1,5 g ( $\pm$  0,01 g) talajmintát mértünk be szcintillációs edényekbe, 1,5 cm<sup>3</sup> Lakanen-Erviö-oldatot adtunk hozzá, majd a rázatást követően a szuszpenziót leszűrtük. Az elemtartalmi méréseket ICP-OES (Perkin Elmer OPTIMA 3300 DV) ill. ICP-MS (Thermo Elemental X7) műszerekkel végeztük (2., 3. táblázat).

2. táblázat

**ICP-OES készülék beállítási és mérési paraméterei**

Kicsatolt teljesítmény(1)	1300 W
Porlasztógáz áramlási sebesség(2)	0,95 dm <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>
Hűtőgáz áramlási sebesség(3)	15 dm <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>
Segédgáz áramlási sebesség(4)	1,0 dm <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>
Mintabetáplálás sebesség(5)	0,001 dm <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>

Table 2: ICP-OES setting and measuring parameters

RF power(1), nebulizer gas flow rate(2), cooling gas flow rate(3), auxiliary gas flow rate(4), sample introduction(5)

3. táblázat

**ICP-MS készülék beállítási és mérési paraméterei**

Kicsatolt teljesítmény(1)	1400 W
Plazmagáz áramlási sebesség(2)	13 dm <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>
Porlasztógáz áramlási sebesség(3)	0,72 dm <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>
Segédgáz áramlási sebesség(4)	1,3 dm <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>
Mintabetáplálás sebesség(5)	0,001 dm <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>
Pole Bias	-10 V
Hexapole Bias	-7 V
Extrakció(6)	-175 V
Fókusz(7)	0 V
Analóg detektor(8)	2150 V
PC detektor(9)	3850 V
CCT gáz (7% H <sub>2</sub> +93% He)(10)	7 cm <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>
Integrációs idő(11)	0,1 s
Stabilizációs idő(12)	35 s

Table 3: ICP-MS setting and measuring parameters

RF power(1), cooling gas flow rate(2), nebulizer gas flow rate(3), auxiliary gas flow rate(4), sample introduction(5), extraction(6), focus(7), analogue detector(8), PC detector(9), CCT gas flow(10), integration time(11), stabilization time(12)

**Növényminták (mintaelőkészítés, elemzés)**

Növényminták begyűjtésekor parcellánként 20-40 növényből álló átlagmintát képeztek, külön gyűjtve a gyökeret, hajtást, levelet, az aratáskori szemtermést.

Szárítószekrényben történő szárítás és homogenizálást követően a növényminták esetében is a Kovács et al. (1996) által közölt salétromsav-hidrogén-peroxidos roncsolási technikát alkalmaztuk. A megfelelően előkészített (szárított, darált) minta bemért tömege 1 g ( $\pm$  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 elemtartalmat a már említett műszerekkel határoztuk meg.

A kalibráló standard oldatok előállításához Merck gyártmányú (E. Merck, Darmstadt, Németország) alt. minőségű cc. HNO<sub>3</sub> (65%) oldatot használtunk. A törzsolatok készítéséhez Merck és BDH gyártmányú standard oldatokat, valamint REANAL gyártmányú (Budapest) alt. tisztaságú szilárd vegyszereket alkalmaztunk. A mosogatáshoz, továbbá az oldatok előkészítéséhez használt nagy tisztaságú vizet egy kétlépcsős Millipore (Millipore, Párizs, Franciaország) víztisztító berendezés segítségével állítottuk elő. A nedves roncsolású mintaelőkészítéshez LABOR MIM OE-718/A típusú elektromos blokkroncsolót használtunk, melybe egy alkalommal maximum 50 db roncsoló csövet (25×420 mm, 50 cm<sup>3</sup>-re és 100 cm<sup>3</sup>-re kalibrált) tehettünk bele.

**EREDMÉNYEK, ÉRTÉKELÉS**
**Talajminták**

A feltalajminták esetében első lépésben meghatároztuk a bennük lévő összes molibdén mennyiségét a kezelések függvényében. A 4. táblázatban, ill. az 1. ábrán ennek eredményei láthatók a kísérlet beállítását követően közvetlenül, 3, 6 ill. 9 év elteltével. Ahogy várható volt, az alkalmazott kezelések mértékének növelésével nőtt a talajminták molibdén-tartalma is, az évek múlásával pedig a felső szántott rétegben mérhető koncentráció fokozatosan csökkent.

4. táblázat

**A talaj molibdén-koncentrációjának változása az egyes terhelési szinteken az idő függvényében**

Kezelés (kg/ha)(1)	1991	SD	1994	SD	1997	SD	2000	SD
0	0,472	0,0743	0,455	0,188	0,315	0,0165	0,289	0,018
90	28,3	1,05	19,0	0,694	13,0	1,36	8,75	1,27
270	90,0	3,47	69,8	2,18	47,8	6,04	27,8	1,87
810	247,5	12,4	100,7	6,15	83,6	1,38	74,6	11,4

 Table 4: Change of molybdenum concentration depending on duration and doses  
dose (kg/ha)(1)

1. ábra: A talaj molibdén-koncentrációjának változása az egyes terhelési szinteken az idő függvényében

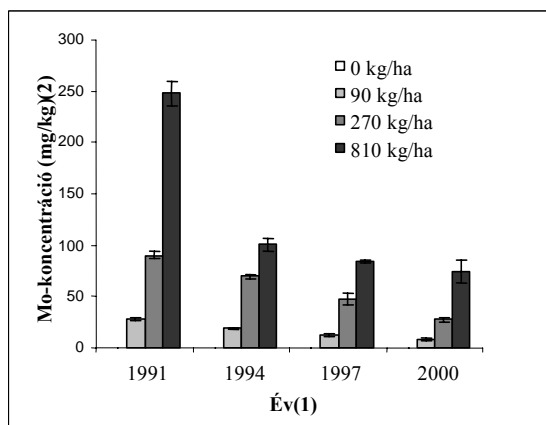


Figure 1: Change of molybdenum concentration depending on duration and doses.

year(1), concentration of Mo (mg/kg)(2)

A következő lépésben a talajok oldható elemtartalmát vizsgáltuk, vagyis azt, hogy a talajban lévő teljes molibdén mennyiségének mekkora része hozzáférhető a növények számára. Erre vonatkozó adatokat tartalmaz az 5. táblázat és 2. ábra. A táblázatból leolvasható, hogy az összes molibdénnek kb. 20-30%-a van felvehető formában. Ez az arány igazodik a Szabó et al. (1987) által megadott adatokhoz, amely szerint a talajok összes molibdén-tartalma átlagosan 0,5-3,0 mg/kg érték között változik, s ebből 0,001-0,8 mg/kg hozzáférhető a növények számára is.

A mélységi talajminták 2000-ből ill. 2005-ből a 4. terhelési szintnek (810 kg/ha) megfelelő parcellákról származtak. Vizsgálatuk révén információt nyerhetünk a molibdén talajban történő függőleges irányú mozgásáról. A 3a és b ábra adatai arra engednek következtetni, hogy ez a mikroelem mozog a talaj mélyebb rétegei felé. 2000-ben még a talaj felső 40 cm-es rétege tartalmazta a molibdén nagy részét, és kb. 180-200 cm alatt már csak elenyésző mennyiség volt mérhető. 2005-re azonban csökkent a felső réteg molibdén-tartalma, míg a talaj nagyobb mélységeiben egyre magasabb koncentrációkat mérhettünk, és még 250 cm körül is volt kimutatható mennyiségű molibdén.

5. táblázat

	Kezelés (kg/ha)(1)			
	0	90	270	810
A	0,47	28,3	89,98	247,5
B	0,11	9,55	26,97	63,98
B/A	0,23	0,34	0,3	0,26

Table 5: Total (A) and soluble (B) molybdenum content dose (kg/ha)(1)

2. ábra: Összes (A) és Lakanen-Erviö oldható molibdén-tartalom (B) (mg/kg)

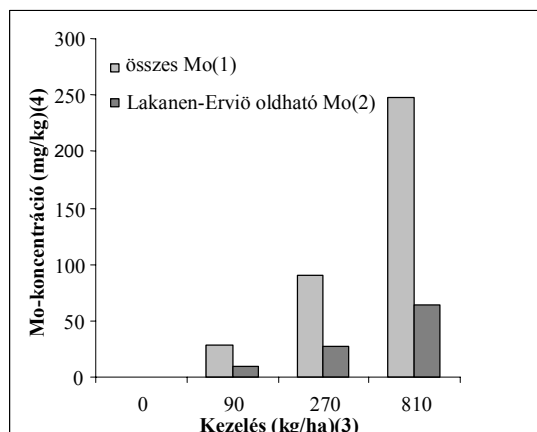


Figure 2: Total (A) and soluble (B) molybdenum content total and(1), soluble molybdenum content(2), dose of Mo (kg/ha)(3), molybdenum concentration (mg/kg)(4)

3. ábra: A talaj molibdén-koncentrációjának változása a talajmélység függvényében a) 2000-ben és b) 2005-ben

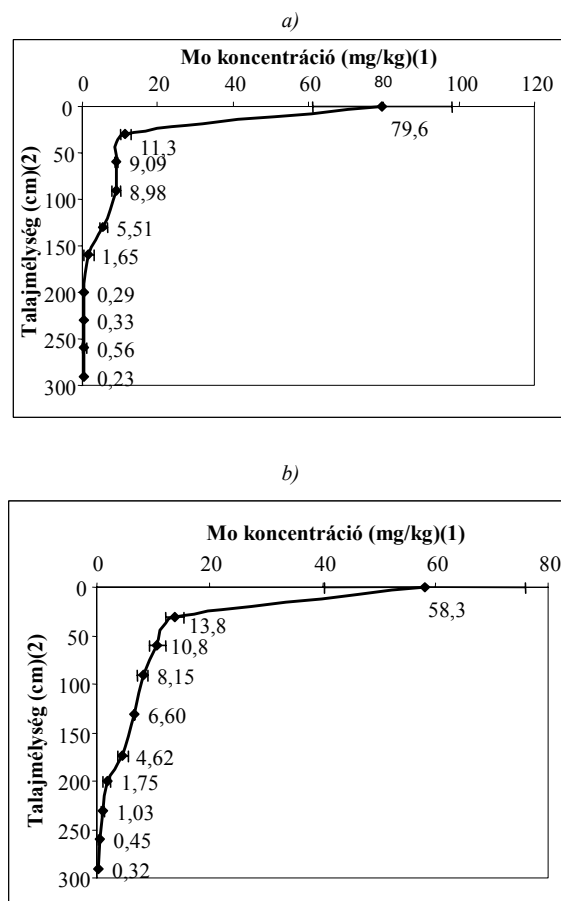


Figure 3: Change of molybdenum concentration depending on the depth, a) in 2000, b) in 2005 concentration of Mo (mg/kg)(1), depth (cm)(2)

A molibdén lefelé irányuló mozgásában (kilúgozásában) fontos szerepet játszik a talaj pH-ja, ami a nagyhorcsói mészlepedékes csernozjom esetében enyhén lúgos tartományba esik (pH=7,6), s ez az elem mobilitását megnöveli.

#### Növényminták

A begyűjtött növényminták közül jelen dolgozatban a kukorica (*Zea mays*) (1991) ill. a zöldborsó (*Pisum sativum*) (1994) egyes szerveinek molibdén-tartalmát határoztuk meg (6. táblázat).

6. táblázat

A növényminták molibdén-tartalmának (mg/kg) alakulása a kezelések függvényében

Kezelés (kg/ha)(1)	kukorica szem(2)	SD	kukorica levél(3)	SD	borsó szem(4)	SD	borsó szár(5)	SD
0	0,56	±0,358	23,6	±29,3	62,9	±23,1	121	±30,1
90	5,02	±0,149	178	±8,91	96,8	±1,96	252	±52,9
270	8,23	±1,136	313	±34,9	153	±12,9	491	±88,3
810	15,7	±2,708	441	±66,0	181	±33,6	518	±77,7

Table 6: Change of molybdenum content of plant samples (mg/kg) depending on the dose (mg/kg) depending on the dose dose (kg/ha)(1), maize grain(2), maize straw(3), pea seed(4), pea straw(5)

A kukorica, mint gabonanövény molibdén-igénye kicsi, felvőképessége azonban jó. A 4. ábrán jól látható, hogy a vártaknak megfelelően a talajra kijuttatott molibdén mennyiségének növelésével nőtt a növény által felvett elem mennyiség is. Jelentős eltérés mutatkozik azonban a kukoricaszemek és -levelek molibdén-tartalma között. A felvett molibdén a növény leveleiben akkumulálódott.

4. ábra: A kukoricaszem és -levél molibdén-tartalmának alakulása az egyes kezelések hatására (1991)

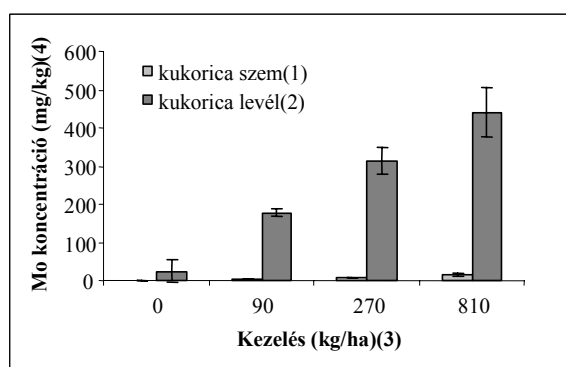


Figure 4: Molybdenum content of maize grain and straw depending on the dose (1991) maize grain(1), maize straw(2), dose (kg/ha)(3), concentration of Mo (mg/kg)(4)

A borsó vizsgálatakor hasonló eredményekre jutottunk, ami a molibdén növényen belüli eloszlását illeti (5. ábra). Vagyis a levelekben mérhető molibdén mennyisége többszöröse a szárának.

5. ábra: A borsószem és -szár molibdén-tartalmának alakulása az egyes kezelések hatására (1994)

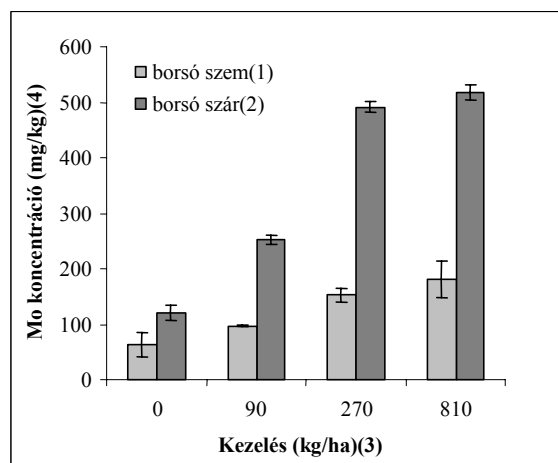


Figure 5: Molybdenum content of seed and straw of peas depending on the dose seed of peas(1), straw of peas(2), dose (kg/ha)(3), concentration of Mo (mg/kg)(4)

Jelentős különbség mutatkozott azonban a felvett molibdén mennyiségét illetően a két növény között. Ennek magyarázata a rendszertani hovatartozásban keresendő. A borsó a Pillangósvirágúak családjába (*Fabaceae*) tartozik, melynek tagjairól tudjuk, hogy a velük szimbiózisban élő baktériumok segítségével képesek megkötni a légköri nitrogént. E folyamatban fontos szerepet tölt be a nitrogénáz enzim, amelynek működéséhez szintén molibdén szükséges. A borsónál tehát mind a szár, mind a szem molibdén-tartalma magasabbnak bizonyult a kukoricánál mérteknél, és különösen a szemek esetében jelentős a különbség (6. ábra).

6. ábra: Kukoricaszem és borsószem molibdén-tartalmának összehasonlítása

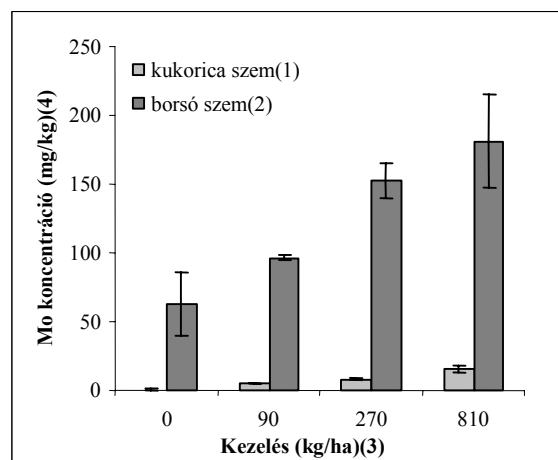


Figure 6: Comparison of maize grain and pea seed considering molybdenum content maize grain(1), pea seed(2), dose (kg/ha)(3), concentration of Mo (mg/kg)(4)

Elmondhatjuk tehát, hogy a molibdén, mint esszenciális mikroelem igen fontos szerepet tölt be az élő szervezetek működésében. Természetes körülmények között mind a talajban, mind pedig a növényekben, állatokban csak kis koncentrációban fordul elő, külső hatásra azonban jelentős mennyiség is feldúsulhat az egyes szervekben. Az általunk vizsgált növényekben a tartamkísérlet szennyezett talajából felvett molibdén-mennyiség nem váltott ki látható toxikus hatást, fiziológiai elváltozást, a legnagyobb terhelési szinten azonban termésnövekedés volt tapasztalható. Állatok takarmányozására egyik növényt sem lehetett felhasználni, mert az általuk akkumulált molibdén-mennyiség az állatokban már molibdenózist váltott volna ki.

Megállapíthatjuk továbbá, hogy a molibdén elsősorban a vizsgált növények vegetatív szerveiben akkumulálódott, és a generatív szervek az összes molibdénnek csak kis hányadát tartalmazták. Ez az emberre nézve kedvező tény, hiszen a kukoricának és a borsónak is a termését használják élelmezési célokra.

### **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

A szerzők megköszönik a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatását, továbbá köszönettel tartoznak Dr. Kádár Imrének (Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete), aki a növény- és talajmintákat rendelkezésünkre bocsátotta.

### **IRODALOM**

- Aubert, H.-Pinta, M. (1977): Trace elements in soils. Elsevier Scientific Publishing Company. 55-61.
- Berman, E. (1980): Toxic metals and their analysis. Heyden & Son Ltd. 161-166.
- Kádár I. (1995): A talaj-növény-állat tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete
- 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.
- Kovács, B.-Prokisch, J.-Győri, Z.-Kovács, A. B.-Palencsár, A. J. (2000): Studies on soil sample preparation for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry analysis. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 31. 11-14. 1949-1968.
- 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.
- Robb, D. A.-Pierpoint, W. S. (1983): Metals and micronutrients: uptake and utilization by plants. Academic Press. 286-288.
- Szabó S. A.-Regiusné Mócsényi Á.-Győri D.-Szentmihályi S. (1987): Mikroelemek a mezőgazdaságban (Esszenciális mikroelemek). Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 140-154.