

## Növekvő molibdén-koncentráció hatása a különböző nitrogénformákra, valamint a molibdén nitrátasszimilációban betöltött szerepe

<sup>1</sup>BÓDI ÉVA–<sup>2</sup>LÉVAI LÁSZLÓ–<sup>3</sup>HUZSVAI LÁSZLÓ–<sup>1</sup>KOVÁCS BÉLA

Debreceni Egyetem, Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma

<sup>1</sup>Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézet, Debrecen

<sup>2</sup>Növénytudományi Intézet, Debrecen

<sup>3</sup>Gazdaságelemzés-módszertani és Alkalmazott Informatikai Intézet, Debrecen

### Összefoglalás

A növények nitrogén asszimilációja bonyolult biokémiai folyamatok összességén keresztül valósul meg. Növényeink a nitrogént a talajból több formában vehetik fel. A felvett formától függetlenül valamennyi forma ammóniummá alakul, hogy a növény hasznosítani tudja.

Célkitűzésünk volt, hogy laboratóriumi körülmények között vizsgáljuk, hogyan hat a növekvő koncentrációjú molibdénellátás a különböző nitrogén-formákra, valamint hogyan befolyásolja a nitrátasszimiláció folyamatát.

Kísérleti növényként egy kétszikű (napraforgó, *Helianthus annuus L. cv Arena PR*) növényt választottunk, melynél külön vizsgáltuk a hajtás és a gyökér molibdén koncentrációját.

Kísérletünkkel igazoltuk, hogy a nitrátasszimiláció egyik lényeges mozzanatának, a nitrátredukciónak a zavartalan lejátsszódásához a molibdén nélkülözhetetlen. A megfelelő molibdénellátás a nitrát-reduktáz enzim aktivitását növeli, így elkerülhetjük, hogy a nitrát káros mennyiségben halmozódjon fel növényeinkben.

A molibdénellátás és a nitrátredukció közötti összefüggés vizsgálatának gyakorlati értékét különösen a levél- és gyökérzöltségek termesztésénél hasznosíthatjuk, mivel ezek a növényeink a nitrátot az átlagostól jóval nagyobb koncentrációban tartalmazzák. Amennyiben gondoskodunk róla, hogy a talajaink molibdén koncentrációja elérje a

növények fiziológiai molibdén szükségletét (0,01  $\mu\text{M}$ ), csökkenteni tudjuk nitrát tartalmukat. Ez az eredmény humán-egészségügyi szempontból lényeges.

**Kulcsszavak:** molibdén, napraforgó, rizobox, tápoldat

## The effect of increasing molybdenum concentration on different nitrogen forms and the role of molybdenum in nitrate assimilation

<sup>1</sup>É. BÓDI–<sup>2</sup>L. LÉVAI–<sup>3</sup>L. HUZSVAI–<sup>1</sup>B. KOVÁCS

University of Debrecen, Centre for Agricultural and Applied Economic Sciences,

<sup>1</sup>Institute of Food Science, Quality Assurance and Microbiology, Debrecen

<sup>2</sup>Institute of Crop Sciences, Debrecen

<sup>3</sup>Institute of Economic Analysis Methodology and Applied Information Technology,  
Debrecen

### Summary

Nitrogen assimilation of plants is carried out by complicated biochemical processes. Plants can take up nitrogen from the soil in various forms. Independently of its form, nitrogen is transformed into ammonium, so that plants can utilise it.

Our objective was to examine under laboratory conditions how increasing molybdenum concentration acts on various nitrogen forms and how it affects the process of nitrate assimilation.

A dicotyledonous plant (sunflower, *Helianthus annuus L. cv Arena PR*) was selected as the subject of experiment. The molybdenum concentration was examined in the shoot and the root separately.

In the course of the experiment, it was established that molybdenum is indispensable for the undisturbed process of nitrate reduction, one of the important steps of nitrate assimilation. Proper molybdenum supply increases the activity of the nitrate reductase enzyme; therefore, the harmful accumulation of nitrate can be avoided.

The practical value of examining the correlation between molybdenum supply and nitrate reduction can be utilised especially in the production of leaf vegetables and root vegetables, as these plants contain much more nitrate than average. If it is made sure

that the molybdenum concentration of the soil reaches the physiological molybdenum demand of plants (0.01  $\mu\text{M}$ ), it is possible to reduce their nitrate content, which is important from the aspect of human healthcare.

**Key words:** molybdenum, sunflower, rhizobox, nutrient solution

## Влияние растущей концентрации молибдена на различные формы азота, и роль молибдена в ассимиляции нитрата

<sup>1</sup>Е. БОДИ–<sup>2</sup>Л. ЛЕВАИ–<sup>3</sup>Л. ХУЖВАИ–<sup>1</sup>Б. КОВАЧ

Центр Агро-Экономических Наук Дебреценского Университета,

<sup>1</sup>Институт Науки о пищевых продуктах, Микробиологии и Обеспечения качества, Дебрецен

<sup>2</sup>Институт Ботаники, Дебрецен

<sup>3</sup>Институт Прикладной Информатики и Методики анализа экономики, Дебрецен

### Резюме

Ассимиляция азота растений осуществляется совокупностью сложных биохимических процессов. Растения принимают азот из почвы во многих формах. Независимо от формы принятия, все формы преобразуются в аммоний, чтобы растение могло его использовать.

Нашей целью было в лабораторных условиях исследовать, как действует обеспечение молибденом увеличивающейся концентрации на различные формы азота, и как влияет на процесс ассимиляции нитрата.

Опытным растением выбрали двусемянное растение (подсолнечник, *Helianthus annuus L. cv Arena PR*), у которого отдельно исследовали концентрацию молибдена побега и корня.

Нашим опытом подтвердили, что для бесперебойного прохождения одного существенного момента ассимиляции нитрата – редукции нитрата – необходим молибден. Соответствующее обеспечение молибденом увеличивает активность энзима нитрат-редуктазы, так можем избежать накопление нитрата во вредном количестве в наших растениях.

Praktikus értéket a kutatás a kapcsolat biztosítása molibdén és nitrogén csökkentését lehet használni különösen a leveles és gyökéres zöldségek, mert ezek a növények tartalmazzák a nitrogént a koncentrációban sokkal magasabb szinten. Ha foglalkozunk a kérdéssel, hogy a molibdén koncentráció a talajban elérte a fiziológiai igényt a növények számára (0,01 µM), csökkenthetjük a nitrogén tartalmát. Ez a fontos eredmény a nézőpontból az ember számára.

**Kulcsos szavak:** molibdén, napraforgó, rizobium, tápanyag oldat

### Bevezetés és szakirodalmi áttekintés

A molibdén a talajokban csak kis mennyiségben van jelen, ez azonban a legtöbb termesztett növény számára elegendő. A molibdén átlagos koncentrációja a világ talajaiban 1–2 mg/kg. A hazai szennyezetlen talajok túlnyomó többsége 1,5 mg/kg-nál kevesebbet tartalmaz ebből a mikroelemből (Simon 1999). A különböző talajtípusaink eltérő molibdén-tartalommal rendelkeznek. A legkisebb a homoktalajoknak a molibdén-tartalma (0,34–0,50 mg/kg). Az erdőtalajok összes Mo-tartalma széles intervallumban változik (0,25–1,0 mg/kg között) hasonlóan a csernozjom talajokhoz (0,31–1,48 mg/kg). A talajok alacsony Mo-tartalma alól kivételt képeznek a rosszul szellőző hidromorf, vagyis a réti- és láptalajok (Győri 1984).

A molibdén a talajban főleg molibdenát anion ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) formájában található a talaj adszorpciós komplexumához kötve. Pais (1980) kutatásai szerint a talaj pH értéke döntő mértékben meghatározza a molibdén növények általi felvehetőségét. Például a talajok a molibdenát iont, különösen 6 pH-érték alatt, igen erősen kötik és ez Mo-hiányt eredményezhet a növényeknél. A növények Mo-felvétele és a talaj pH-értéke közötti kapcsolatról Pais (1999) a következő megállapítást tette: „Ha a pH 1 egységgel nő, a felvételi lehetőség megtízszereződik.”

Különböző élőhelyeken eltérő lehet a nitrát-nitrogén és az ammónium-nitrogén aránya. Például Berki 1993-ban az Északi-középhegység erdeiben végzett talajvizsgálatai során kimutatta, hogy az erdőtalajban az  $\text{NH}_4\text{-N}$  koncentráció egy nagyságrenddel meghaladta a  $\text{NO}_3\text{-N}$  koncentrációt. A mélységgel mindkét koncentrációban csökkenés mutatkozott. Németh (1996) a nyírségi erdőtalaj-

jon és az egyéb talajtípusokon végzett kísérlete során hasonló eredményre jutott, bár a két koncentráció között kisebb volt a különbség. A zalai mintaterületek szántóinak talajszelvényeiben mért  $\text{NO}_3\text{-N}$  tartalom viszont meghaladta az  $\text{NH}_4\text{-N}$  koncentrációt.

Savanyú, kedvezőtlen szerkezetű talajaink meszezése, nagyobb adagú foszfortrágyázása, lazítása általában elegendő a Mo-hiány leküzdésére. Amennyiben azonban a növények kielégítő Mo tápláltsági állapotának biztosításához trágyázás szükséges, úgy ebben az esetben is javasolhatók a talajon, illetve a levélen keresztül végzett tápanyagellátás egyes módzatai. Talajtrágyaként 150–250 g/ha Na-molibdenát, levéltrágyaként 0,3%-os ammónium-molibdenát, illetve különböző Mo-kelátok alkalmazása ajánlott (Kalocsai és Pogány 2007).

A növények a Mo-hiányra sokkal érzékenyebbek, mint a molibdén feleslegére (Szabó et al. 1987). Füleký (1999) megfigyelése alapján a Mo-hiányos növények növekedése lassul, a levelek fakó színűekké válnak és a virágzás is zavart szenved. A Mo-hiány tünetei legtöbbször a középső és az idősebb leveleken jelennek meg. Szalai (2006) tanulmányából az is kitűnik, hogy a kétszikű növények érzékenyebbek a Mo-hiányra, mint az egyszikűek. A kétszikűeknél a következő hiánytünetek jelentkezhetnek Mo-hiány esetén: levéltorzulások, fodrozott levéllemezek, klorotikus elváltozások, nekrotikus foltok vagy tenyész-kúp elhalása.

A növények a molibdént nagy mésztartalmú, lúgos kémhatású talajokon extrém nagy koncentrációban is képesek felvenni. Bár a növényeknél gyakran még ilyen nagyfokú Mo-akkumuláció esetén sem lép fel anyagcserezavar, nem jelentkezik fitotoxikus hatás, az állatoknál ez a koncentráció már molibdéntoxikózist eredményezhet (Pais 1980). A növények extrém magas molibdén koncentrációja, amellet, hogy molibdéntoxikózist okozhat az állatoknál, a felvehető réz mennyiségét is csökkenti. Ugyanis alig van két olyan elem, amely között olyan egyértelmű antagonizmus lenne, mint a molibdén és a réz. Egyéb feltételeket változtatlanul hagyva, az egyik elem koncentrációjának növelése a másik elem beépülését csökkenti (Tölgyesi 1969). Ezért kell odafigyelni, hogy az állatok takarmányaiban lévő Mo és Cu ne csak elegendő mennyiségben, hanem megfelelő arányban is legyenek egymással. Az optimális Cu-Mo arány 2:1 (Mézes 1997). Suttle (1983) tanulmánya is ezt a tényt támasztja alá, amely szerint a takarmány szárazanyagában már 4–6 mg/kg Mo-koncentráció is gátolja a réz felvételét. A molibdéntoxikózis viszont réz adagolásával gyógyítható.

A növények számára szükséges makroelemek közül legnagyobb jelentősége a nitrogénnek (N) van. A tapasztalatok és a kísérletek egyaránt azt bizonyítják, hogy legközvetlenebbül nitrogénnel alakíthatók a termékek mennyiségi és minőségi mutatói. Egyetlen elem hiánya sem okoz olyan szembetűnő növekedésgátlást, olyan elmaradást az állományban, mint a nitrogénhiány (*Kalocsai és Giczi 2006, Füleky 1999*).

Növényeink a nitrogént a talajból több formában, nitrát-nitrogénként ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), nitrit-nitrogénként ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) és ammónium-nitrogénként ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) is felvehetik. A felvett formától függetlenül, a növényben valamennyi forma ammóniummá ( $\text{NH}_4^+$ ) alakul, hogy az hasznosítani tudja. A nitrátot ( $\text{NO}_3^-$ ) és a nitritet ( $\text{NO}_2^-$ ) energiaigényes folyamatokban kell redukálni, míg az ammónium-ionként felvett nitrogén közvetlenül kapcsolódhat ketosavakhoz, vagy karboxilcsoportot tartalmazó aminosavakhoz, mint amilyenek az aszparaginsav és a glutaminsav.

A nitrát felvételét, más szervekbe való transzportját, tárolását, redukcióját és a képződött ammónium szerves vegyületekbe való beépítését nitrátasszimilációnak nevezzük (*Viégas et al. 1999*). A nitrát asszimilációja kulcsfontosságú a növények növekedéséhez, mivel meghatározza az aminosavak, ezen keresztül a fehérjeszintézis intenzitását (*Silveira et al. 2001*). A nitrátasszimiláció egyik lényeges mozzanata a nitrátredukció, amely két lépésben játszódik le. Az első lépést a nitrát-reduktáz katalizálja, amelynek eredményeként a nitrát nitritté alakul, második lépésként pedig a nitritet a nitrit-reduktáz redukálja tovább ammóniummá. A nitrát-reduktáz indukálható enzim, melynek szintje a növényi szövetekben nitrát jelenlétében nő, nitrát eltávolításával pedig gyorsan lecsökken (*Farkas 1984, Agüera et al. 1990*). Ez az enzim alegységként három-három proszтетikus csoportot tartalmaz, melyek a következők: FAD, b-típusú citokróm, molibdén-kofaktor (*Campbell 1999, Láng 2002*). A molibdén (Mo) kulcsfontosságú mikroeleme a nitrát-reduktáznak, jelenléte az enzim aktivitásához elengedhetetlen. Molibdén hiányában a nitrátredukció folyamata lelassul és ez a nitrát felhalmozódását eredményezi.

A talajban, illetve a termesztett növényben feleslegben jelenlévő nitrát komoly veszélyt jelenthet számunkra. A nitrátot a csapadék a talajból a felszín alatti vizekbe moshatja, ahonnan az ivóvízbe kerülhet. Az ivóvízben és a növényekben jelenlévő nitrát, az emberi szervezetbe jutva, a májban nitritté redukálódik. A nitrit a hemoglobinhoz kapcsolódva gátolja az oxigén-kötődést, ezáltal methemoglobin jön létre. Ezt a folyamatot methemoglobémiának nevezi

a szakirodalom. A methemoglobin az egészséges felnőtt szervezetre nem jelent veszélyt, mivel képes a methemoglobin-reduktáz enzim hatására újra hemoglobinná alakulni, a hat hónaposnál fiatalabb csecsemők szervezetében azonban ez az enzim még nem alakult ki. Éppen ezért csecsemőknek készülő különböző készítmények esetén kifejezetten veszélyes az alapanyag magas nitrát-koncentrációja, mivel már csekély mértékben is agykárosodáshoz vezethet, nagyobb koncentrációban pedig a csecsemő fulladását is eredményezheti. Ez jól mutatja, hogy mennyire fontos, hogy a nitrátredukcióban kulcsszerepet játszó nitrát-reduktáz működése optimális legyen, amihez viszont megfelelő mennyiségű molibdén jelenléte nélkülözhetetlen.

Kutatások szerint a molibdén az emberi táplálkozásban alig játszik szerepet. Az élelmiszereink kielégítő mennyiségű molibdént tartalmaznak, ezért változatos, kiegyensúlyozott táplálkozás mellett Mo-hiánytól biztosan nem kell tartanunk. Legfontosabb forrásai a hüvelyesek és a máj (Szabó *et al.* 1987).

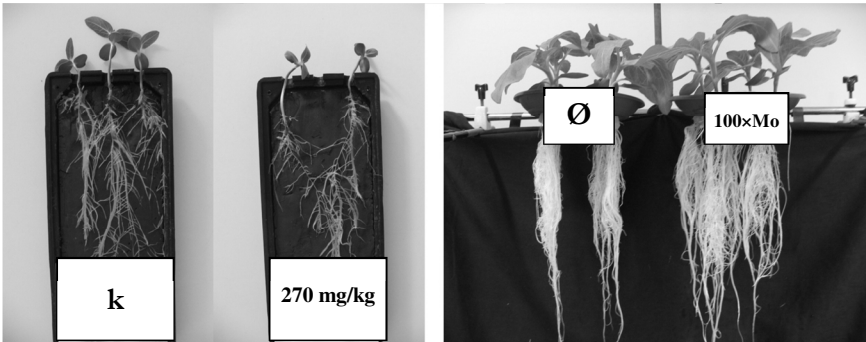
A molibdén a szervezetünkben elősegíti az optimális növekedést, fejlődést, sejtműködést. A fogak egészségi állapotára is hatással van, beépül a fogzománcba, és kielégítő ellátottság esetén csökkenti a fogszuvasodás veszélyét.

### Anyag és módszer

Kísérleti növényként egy kétszikű (napraforgó, *Helianthus annuus L. cv Arena PR*) növényt választottunk, melynél külön vizsgáltuk a hajtás és a gyökér molibdén koncentrációját. A hajtás és a gyökér külön történő vizsgálatát indokolta, hogy a nitrátredukció két helyen játszódik le a növényben. A hajtásban a redukcióhoz szükséges redukáló erőt a fotoszintézis fényreakciója biztosítja, míg a gyökérben a légzésből származnak az aktív hidrogénionok. Emellett kíváncsiak voltunk arra is, hogy a nitrátredukcióban a molibdén mellett hogyan változik a vas és a kén koncentrációja a Mo-ellátás függvényében, mivel a nitrátredukcióban kulcsszerepet játszó enzimben, a nitrát-reduktázban, a molibdén mellett a vas (Fe) és a kén (S) is jelen van.

A növények nevelésére a DE AGTC Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növénytani és Növényélettani Tanszékcsoport Klímaszobájában került sor, ahol a környezeti tényezők szabályozottak voltak: a fényintenzitás  $220 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , a hőmérséklet periodicitása 25/20 °C (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) 65–75%, a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra.

A kísérletekhez felhasznált magvak fertőtlenítését 5×-ös hígítású  $H_2O_2$ -dal végeztük el. A fertőtlenített magvakat desztillált vízzel többször öblítettük, majd 10 mM-os  $CaSO_4$  oldatban 4 óráig áztattuk, ami elősegítette a magvak csírázását. A magvakat a felszíni sterilizálás után függőlegesen állított nedves szűrőpapír tekercsben 22 C°-on, termosztátban csíráztattuk (Lévai és Kovács 2001). Kísérleteink az alábbi két típusba sorolhatók: rizoboxos- és tápoldatos kísérletek (1–2. képek).



1. kép. Rizoboxban nevelt napraforgó csíranövények (k=kontroll, 270 mg/kg Mo)

2. kép. Tápoldatban nevelt napraforgó csíranövények ( $\emptyset=0$  mg/dm<sup>3</sup> Mo, 100×Mo=1  $\mu$ M  $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ )

(fotók: Bódi Éva)

Picture 1. Sunflower seedlings grown in rhizoboxes (k=control, 270 mg Mo kg<sup>-1</sup>)

Picture 2. Sunflower seedlings grown in nutrient solution ( $\emptyset=0$  mg dm<sup>-3</sup> Mo, 100×Mo=1  $\mu$ M  $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ )

(Photos: É. Bódi)

A rizoboxos kísérlet előnye, hogy a napraforgó gyökereinek növekedése, a növekedés napi, napszaki ritmusa is nyomon követhető, valamint az is látható, hogy a növekvő Mo-koncentráció okoz-e fitotoxikus tüneteket a kísérleti növényeink gyökereinél.

Rizoboxos kísérleteinkhez a DE AGTC Látóképi Kísérleti Telepéről származó mészlepedékes csernozjom talajt használtuk fel. A kísérletben alkalmazott talaj összetételének a jellemzőit az 1. táblázatban tüntettük fel.

A kontroll (k) kezelésű talajhoz nem adtunk molibdént, a kezeléséknél pedig a hozzáadott molibdén koncentrációk a következők voltak: 30, 90 és 270 mg/kg. A talajhoz adott Mo adagokat a 2. táblázat tartalmazza.



1. táblázat. *A rizoboxban végzett kísérletekhez alkalmazott talaj jellemzői*

Mélység (1)	0–0,3 m
pH (KCl)	5,71
pH (H <sub>2</sub> O)	6,58
Arany-féle kötöttség (KA) (2)	43
Vízoldható összes só (3)	0,015%
CaCO <sub>3</sub>	0,202%
Humusz (4)	3,54%
KCl-oldható NO <sub>3</sub> -N+NO <sub>2</sub> -N	8,04
AL-oldható P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	199 mg/kg
AL-oldható K <sub>2</sub> O	451 mg/kg
AL-oldható Na	332 mg/kg
KCl-oldható Mg	176 mg/kg
KCl-oldható SO <sub>4</sub> -S	6,04 mg/kg
KCl-EDTA- oldható Cu	5,79 mg/kg
KCl-EDTA oldható Zn	7,9 mg/kg
KCl-EDTA oldható Mn	262 mg/kg

Table 1. Characteristics of the soil used in the experiments. (1) Depth, (2) Arany plasticity index (KA), (3) Total water soluble salt content, (4) Humus.

2. táblázat. *Mészlepedékes csernozjom talaj különböző Mo kezeléseire szükséges Mo és (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4 H<sub>2</sub>O mennyiség*

Mo kezelések (mg/kg) (1)	Talajminta (kg) (2)	Mo (g)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4 H <sub>2</sub> O (g)
k	4	0,0000	0,0000
30	4	0,1241	0,2283
90	4	0,3724	0,6850
270	4	1,1172	2,0549

Table 2. The necessary amounts of Mo and (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4 H<sub>2</sub>O needed for the Mo treatments of calcareous chernozem soil. (1) Mo treatments (mg kg<sup>-1</sup>), (2) Soil sample (kg).

A talaj Mo kezeléseihez használt  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ -t ioncserélt vízben oldottuk fel. Szerettünk volna megbizonyosodni arról, hogy az edényekben lévő talajminták kellő mértékben lettek-e homogenizálva, ezért a talajminták három különböző részéből vettünk kb. 10–15 g talajt és a molibdén koncentrációjának elemzésével ellenőriztük a molibdén kezelés megfelelő kivitelezését. Mielőtt a talajt a rizoboxokba raktuk, az egyes rizoboxok aljára ioncserélt vízzel benedvesített szűrőpapírt helyeztünk. Ezáltal biztosítottuk az egyenletes vízfelvételt a növények számára. Miután a csíráztatott magvakat az elkészített talajba helyeztük, a rizoboxok átlátszó oldalát fekete fóliával borítottuk be. A növényeket geotrópusan stimuláltuk, így a gyökerek a nevelőbox fala mentén növekedtek, ami lehetővé tette a gyökér növekedésének nyomon követését.

Naponta mértük az egyes rizoboxok tömegét és a leadott vízmennyiséget pótoltuk. A rizoboxokba ültetett napraforgókat az ültetést követő 9. napon értékeltük. A kísérleti növények gyökereit 0,1 M-os HCl-dal mostuk át, majd a szárítószekrényben 85 °C-on tömegállandóságig szárítottuk. A szobahőmérsékletre történt visszahűlés után analitikai mérlegen (OHAUS) lemértük a hajtások és a gyökerek tömegeit.

Tápanyagos kísérleteinkben a napraforgó növények nevelésére a következő összetételű tápanyagot alkalmaztuk: 2,0 mM  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 0,7 mM  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , 0,5 mM  $\text{MgSO}_4$ , 0,1 mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 0,1 mM KCl, 10  $\mu\text{M}$   $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0,5  $\mu\text{M}$   $\text{MnSO}_4$ , 0,5  $\mu\text{M}$   $\text{ZnSO}_4$ , 0,2  $\mu\text{M}$   $\text{CuSO}_4$ , 0,01  $\mu\text{M}$   $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ . A növények a vasat  $10^{-4}$  M koncentrációjú Fe-EDTA formájában kapták (*Cakmak* és *Marschner* 1990).

A molibdén kiegészítést a tápanyaghoz adtuk, a kezeléseknél megfelelően. A kezelések a következők voltak:  $\emptyset$  Mo, 1×Mo (0,01  $\mu\text{M}$ ), 10×Mo, 100×Mo koncentrációk. Az ismétlések száma három volt. A tápanyagos kísérletnél, mivel a tápanyagban nincs légnemű fázis, a gyökerek megfelelő oxigénellátásáról is gondoskodni kellett. Ezt a levegő átbuborékoltatása biztosította. A tápanyagot két naponta cseréltük és az elpárolgott vizet rendszeresen pótoltuk. A tápanyagos kísérlet bontására az ültetést követő 9. napon került sor. A napraforgó csíranövényeink a kiértékeléskor megközelítőleg 12–12 cm-es hajtással és gyökérrel rendelkeztek. A tápanyagos kísérlet vizsgálatakor a kísérleti növények gyökereit szintén 0,1 M-os HCl-dal mostuk át, majd MEMMERT UIM 400 típusú szárítószekrényben 85 °C-on tömegállandóságig szárítottuk.

A minták előkészítését és mérését a Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézetében végeztük el. A talaj- és növényminták elemtartalmának

meghatározásához  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$  nedves roncsolásos minta-előkészítési módszert alkalmaztunk (Kovács *et al.* 1996, 2000). A megfelelően előkészített, hígított minták elemtartalmát induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel (ICP-OES) (Kovács *et al.* 1998) és induktív csatolású plazma tömegspektrométerrel (ICP-MS) határoztuk meg. A poliatomos zavaró hatások kiküszöbölésére az utóbbi műszernél CCT üzemmódot alkalmaztunk.

A kalibráló standard oldatok előállításához Merck gyártmányú (E. Merck, Darmstadt, Németország) alt. minőségű cc.  $\text{HNO}_3$  (65%) oldatot használtunk. A törzsoldatok készítéséhez Merck és BDH gyártmányú standard oldatokat, valamint REANAL gyártmányú (Budapest) alt. tisztaságú szilárd vegyszereket alkalmaztunk. A mosogathoz, továbbá az oldatok előkészítéséhez használt nagy tisztaságú vizet egy kétlépcsős Millipore (Millipore, Párizs, Franciaország) víztisztító berendezés segítségével állítottuk elő.

A  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  meghatározáshoz FIAstar 5000 Analizátor készüléket használtunk.

### *Statisztikai elemzések*

A kísérleti adatokat kéttényezős általános lineáris modellel (GLM) értékeltük. Az általános lineáris modell a hagyományos variancia-analízis és a lineáris regresszió-analízis ötvözete. Egyetlen táblázatban jelenik meg a variancia- és regresszió-analízis eredménye. Az R-négyzet megmutatja, hogy a kezelések milyen mértékben befolyásolták a függőváltozót. Az elemzéseket az SPSS 13.0 statisztikai programmal végeztük.

## **Eredmények**

### *Tápoldatban végzett kísérlet*

Tápoldatban végzett kísérleteink során azt tapasztaltuk, hogy a molibdén nélküli tápoldaton nevelt napraforgó csíranövények hajtásainak Mo-koncentrációja viszonylag alacsony volt, a csíranövény eredeti molibdén készletét mutatva. A hajtások molibdén koncentrációja a tápoldat molibdén koncentrációjának emelkedésével nőtt, míg a kén koncentrációjában csökkenés következett be. A vas esetében viszont azt tapasztaltuk, hogy a molibdén hiánya kifejezetten serkentette a vas felvételét, majd a molibdénellátás normalizálásával a hajtások vas koncentrációja a harmadára esett vissza és csak a legmagasabb molibdén koncentráció alkalmazásakor növekedett számottevően (3. táblázat).

3. táblázat. *Tápoldaton nevelt napraforgó csíranövények hajtásainak Mo, Fe és S koncentrációja (mg/kg) Ø Mo (molibdén nélküli tápoldat), 1×Mo (0,01 µM), 10×Mo és 100×Mo kezelések esetén*

Mo kezelések (1)	Mo (***)	Fe (***)	S (nsz)
Ø Mo	5,71	240	4211
1×Mo	6,52	80,0	3419
10×Mo	10,4	79,1	3522
100×Mo	49,2	117	3396

\*\*\* = szignifikancia szint 0,1%, nsz = nem szignifikáns

Table 3. Mo, Fe and S concentrations (mg kg<sup>-1</sup>) of the shoots of sunflower seedlings grown in nutrient solution in the case of Ø Mo (nutrient solution with no molybdenum), 1×Mo (0.01 µM), 10×Mo and 100×Mo treatments. (1) Mo treatments. \*\*\* = significance level: 0.1%, ns = non significant.

A gyökérben mért koncentrációk eltértek a hajtásban mérttől. A molibdén koncentrációja ugyan növekedett a tápoldat molibdén koncentrációjának növekedésével párhuzamosan, viszont a vas és a kén koncentrációjának változása nem mutatott egyértelmű tendenciát.

A molibdénhiányos tápoldat esetében azonban egy intenzív, hajtásba irányuló vas transzport eredménye lehetett, a gyökerek hajtáshoz viszonyított alacsony vas koncentrációja. A jelenség mögött egy sajátos szignalizációs rendszert feltételezünk. A vas nélkülözhetetlen az aktív fotoszintézishez, a szervesanyag termeléshez, ami indukálhatja az intenzívebb hajtás irányú vasszállítást, amelyben feltételezésünk szerint szerepe van a növényi hormonok hatásának is (4. táblázat).

A csíranövények Mo, Fe, S koncentrációján kívül nyomon követtük azt is, hogy hogyan hat a növekvő Mo-koncentráció a különböző N-formákra.

Mo-hiányos tápoldaton nevelt napraforgó csíranövények hajtásaiban a nitrát-reduktáz aktivitását a csíranövények eredetileg is meglévő endogén molibdén készlete determinálja. Ennek megfelelően viszonylag magas a NO<sub>3</sub>-N szint és alacsony az NH<sub>4</sub>-N mennyisége. A fiziológiai Mo-igényt (1×Mo=0,01 µM) kielégítve viszont csökkent NO<sub>3</sub>-N és a molibdénmentes tápoldaton mérttől jóval magasabb NH<sub>4</sub>-N koncentrációt mértünk, ami arra utal, hogy a hajtásba jutott nitrát redukciója sokkal intenzívebb kiegyenlített molibdénellátás esetén.

A különböző koncentrációjú Mo kezelések közül a tízszeres és a százszoros kezelések gyakorlatilag hatástalanok voltak, a hajtások NO<sub>3</sub>-N koncentrációja

nem növekedett a Mo-mentes tápoldaton mérthez képest, ugyanakkor az  $\text{NH}_4\text{-N}$  értékei is ellentétesen változtak az alkalmazott Mo kezelésekkel (5. táblázat).

4. táblázat. Tápoldaton nevelt napraforgó csíranövények gyökereinek Mo, Fe és S koncentrációja (mg/kg)  $\emptyset$  Mo (molibdén nélküli tápoldat),  $1\times$ Mo (0,01  $\mu\text{M}$ ),  $10\times$ Mo és  $100\times$ Mo kezelések esetén

Mo kezelések (1)	Mo (***)	Fe (***)	S (nsz)
$\emptyset$ Mo	9,87	60,9	3862
$1\times$ Mo	13,3	57,0	3632
$10\times$ Mo	39,2	58,3	4576
$100\times$ Mo	125	86,8	3917

\*\*\* = szignifikancia szint 0,1%, nsz = nem szignifikáns

Table 4. Mo, Fe and S concentrations (mg kg<sup>-1</sup>) of the roots of sunflower seedlings grown in nutrient solution in the case of  $\emptyset$  Mo (nutrient solution with no molybdenum),  $1\times$ Mo (0.01  $\mu\text{M}$ ),  $10\times$ Mo and  $100\times$ Mo treatments. (1) Mo treatments. \*\*\*= significance level: 0.1%, ns = non significant.

5. táblázat. Tápoldaton nevelt napraforgó csíranövények hajtásainak nitrát-( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), nitrit-( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) és ammónium-nitrogén ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) koncentrációja (mg/kg)  $\emptyset$  Mo (molibdén nélküli tápoldat),  $1\times$ Mo (0,01  $\mu\text{M}$ ),  $10\times$ Mo és  $100\times$ Mo kezelések esetén

Mo kezelések (1)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (nsz)	$\text{NO}_2\text{-N}$ (***)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (***)
$\emptyset$ Mo	2146	0,25	433
$1\times$ Mo	996	0,80	507
$10\times$ Mo	1264	0,87	353
$100\times$ Mo	1324	0,45	134

\*\*\* = szignifikancia szint 0,1%, nsz = nem szignifikáns

Table 5. Nitrate-( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), nitrite-( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) and ammonium-nitrogen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) concentrations (mg kg<sup>-1</sup>) of the shoots of sunflower seedlings grown in nutrient solution in the case of  $\emptyset$  Mo (nutrient solution with no molybdenum),  $1\times$ Mo (0.01  $\mu\text{M}$ ),  $10\times$ Mo and  $100\times$ Mo treatments. (1) Mo treatments. \*\*\* = significance level: 0.1%, ns = non significant.

A hajtások  $\text{NO}_3\text{-N}$  tartalma gyökéreredetű, miközben az  $\text{NH}_4\text{-N}$  készlet származhat a gyökérből is, és az is lehetséges, hogy a levelek saját nitrát-reduktáz aktivitásának a következménye.

Molibdén nélküli tápoldaton nevelt növényekhez viszonyítva csak az egyszeres és a tízszeres Mo-kezelésnél mértünk lényegesen magasabb  $\text{NO}_3\text{-N}$  koncentrációt a gyökérben, és az  $\text{NH}_4\text{-N}$  koncentráció is jelentősen növekedett a tízszeres Mo-szinten, ami intenzív nitrát felvételt és redukciót jelent. Ezt támasztja alá a köztes termék  $\text{NO}_2\text{-N}$  viszonylag alacsony koncentrációja is. A napraforgó gyökereinek nitrát-reduktáz aktivitását a magas, a százszoros Mo-koncentráció viszont már mérhetően gátolta (6. táblázat).

6. táblázat. *Tápoldaton nevelt napraforgó csíranövények gyökereinek nitrát- $(\text{NO}_3\text{-N})$ , nitrit- $(\text{NO}_2\text{-N})$  és ammónium-nitrogén  $(\text{NH}_4\text{-N})$  koncentrációja (mg/kg)  $\emptyset$  Mo (molibdén nélküli tápoldat),  $1\times\text{Mo}$  (0,01  $\mu\text{M}$ ),  $10\times\text{Mo}$  és  $100\times\text{Mo}$  kezelések esetén*

Mo kezelések (1)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (***)	$\text{NO}_2\text{-N}$ (***)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (***)
$\emptyset$ Mo	2575	2,46	424
$1\times\text{Mo}$	3064	1,94	469
$10\times\text{Mo}$	3161	2,52	645
$100\times\text{Mo}$	2651	0,04	42,6

\*\*\* = szignifikancia szint 0,1%

Table 6. Nitrate- $(\text{NO}_3\text{-N})$ , nitrite- $(\text{NO}_2\text{-N})$  and ammonium-nitrogen  $(\text{NH}_4\text{-N})$  concentrations (mg  $\text{kg}^{-1}$ ) of the roots of sunflower seedlings grown in nutrient solution in the case of  $\emptyset$  Mo (nutrient solution with no molybdenum),  $1\times\text{Mo}$  (0.01  $\mu\text{M}$ ),  $10\times\text{Mo}$  and  $100\times\text{Mo}$  treatments. (1) Mo treatments. \*\*\* = significance level: 0.1%.

Az általános lineáris modellel végzett analízisek eredményeit mutatják a 7–9. táblázatok. A molibdén kezelés hatását nem lehetett statisztikailag bizonyítani a szárazanyag alakulására. Ezt főként a növényi rész befolyásolja. A Mo és Fe mennyiségét a molibdén kezelés és a növényi rész együttesen befolyásolták. Befolyásoló hatásuk 98–99%. A S-tartalom nem változott jelentős mértékben a különböző molibdén kezelésekben.

7. táblázat. Tépoldaton nevelt napraforgó csíranövények variancia-analízise, függő változó a növény száraz tömege (g)

Forrás (1)	Eltérés négyzetösszeg (2)	Szabadságfok (3)	Variancia (4)	F-érték (5)	Számított szignifikancia (6)
Regresszió (7)	0,030 (a)	7	0,004	10,061	0,000
Korrektív tényező (8)	1,245	1	1,245	2957,451	0,000
Növényi rész (9)	0,017	1	0,017	39,961	0,000
Mo-kezelés (10)	0,003	3	0,001	2,458	0,100
Növényi rész * Mo-kezelés (11)	0,010	3	0,003	7,697	0,002
Hiba (12)	0,007	16	0,000		
Összesen (13)	1,282	24			
Korrigált összesen (14)	0,036	23			

(a) R-négyzet = 0,815 (korrigált R-négyzet = 0,734)

Table 7. Variance analysis of sunflower seedlings grown in nutrient solution, the dependent variable is the dry mass of plants (g). (1) Source, (2) Sum of squares, (3) Degree of freedom, (4) Variance, (5) F value, (6) Calculated significance, (7) Regression, (8) Correction factor, (9) Crop parts, (10) Mo treatment, (11) Crop parts \* Mo treatment, (12) Error, (13) Total, (14) Corrected total. (a) R squared = 0.815 (Corrected R squared = 0.734).

8. táblázat. Táploldaton nevelt napraforgó csíranövények variancia-analízise, ahol a függő változó a növény Mo, Fe és S koncentrációja (mg/kg)

Függő változó (1)	Forrás (2)	Eltérés négyzet-összeg (3)	Szabadság-fok (4)	Variancia (5)	F-érték (6)	Számított szignifikancia (7)	
Mo	Regresszió (8)	35181,658(a)	7	5025,951	985,759	0,000	
	Korrektációs tényező (9)	25275,045	1	25275,045	4957,289	0,000	
	Növényi rész (10)	5051,221	1	5051,221	990,715	0,000	
	Mo-kezelés (11)	25108,331	3	8369,444	1641,530	0,000	
	Növényi rész * Mo-kezelés (12)	5022,105	3	1674,035	328,335	0,000	
	Hiba (13)	81,577	16	5,099			
	Összesen (14)	60538,281	24				
	Korrigált összesen (15)	35263,235	23				
	Fe	Regresszió (8)	77452,170(b)	7	11064,596	151,409	0,000
		Korrektációs tényező (9)	227351,200	1	227351,200	3111,097	0,000
Növényi rész (10)		23921,220	1	23921,220	327,340	0,000	
Mo-kezelés (11)		26812,345	3	8937,448	122,301	0,000	
Növényi rész * Mo-kezelés (12)		26718,605	3	8906,202	121,873	0,000	
Hiba (13)		1169,240	16	73,078			
Összesen (14)		305972,610	24				
Korrigált összesen (15)		78621,410	23				

A 8. táblázat folytatása a következő oldalon...



A 8. táblázat folytatása...

Függő változó (1)	Forrás (2)	Eltérés négyzet-összeg (3)	Szabadság-fok (4)	Variancia (5)	F-érték (6)	Számított szignifikancia (7)
S	Regresszió (8)	3601257,292(c)	7	514465,327	1,563	0,217
	Korrekciós tényező (9)	349629567,042	1	349629567,042	1062,319	0,000
	Növényi rész (10)	776520,375	1	776520,375	2,359	0,144
	Mo-kezelés (11)	1275255,125	3	425085,042	1,292	0,311
	Növényi rész * Mo-kezelés (12)	1549481,792	3	516493,931	1,569	0,236
	Hiba (13)	5265908,667	16	329119,292		
	Összesen (14)	358496733,000	24			
	Korrigált összesen (15)	8867165,958	23			

(a) R-négyzet = 0,998 (korrigált R-négyzet = 0,997), (b) R-négyzet = 0,985 (korrigált R-négyzet = 0,979), (c) R-négyzet = 0,406 (korrigált R-négyzet = 0,146)

Table 8. Variance analysis of sunflower seedlings grown in nutrient solution, the dependent variable is the Mo, Fe and S concentration of plants (mg kg<sup>-1</sup>). (1) Dependent variable, (2) Source, (3) Sum of squares, (4) Degree of freedom, (5) Variance, (6) F value, (7) Calculated significance, (8) Regression, (9) Correction factor, (10) Crop parts, (11) Mo treatment, (12) Crop parts \* Mo treatment, (13) Error, (14) Total, (15) Corrected total. (a) R squared = 0.998 (Corrected R squared = 0.997), (b) R squared = 0.985 (Corrected R squared = 0.979), (c) R squared = 0.406 (Corrected R squared = 0.146)

9. táblázat. Táploldaton nevelt napraforgó csíranövények variancia-analízise, ahol a függő változó a növény nitrát-(NO<sub>3</sub>-N), nitrít-(NO<sub>2</sub>-N) és ammónium-nitrogén (NH<sub>4</sub>-N) koncentrációja (mg/kg)

Függő változó (1)	Forrás (2)	Eltérés négyzetösszeg (3)	Szabadság-fok (4)	Variancia (5)	F-érték (6)	Számított szignifikancia (7)	
NO <sub>3</sub> -N	Regresszió (8)	15268332,445(a)	7	2181190,349	5,972	0,002	
	Korrektációs tényező (9)	110707191,266	1	110707191,266	303,120	0,000	
	Növényi rész (10)	12276250,656	1	12276250,656	33,613	0,000	
	Mo-kezelés (11)	534495,407	3	178165,136	0,488	0,696	
	Növényi rész * Mo-kezelés (12)	2457586,382	3	819195,461	2,243	0,123	
	Hiba (13)	5843606,244	16	365225,390			
	Összesen (14)	131819129,956	24				
	Korrigált összesen (15)	21111938,689	23				
	NO <sub>2</sub> -N	Regresszió (8)	20,854(b)	7	2,979	11,431	0,000
		Korrektációs tényező (9)	32,804	1	32,804	125,863	0,000
		Növényi rész (10)	7,879	1	7,879	30,229	0,000
		Mo-kezelés (11)	7,273	3	2,424	9,302	0,001
		Növényi rész * Mo-kezelés (12)	5,703	3	1,901	7,293	0,003
		Hiba (13)	4,170	16	,261		
		Összesen (14)	57,829	24			
Korrigált összesen (15)	25,025	23					

A 9. táblázat folytatása a következő oldalon...

A 9. táblázat folytatása

Függő változó (1)	Forrás (2)	Eltérés négyzetösszeg (3)	Szabadságfok (4)	Variancia (5)	F-érték (6)	Számított szignifikancia (7)
NH <sub>4</sub> -N	Regresszió (8)	821178,099(c)	7	117311,157	13,520	0,000
	Korrekciós tényező (9)	3391407,393	1	3391407,393	390,855	0,000
	Növényi rész (10)	8742,075	1	8742,075	1,008	0,330
	Mo-kezelés (11)	678671,584	3	226223,861	26,072	0,000
	Növényi rész * Mo-kezelés (12)	133764,440	3	44588,147	5,139	0,011
	Hiba (13)	138830,451	16	8676,903		
	Összesen (14)	4351415,942	24			
	Korrigált összesen (15)	960008,549	23			

(a) R-négyzet = 0,723 (korrigált R-négyzet = 0,602), (b) R-négyzet = 0,833 (korrigált R-négyzet = 0,760), (c) R-négyzet = 0,855 (korrigált R-négyzet = 0,792)

Table 9. Variance analysis of sunflower seedlings grown in nutrient solution, the dependent variable is the nitrate-(NO<sub>3</sub>-N), nitrite-(NO<sub>2</sub>-N) and ammonium-nitrogen (NH<sub>4</sub>-N) concentration of plants (mg kg<sup>-1</sup>). (1) Dependent variable, (2) Source, (3) Sum of squares, (4) Degree of freedom, (5) Variance, (6) F value, (7) Calculated significance, (8) Regression, (9) Correction factor, (10) Crop parts, (11) Mo treatment, (12) Crop parts \* Mo treatment, (13) Error, (14) Total, (15) Corrected total. (a) R squared = 0.723 (Corrected R squared = 0.602), (b) R squared = 0.833 (Corrected R squared = 0.760), (c) R squared = 0.855 (Corrected R squared = 0.792)

A nitrogénformák közül a molibdén kezelés statisztikailag igazolható módon nem befolyásolta az  $\text{NO}_3^-$  tartalmat. E nitrogénforma mennyiségét elsősorban a növényi részek határozzák meg. A  $\text{NO}_2^-$  mennyiségét a növényi rész és a molibdén kezelés együttesen befolyásolták. Együttesen 83%-ban határozták meg ennek a nitrogénformának a mennyiségét. Az  $\text{NH}_4^+$  tartalom csak a molibdén kezeléstől függött, a növényi rész nem befolyásolta szignifikánsan.

### Rizoboxban végzett kísérlet

A növekvő koncentrációjú Mo kezelések, kísérleti növényeink Mo-koncentrációjára kifejtett hatását az 1. ábra foglalja össze.

1. ábra. Rizoboxban nevelt napraforgó csíranövények hajtásainak és gyökereinek Mo-koncentrációja

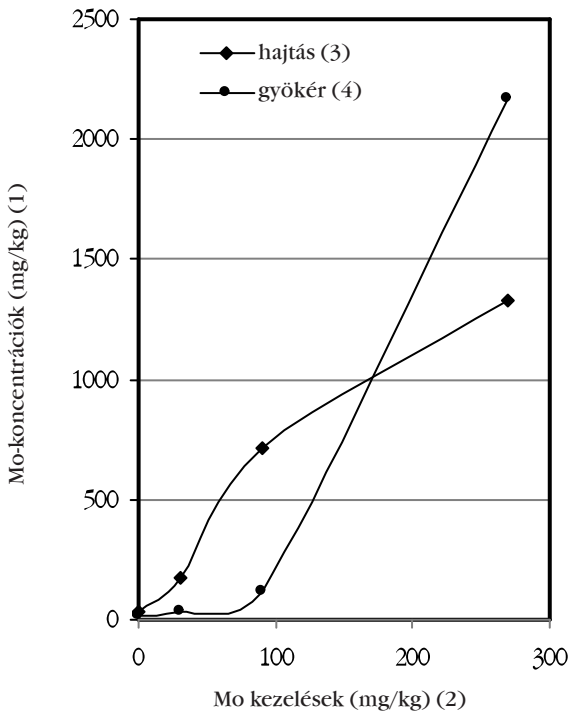


Figure 1. Mo concentrations of the shoots and roots of sunflower seedlings grown in rhizoboxes. (1) Mo concentrations ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), (2) Mo treatments ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), (3) Shoot, (4) Root.

Az 1. ábra alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a kontroll talajból a napraforgó csíranövény csekély mennyiségű molibdént vett fel. A molibdén koncentrációja a hajtásban és a gyökérben is alacsony volt, majd az egyes Mo kezelések hatására növekedés volt megfigyelhető. Bár a rizoboxos kísérletünkben nem alkalmaztunk ismétléseket, a tápoldatos kísérletünkben ugyanez a tendencia volt megfigyelhető, amely megerősíti a rizoboxos kísérletünk mérési eredményeit. Kádár és Pálvölgyi (2003) Nagyhörcsökön, mészlepedékes csernozjom talajon beállított napraforgóval végzett terhelési kísérletének eredményei szintén összhangban vannak a megfigyeléseinkkel, bár az egyes kezeléseknél az általuk mért Mo-koncentrációk nem érték el a kísérletünkben szereplő értékeket.

A molibdén kezelések hatottak a különböző N-formákra is. Az emelkedő molibdén kezelések hatására növekedett a hajtásokban és a gyökerekben mért  $\text{NO}_3\text{-N}$  koncentrációja, amit nem követett hasonló mértékben az  $\text{NH}_4\text{-N}$  koncentrációja, amely arra utal, hogy a nitrát-reduktáz rendszer kapacitása nem korlátlan, telítődött, ami a nitrát felhalmozódásához vezetett (10. táblázat). Ez kezelhető a növény egyfajta védekezési reakciójaként is, ugyanis ily módon megakadályozza a mérgező ammónia felhalmozódását, miközben a növény számára nem mérgező nitrátot kiválasztja a vakuolumaiba, így kirekeszti ideiglenesen az anyagcseréből. Humán-egészségügyi szempontból veszélyes lehet a nitrát ilyen típusú felhalmozása, a már korábban említett, methemoglobinémiát okozó hatása miatt.

10. táblázat. Rizoboxos napraforgó csíranövények hajtásainak nitrát- ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), nitrit- ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) és ammónium-nitrogén ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) koncentrációja (mg/kg) különböző molibdén kezelések esetén (mg/kg)

Mo kezelések (1)	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$
k	73,3	0,040	647
30	173	0,040	446
90	313	0,445	547
270	899	0,382	549

Table 10. Nitrate- ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), nitrite- ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) and ammonium-nitrogen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) concentration (mg  $\text{kg}^{-1}$ ) of the shoots of sunflower seedlings grown in rhizoboxes in the case of different molybdenum treatments (mg  $\text{kg}^{-1}$ ). (1) Mo treatments.

A gyökerekben a nitrát-reduktáz kapacitása nagyobb, ugyanis a molibdén kezelések hatására a  $\text{NO}_3\text{-N}$  és az  $\text{NH}_4\text{-N}$  koncentrációja is arányosan emelkedik (11. táblázat). A gyökerek magasabb nitrát-reduktáz aktivitása feltehetően összefüggésben van a gyökerek fokozottabb légzésével, ami a már említett citromsav-cikluson keresztül nagyobb mennyiségben biztosítja az ammónia primer megkötéséhez nélkülözhetetlen alfa-keto-glutársavat, illetve az aminálásával létrejövő glutaminsavat.

11. táblázat. *Rizoboxos napraforgó csíranövények gyökereinek nitrát- $(\text{NO}_3\text{-N})$ , nitrit- $(\text{NO}_2\text{-N})$  és ammónium-nitrogén  $(\text{NH}_4\text{-N})$  koncentrációja  $(\text{mg/kg})$  különböző molibdén kezelések esetén  $(\text{mg/kg})$*

Mo kezelések (1)	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$
k	15,6	0,040	443
30	50,3	0,040	507
90	162	1,76	544
270	285	3,66	824

Table 11. Nitrate- $(\text{NO}_3\text{-N})$ , nitrite- $(\text{NO}_2\text{-N})$  and ammonium-nitrogen  $(\text{NH}_4\text{-N})$  concentration  $(\text{mg kg}^{-1})$  of the roots of sunflower seedlings grown in rhizoboxes in the case of different molybdenum treatments  $(\text{mg kg}^{-1})$ . (1) Mo treatments.

Kísérleteink eredményeként állíthatjuk, hogy a molibdén jelentős szerepet játszik a nitrát redukciójában. Megfelelő Mo-ellátással biztosíthatjuk a levél- és gyökérvirdulást, de általában a friss, zöld fogyasztású termékek csökkentett nitrát tartalmát, aminek humán-egészségügyi vonatkozásai is lényegesek.

### Következtetések és javaslatok

A tápoldatos kísérleteink során azt tapasztaltuk, hogy a molibdén nélküli tápoldatban nevelt növények Mo-tartalma viszonylag alacsony volt, a csíranövények eredeti, meglévő molibdénkészletét mutatva. A molibdén kezelések hatására, a várakozásunknak megfelelően a növények Mo koncentrációja jelentősen megemelkedett.

A kísérleti növények hajtásának és gyökerének külön történő vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy a gyökerekben mért Mo-koncentrációk nagyobbak

voltak, mint a hajtásban mért értékek. Ez arra utal, hogy a gyökerekben, a vizsgált körülmények között a nitrát akkumulációja intenzívebb volt. A molibdénnel ellentétben, a vas és a kén koncentrációjának alakulásában viszont nem figyeltük meg egyértelmű és jelentős növekedését. Feltételezésünk szerint azért nem tapasztaltunk a legtöbb esetben lényeges változást, mert a kísérleti növényekben ezeknek az elemeknek a koncentrációja optimális volt és nem tette szükségessé a fokozottabb felvételt.

Rizoboxos kísérleteinkben a Mo-felvétel hasonlóan alakult, mint a tápoldatos kísérleteinkben. A rizoboxos kísérletnél nem lehet molibdénmentes környezetet biztosítani, mivel már a kontroll talaj is tartalmaz bizonyos mennyiségű molibdént. Ennek ellenére a kontroll talajból a napraforgó csíranövény viszonylag csak csekély mennyiségű molibdént vett fel.

A tápoldatos kísérlethez hasonlóan a gyökerekben intenzívebb Mo-koncentráció növekedést tapasztaltunk, mint a hajtásban és a kén koncentrációjában továbbra sem következett be lényeges változás.

A Mo kezelések hatottak a különböző N-formákra is. A kísérletek eredményei alapján egyértelmű bizonyítékot találtunk arra vonatkozóan, hogy a molibdénellátás és a nitrát redukciója között szoros összefüggés van. Azokban az esetekben, amikor a Mo kezelések csökkentették a gyökerek  $\text{NO}_3\text{-N}$  tartalmát és növelték az  $\text{NH}_4\text{-N}$  koncentrációját, egy intenzívebb nitrát-reduktáz aktivitást feltételezünk. Arra is találtunk példát, hogy az emelkedő Mo kezelések hatására megnövekedett a hajtásokban és a gyökerekben mért  $\text{NO}_3\text{-N}$  koncentráció, de ezt nem követte az  $\text{NH}_4\text{-N}$  koncentráció növekedése.

Feltételezésünk szerint ennek a jelenségnek az az oka, hogy a nitrát-reduktáz rendszer kapacitása nem korlátlan, telítődött, ami  $\text{NO}_3\text{-N}$  felhalmozódást eredményezett. Ez a növény számára kedvező, mivel megakadályozza a mérgező  $\text{NH}_4\text{-N}$  felhalmozódását. A növény számára nem mérgező, felhalmozódott  $\text{NO}_3\text{-N}$ -t a növény képes kirekeszteni ideiglenesen az anyagcseréből, azáltal, hogy a vakuolumaiban raktározza el. Humán-egészségügyi szempontból veszélyes lehet a nitrát ilyen típusú felhalmozása, a már korábban említett, metemoglobinémiát okozó hatása miatt.

Kísérleteink eredményeként arra a következtetésre jutottunk, hogy szoros összefüggés van a növények Mo-ellátása és nitrát-redukciója között. Ennek a ténynek a tudatában, intenzív  $\text{NO}_3\text{-N}$  adagoláskor megkülönböztetett figyelemmel kell lenni a talaj Mo-koncentrációjára és ha ez nem éri el a növény fiziológiai szükségletét, vagyis kevesebb, mint  $0,01 \mu\text{M}$ , célszerű műtrágya

kiegészítésként vagy mikroelem formájában a talajhoz adagolni. Megfelelő Mo-ellátással biztosíthatjuk a levél- és gyökérszöldségek, de általában a friss, zöld fogyasztású termékek csökkentett nitrát tartalmát, annak érdekében, hogy a nyers vagy feldolgozásra szánt növényi részek még egészségesebb táplálkozást tegyenek lehetővé. Viszont itt fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy a talaj Mo-koncentrációja mellett a friss szöldségek  $\text{NO}_3\text{-N}$  tartalmát jelentősen befolyásolják a fényviszonyok valamint a nappalok hossza is, így az üvegházi körülmények között nagyságrenddel nagyobb lehet a  $\text{NO}_3\text{-N}$  koncentráció a növényben.

A talaj Mo-ellátásánál fontos figyelembe vennünk azt a tényt, hogy bár jelenléte elengedhetetlen a nitrát-reduktáz enzim működéséhez, túl magas koncentrációja viszont komoly veszélyt jelent. Bár a növényeknél általában még nagyfokú Mo-akkumuláció esetén sem lép fel anyagcserezavar, nem jelentkezik fitotoxikus hatás, az állatoknál ez a koncentráció már molibdéntoxikózist okozhat. A betegség kialakulásának kockázata már 5 mg/kg Mo-tartalom felett jelentős, amiről nem feledkezhetünk meg az állatok takarmányozásakor.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönik a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatását.

### IRODALOM

- Aguera, E.–Haba, P.–Fontes, A. G.–Maldonado, J. M.*: 1990. Nitrate and nitrite uptake and reduction by intact sunflower. *Planta*. 182: 149–154.
- Berki I.*: 1993. Az Északi-középhegység kocsánytalan tölgy-pusztulás néhány okának vizsgálata. Kandidátusi Értekezés, Debrecen. [In: Németh T.: Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma.] MTA TAKI. Budapest.
- Cakmak, I.–Marschner, H.*: 1990. Decrease in nitrate uptake and increase in proton release in zinc deficient cotton, sunflower and buckwheat plants. *Plant and Soil*. 129: 261–268.
- Campbell, W. H.*: 1999. Nitrate reductase structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and physiology. *Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.* 50: 277–303.
- Farkas G.*: 1984. Növényi biokémia. Akadémia Kiadó. Budapest.
- Füleky Gy.*: 1999. Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Győri D.*: 1984. A talaj termékenysége. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Kalocsai R.–Giczi Zs.*: 2006. A tudatos (tápanyag) gazdálkodás I. A nitrogén. *MezőHír*. 10: 34–39.



- Kalocsai R.–Pogány É.:* 2007. A molibdén jelentősége, előfordulása a talajban, felvétele. *MezőHír.* 11: 62.
- Kádár I.–Pálvölgyi L.:* 2003. Mikroelem-terhelés hatása a napraforgóra karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan.* 52: 79–92.
- Kovács, B.–Győri, Z.–Prokisch, J.–Loch, J.–Dániel, P.:* 1996. A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. *Commun. in Soil Sci. and Plant Anal.* 27. 5–8: 1177–1198.
- Kovács, B.–Dániel, P.–Győri, Z.–Loch, J.–Prokisch, J.:* 1998. Studies on parameters of inductively coupled plasma spectrometer. *Commun. in Soil Sci. and Plant Anal.* 29. 11–14: 2035–2054.
- Kovács, B.–Győri, Z.–Prokisch, J.–Loch, J.–Dániel, P.:* 2000. Studies on soil sample preparation for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry analys. *Commun. in Soil Sci. and Plant Anal.* 31. 11–14: 1949–1963.
- Láng F.:* 2002. Növényélettan. A növényi anyagcsere 1. ELTE. Eötvös Kiadó. Budapest.
- Lévai, L.–Kovács, B.:* 2001. The influence of IAA and TIBA on iron concentration of maize seedlings. [In: Horst, W. J. (ed.) *Plant nutrition – Food, security and sustainability of agro- ecosystem.*] Kluwer Academia Publishers. Netherlands. 154–155.
- Mézes M.:* 1997. Takarmányártalmak, takarmánytoxikológia. Szent István Egyetem. Gödöllő.
- Németh T.:* 1996. Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA TAKI. Budapest.
- Pais I.:* 1980. A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Pais I.:* 1999. A mikroelemek jelentősége az életben. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Silveira, J. A. G.–Matos, J. C. S.–Ceccato, V. M.–Viégas, R. A.–Oliveira, J. T. A.:* 2001. Nitrate reductase activity, distribution and response to nitrate in two contrasting *Phaseolus* species inoculated with *Rhizobium spp.* *Environ. Exp. Bot.* 46: 37–46.
- Simon L.:* 1999. Talajszennyeződés, talajtisztítás. Környezetügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató. 5. kötet. Környezetgazdálkodási Intézet. Budapest.
- Suttle, N. F.:* 1983. Effects of molybdenum concentration in fresh herbage, hay and semi-purified diets on the copper metabolism of sheep. *J. Agric. Sci. Camb.* 100: 651–656.
- Szabó S. A.–Regiusné Mőcsényi Á.–Győri D.–Szentmihályi S.:* 1987. Mikroelemek a mezőgazdaságban I. (Esszenciális mikroelemek). Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Szalai I.:* 2006. A növények élete. Ahogyan ma látjuk I. Nemzeti Tankönyvkiadó Zrt. Budapest.
- Tölgyesi Gy.:* 1969. A növények mikroelem-tartalma és ennek mezőgazdasági vonatkozásai. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Viégas, R. A.–Melo, A. R. B.–Silveira, J. A. G.:* 1999. Nitrate reductase activity and proline accumulation in young cashew (*Anacardium occidentale* L.) plants in response to NaCl-salt shock. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.* 11: 21–28.

---

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Bódi Éva–Dr. Kovács Béla  
Debreceni Egyetem AGTC  
Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézet  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4032

Dr. Lévai László  
Debreceni Egyetem AGTC  
Növénytudományi Intézet  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4032

Dr. Huzsvai László  
Debreceni Egyetem AGTC  
Gazdaságelemzés-módszertani és Alkalmazott Informatikai Intézet  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4032