

A molibdénellátás hatása kukorica csíranövényekre

¹BÓDI ÉVA–²LÉVAI LÁSZLÓ–³HUZSVAI LÁSZLÓ–¹KOVÁCS BÉLA

Debreceni Egyetem, Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma

¹Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézet, Debrecen

²Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növénytani és
Növényélettani Tanszékcsoport, Debrecen

³Gazdaságelemzés-módszertani és Alkalmazott Informatikai Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A molibdén alapvető nyomelem a növényi tápanyagellátásban. Növényélettani jelentőségét 1940-ben bizonyították be. A növény nitrogén anyagcseréjében van fontos szerepe, hiányában nitrát felhalmozódás tapasztalható.

Kutatómunkánk célja kettős volt:

Kísérleteink során egyrészt arra a kérdésre kerestük a választ, hogyan változik a kukorica (*Zea mays L. cv Norma SC*) csíranövény Mo, Fe és S koncentrációja növekvő koncentrációjú Mo-kezelések során. Azért tartottuk fontosnak e három elem koncentrációjának nyomon követését, mert a nitrátredukcióban, a nitrát-reduktáz működésében ezek az elemek kiemelt szerepet töltenek be. Másrészt kísérleteinkkel laboratóriumi körülmények között kívántuk igazolni, hogy szoros összefüggés van a molibdénellátás és nitrátredukció között: a növények fiziológiai molibdén szükségletét biztosítva, csökkenteni tudjuk nitrát tartalmukat.

Kísérleteink az alábbi két típusba sorolhatók: rizoboxos- és tápoldatos kísérletek.

Rizoboxos kísérleteinkben három különböző koncentrációjú Mo-kezelést alkalmaztunk: 30, 90, 270 mg/kg. A kontroll talajhoz pedig nem adtunk molibdént.

Tápoldatos kísérleteinkben a kezelések a következők voltak: 0,01 μM , 0,1 μM , 1 μM Mo koncentrációk. A kontroll tápoldat nem tartalmazott molibdént.

Az eredményekből egyértelműen látható, hogy a Mo-kezelések hatására, a kukorica csíranövények Mo koncentrációja jelentősen megemelkedett. A kísérleti növények haj-

tásának és gyökerének külön történő vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy a gyökerekben mért Mo-koncentrációk nagyobbak a hajtásban mért értékeknél. Ez arra utal, hogy a gyökerekben, a vizsgált körülmények között a nitrát akkumulációja intenzívebb volt. A molibdénnel ellentétében a kén és a vas koncentrációjának alakulásában nem figyeltünk meg egyértelmű, jelentős növekedést.

Kulcsszavak: molibdén, kukorica, rizobox, tápoldat

The effect of molybdenum supply on maize seedlings

¹É. BÓDI–²L. LÉVAI–³L. HUZSVAI–¹B. KOVÁCS

University of Debrecen, Centre for Agricultural and Applied Economic Sciences

¹Institute for Food Sciences, Quality Assurance and Microbiology, Debrecen

²Institute for Crop Sciences, Department Group of Agricultural Botany and
Crop Physiology, Debrecen

³Institute for Economic Analytical Methodology and Applied Informatics, Debrecen

Summary

Molybdenum is a fundamental trace element in the nutrient supply of crops. The crop physiological importance of molybdenum was revealed in 1940. This element has an important role in the nitrogen metabolism of crops, molybdenum shortage is accompanied by nitrate accumulation.

This research work had a dual aim:

The purpose of these experiments was to examine how Mo, Fe and S concentrations change in maize (*Zea mays L. cv Norma SC*) seedlings as a result of increasing Mo concentration. The reason it was considered to be important to trace the concentrations of these three elements is that they have special roles in nitrate reduction and the functioning of nitrate reductase. Furthermore, these experiments helped to show under laboratory conditions that there is a close correlation between molybdenum supply and nitrate reduction: crops' nitrate content can be reduced while providing their physiological molybdenum need.

These experiments can be classified into the two following groups: rhizobox and nutrient solution experiments.

Three different concentrations of Mo were used in the rhizobox experiments: 30, 90, 270 mg kg⁻¹. No molybdenum was added to the control soil.

The following treatments were used in the nutrient solution experiments: 0.01 μM, 0.1 μM, 1 μM Mo. The control nutrient solution did not contain any molybdenum.

It can be clearly seen from the results that the Mo concentration of maize seedlings significantly increased as a result of Mo treatments. Based on the separate examination of the shoots and roots of the experimental crops, it was established that Mo concentrations measured in the roots are higher than those of the shoots. This phenomenon refers to the fact that nitrate accumulation was more intensive in the roots under the examined conditions. As opposed to molybdenum, no obvious and significant increase was observed in the concentration of sulphur and iron.

Key words: molybdenum, maize, rhizobox, nutrient solution

Влияние снабжения молибденом на всходы кукурузы

¹Е. БОДИ–²Л. ЛЕВАИ–³Л. ХУЖВАИ–¹Б. КОВАЧ

Центр Агро-Экономических Наук Дебреценского Университета

¹Институт Науки о пищевых продуктах, Микробиологии и Обеспечения качества, Дебрецен

²Институт Ботаники, группа Кафедры Сельскохозяйственной Фитологии и Фитофизиологии, Дебрецен

³Институт Прикладной Информатики и Методики анализа экономики, Дебрецен

Резюме

Молибден – основной микроэлемент в обеспечении питательными веществами растений. Его фитофизиологическое значение доказали в 1940 году. Он играет важную роль в обмене веществ азота растения, при его отсутствии можно обнаружить накопление нитрата.

У нашего исследования была двойная цель:

В ходе наших опытов, с одной стороны, мы искали ответ на вопрос, как изменяется концентрация Mo, Fe и S всхода кукурузы (*Zea mays L. cv Norma SC*) в ходе обработок Mo-ом растущей концентрации. Поэтому считали важным отслеживать кон-

центрацию этих трёх элементов, так как эти элементы в редукции нитрата, в действии нитрат-редуктазы играют важную роль. С другой стороны, нашими опытами в лабораторных условиях хотели подтвердить, что есть тесная связь между обеспечением молибденом и редукцией нитрата: обеспечив физиологическую потребность растений в молибдене, можем уменьшить их содержание нитрата.

Наши опыты были двух типов: ризобоксовые и с питательным раствором.

В ризобоксовых опытах мы применяли три обработки Мо-ом различной концентрации: 30, 90, 270 mg/kg. А в контрольную почву не вносили молибден.

В опытах с питательным раствором обработки были следующими: 0,01 μM , 0,1 μM , 1 μM концентрации Мо. Контрольный питательный раствор не содержал молибден.

Результаты однозначно показывают, что под действием обработок Мо-ом, концентрация Мо всходов кукурузы значительно увеличилась. На основании отдельно происходящих исследований побегов и корней опытных растений мы установили, что измеренная концентрация Мо в корнях больше измеренных величин в побеге. Это говорит о том, что в корнях, в условиях исследования аккумуляция нитрата была интенсивнее. В противоположность молибдену в формировании концентрации серы и железа не заметили однозначное, значительное увеличение.

Ключевые слова: молибден, кукуруза, ризобокс, питательный раствор

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A földkéreg 1,0–2,3 mg/kg molibdént tartalmaz. Ha a talajban előforduló mikroelemek mennyiségét összehasonlítjuk egymással, akkor megállapíthatjuk, hogy a molibdén a talajokban csak kis mennyiségben van jelen, ez azonban a legtöbb termesztett növény számára elegendő (Simon 1999). A talajok átlagos molibdén koncentrációja Schulte (2004) megállapítása szerint 0,25–5 mg/kg. A talajban a Mo különböző ásványokban fordul elő, valamint kötött állapotban a vas- és alumínium-hidroxidokhoz kapcsolódva található meg.

Gupta és Lipsett (1981) kutatómunkájuk során rámutattak arra, hogy a talajaink pH-értéke jelentősen befolyásolja a rajtuk termesztett növények molibdén tartalmát.

Talajaink a molibdént 6 pH alatt igen erősen kötik, ezért savanyú talajokon könnyen molibdén-hiány léphet fel (Aubert és Pinta 1977). A Mo-felvétel lúgos kémhatású talajokból lényegesen nagyobb fokú. Ennek az az oka, hogy a mik-

roelemek többségétől eltérően oldhatósága a lúgos talajokban nagyobb, így valószínűleg a szorpciós komplexek molibdenát ionjai fokozottabb mértékben cserélődnek ki a talajoldat OH-ionjaival. A talajoldat OH-ion tartalmának növelése javítja legjobban a Mo felvehetőségét (*Berger és Pratt 1965*).

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 háncsrészben és a szállítóedények parenchimájában található (*Kalocsai és Pogány 2007*).

A növények a Mo-hiányra sokkal érzékenyebbek, mint a molibdén feleslegére. Nem megfelelő Mo-ellátottság esetén csökken a cukortartalom és a fotoszintézis intenzitása, valamint az aszkorbinsav bioszintézise gátolt lesz, így pl. a növényi levelek C-vitamin tartalma a normális érték 1/4-ére is lecsökkenhet. Mo-hiányos növények levélszövegeiben a nitrát akkumulálódik és a növény fehérjetartalma is csökken (*Szabó et al. 1987*).

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. A levelek színe sárgás, gyakori a levélerek közötti klorózis és a levélszélek összepödrödhetnek (*Fülek 1999*).

Az egyes növények Mo-szükséglete eltérő. A pillangós virágú növények (pl. szója, borsó, bab, lucerna) sokkal több molibdént halmoznak fel, mint más fajok és ez különböző koncentrációban van jelen az egyes növényi részekben. *Szalai (2006)* megállapítása szerint a növény náduszaiban és magvaiban sokkal több a molibdén, mint a vegetatív szövetekben. A pillangós virágú növények magasabb molibdén igénye a növények gyökerein lévő gümőbaktériumok jelenlétével van kapcsolatban. Ezeknek a baktériumoknak a nitrogén megkötéséhez a Mo nélkülözhetetlen, ugyanis a nitrogenáz enzim molibdént tartalmaz (*Loch és Nosticzius 1992*).

Egyes növények különösen érzékenyek a Mo-hiányra, ezért indikátornövényként is használhatók. Ilyen indikátornövény pl. a karfiol, a nyári káposzta, a spenót, a saláta és a paradicsom. A karfiolnál a levéllemez a molibdénhiány fokozódásával egyre jobban elkeskenyedik, szélsőséges esetben pedig ostornyélhez válik hasonlónvá. Ez a „whiptail” (ostorfarkúság) nevű hiánybetegség tünete. A kór másik elnevezése a fonallevelűség, mert a hiányt mutató növényeknél a levéllemez felülete nagymértékben csökken és az idősebb leveleken a főér mentén csak kisebb szakadozott levéllemez-maradványok találhatók (*Katyal és Randhawa 1983, Duval et al. 1991*).

A növények megfelelő molibdénellátásának biztosítása nemcsak a különböző hiánytünetek elkerülése miatt szükségszerű, hanem azért is létfontosságú, mert a nitrát-reduktáz enzim kofaktoraként kulcsszerepet tölt be a nitrát-redukcióban, amely során a nitrát, nitritté redukálódik (Berks *et al.* 1995). Molibdén hiányában a nitrát-reduktáz elveszti aktivitását, a nitrát-redukció folyamata lelassul és ez a nitrát felhalmozódását eredményezi.

A molibdén (Mo) a növények és az állatok számára egyaránt létfontosságú elem. Számos enzim, illetve enzimrendszer alkotója, ezáltal hozzájárul a megfelelő sejtműködéshez, fejlődéshez, növekedéshez (Reilly 1991).

A nitrát egészségkárosító hatására először a csecsemők anaemiás megbetegedéséhez, súlyosabb esetben fulladásos halálához vezető methemoglobinémia kialakulása hívta fel a figyelmünket. Methemoglobinémia során a gyomorban nitritté redukálódott nitrát a hemoglobint methemoglobinná alakítja át azáltal, hogy a központi Fe^{2+} iont Fe^{3+} ionná oxidálja, így az képtelenné válik az oxigén szállítására. Methemoglobin alacsony koncentrációban (0,5–3,0%) az egészséges emberek vérkeringésében is előfordul és egészen 10%-ig nem okoz kóros tünetet, de 10% fölött már cianózis alakulhat ki és 25% fölött már pulzusszám növekedést és szapora légzést eredményez (Knowles *et al.* 1989). A methemoglobin 50% feletti koncentrációja a vérben fulladásos halált okozhat. Ez jól mutatja, mennyire fontos, hogy a nitrát-redukcióban kulcsszerepet játszó nitrát-reduktáz működése optimális legyen, amihez viszont a megfelelő mennyiségű molibdén jelenléte nélkülözhetetlen.

Anyag és módszer

Vizsgálatunk tárgyának egy egyszikű (kukorica, *Zea mays L. cv Norma SC*) növényt választottunk, melynél külön vizsgáltuk a hajtás és a gyökér molibdén koncentrációját.

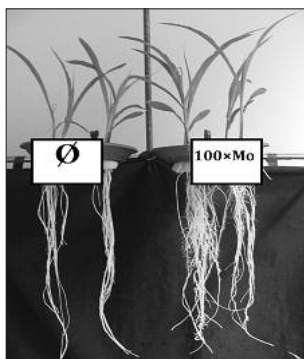
Kutatómunkánk során figyelemmel kísértük azt is, hogy a molibdén mellett hogyan változik a vas és kén koncentrációja, miközben növeljük a Mo-koncentrációt az egyes kezeléseknél, mivel a nitrát-redukcióban kulcsszerepet játszó enzimben, a nitrát-reduktázban, a molibdén mellett a vas (Fe) és a kén (S) is jelen van.

A kukoricánövények nevelését a Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növényteni és Növényélettani Tanszékcsoport Klímaszobájában végeztük, ahol a környezeti feltételek szabályozottak voltak: a relatív páratartalom (RH)

65–75%, a hőmérséklet periodicitása 25/20 °C (nappal/éjjel), a fényintenzitás $220 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra.

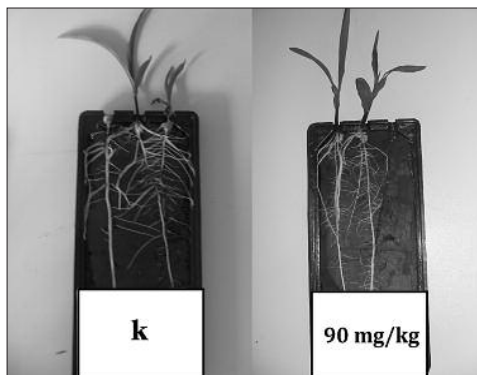
A magvakat, fertőtlenítés után nedves szűrőpapírok között csíráztattuk, geotrópusan stimulálva, 22 °C-on, majd a 2,5–3,0 cm koleoptillal rendelkező csíranövényeket levegőztetett tápoldatra helyeztük, illetve rizoboxban neveltük (1–2. képek).

1. kép. Tápoldaton nevelt kukorica csíranövények
($\emptyset=0 \text{ mg/dm}^3 \text{ Mo}$, $100\times\text{Mo}=1 \mu\text{M} (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$)



Picture 1. Maize seedlings grown in nutrient solution ($\emptyset=0 \text{ mg dm}^{-3} \text{ Mo}$, $100\times\text{Mo}=1 \mu\text{M} (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$)

2. kép. Rizoboxban nevelt kukorica csíranövények
($k=\text{kontroll}$, 90 mg/kg Mo)



Picture 2. Maize seedlings grown in rhizoboxes ($k=\text{control}$, $90 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Mo}$)

Tápanyagot végzett kísérlet

Tápanyagot végzett kísérleteinkben a növények neveléséhez az alábbi összetételű tápanyagot használtuk: 2,0 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,7 mM K_2SO_4 , 0,5 mM MgSO_4 , 0,1 mM KH_2PO_4 , 0,1 mM KCl, 0,1 μM H_3BO_3 , 0,5 μM MnSO_4 , 0,5 μM ZnSO_4 , 0,2 μM CuSO_4 , 0,01 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$. 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 kezeléseket a következők voltak: \emptyset Mo, 1×Mo (0,01 μM), 10×Mo, 100×Mo koncentrációk. Vizsgálatainkat három ismétlésben végeztük el.

A tápanyagot kétnaponta cseréltük és az elpárologott vizet rendszeresen pótoltuk. A tápanyagos kísérlet bontására az ültetést követő 9. napon került sor. A kiértékeléskor a csíranövényeink megközelítőleg 12–12 cm-es hajtással és gyökérrel rendelkeztek.

Rizoboxos kísérlet

A rizoboxos kísérlet előnye, hogy a kukorica 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.

A vizsgálathoz mészeledékes csernozjom talajt használtunk fel, mely a DE AGTC Látóképi Kísérleti Telepéről származott.

A kísérletben alkalmazott talaj összetételének a jellemzői megegyeznek a Nagy *et al.* (2010) kísérletében felhasznált talajával és NPK műtrágyázásra ebben a kísérletben sem került sor. A kontroll (k) kezelésű talajhoz nem adtuk molibdént, a kezeléseknél pedig a hozzáadott molibdén koncentrációk a következők voltak: 30, 90 és 270 mg/kg. A talajhoz adott Mo adagokat az 1. táblázat tartalmazza.

A talaj Mo-kezeléséhez 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 három különböző részből vettünk kb. 10–15 g talajt, és a molibdén koncentrációjának elemzésével ellenőriztük a molibdén kezelés megfelelő kivitelezését.

1. táblázat. *Mészlepedékes csernozjom talaj különböző Mo-kezeléseihez szükséges Mo és $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ mennyiség*

Mo-kezelések (mg/kg) (1)	Talajminta (kg) (2)	Mo (g)	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (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 1. The amount of Mo and $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ needed for the different Mo treatments of of calcareous chernozem soil. (1) Mo treatments (mg kg⁻¹), (2) Soil sample (kg).

A talaj előkészítéséhez 6 mm-es lyukátmérőjű szitát használtunk.

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 nyomkövetését.

Naponta mértük az egyes rizoboxok tömegét, az egyes növények gyökereinek hosszát és a leadott vízmennyiséget szintén naponta pótoltuk.

A kísérlet befejezésekor a tápoldaton és a rizoboxban nevelt kísérleti növények gyökereit 0,1 M-os HCl-val mostuk át, majd a száraz tömeg meghatározásához a mintákat 85 °C-on tömegállandóságig szárítottuk, és szobahőmérsékletre történő visszahűtésük után analitikai mérlegen (OHAUS) mértük.

Szárítószekrényben történő szárítást és homogenizálást követően a növényminták elemtartalmának meghatározásához a Kovács *et al.* (1996) által közölt HNO₃-H₂O₂-os nedves-roncsolásos minta-előkészítési módszert alkalmaztuk. A minták bemért tömege 1 g (± 0,01 g) volt. A mintákat a hozzáadott 10 cm³ cc. HNO₃-val együtt egy éjszakán át állni hagytuk. Másnap a mintákat LABOR MIM OE 718/A típusú blokkroncsoló készülék fűtőegységébe helyeztük. Ezeket a mintákat 45 percig 60 °C-on kellett előroncsolni. A főroncsolás előtt 3 cm³ 30%-os H₂O₂-ot adagoltunk hozzá, majd 90 percig 120 °C-on tartottuk a roncsolmányt. A mintákat lehűlés után 50 cm³-re feltöltöttük ioncserélt vízzel, majd összerázás után FILTRAK 388-as típusú szűrőpapírral szűrtük. A minták feltárásánál roncsolási vakpróbát is készítettünk. Az elemtartalmi mé-

réseket egy OPTIMA 3300 DV típusú induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel (ICP-OES), illetve egy X7-es típusú, Thermo Elemental gyártmányú, induktív csatolású plazma tömeg-spektrométerrel (ICP-MS) végeztük, amelyek beállítási és mérési paraméterei megegyeznek *Puskás-Preszner* és *Kovács* (2009) által alkalmazott paraméterekkel.

A növényminták $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációját FIAstar 5000 Analizátor készülék segítségével határoztuk meg.

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 kukorica csíranövények hajtásainak Mo-koncentrációja viszonylag alacsony volt, a csíranövény eredeti molibdén készletét mutatva. A Mo-kezelések hatására monoton növekedett a hajtások molibdén tartalma, amelyet követett a vas és a kén koncentrációjának mérsékeltebb növekedése is. A vas koncentrációja csak a legmagasabb Mo-koncentráció alkalmazásakor növekedett számottevően. A 2. táblázat adatai alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a kén koncentrációját a hajtásban nem befolyásolja a felvehető Mo mennyisége. Feltételezzük, hogy a levelekben a három vizsgált elem koncentrációja optimális volt, ami nem tette szükségessé a fokozottabb transzportot a gyökérből (2. táblázat).

2. táblázat. *Táppoldaton nevelt kukorica csíranövények hajtásainak Mo, Fe és S koncentrációja (mg/kg) Ø Mo (molibdén nélküli táppoldat), 1×Mo (0,01 µM), 10×Mo és 100×Mo-kezelések esetén*

Mo-kezelések (1)	Mo (***)	Fe (***)	S (nsz)
Ø Mo	2,52	60,9	2049
1×Mo	3,06	57,0	2152
10×Mo	6,08	58,3	2359
100×Mo	20,6	72,2	2367

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

Table 2. The Mo, Fe and S concentrations (mg kg⁻¹) of the shoots of maize seedlings grown in nutrient solution Ø Mo (nutrient solution without molybdenum), 1×Mo (0.01 µM), 10×Mo and 100×Mo treatments. (1) Mo treatments. *** = 0.1% significance level, ns = not significant.

A gyökérben mért koncentrációk eltértek a hajtásban mérttől. Mo-kezelések hatására a gyökerekben mért Mo-koncentráció jelentősen emelkedett. A vas koncentrációja a duplájára növekedett az 1x-es és a 10x-es Mo-szinteken. A százszoros Mo-koncentráció viszont jelentősen csökkentette a vas koncentrációját a gyökérben (3. táblázat).

3. táblázat. *Táppoldaton nevelt kukorica csíranövények gyökereinek Mo, Fe és S koncentrációja (mg/kg) Ø Mo (molibdén nélküli táppoldat), 1×Mo (0,01 µM), 10×Mo és 100×Mo-kezelések esetén*

Mo-kezelések (1)	Mo (***)	Fe (***)	S (nsz)
Ø Mo	5,78	167	4644
1×Mo	7,89	303	4970
10×Mo	17,9	331	5197
100×Mo	66,5	187	5076

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

Table 3. The Mo, Fe and S concentrations (mg kg⁻¹) of the roots of maize seedlings grown in nutrient solution Ø Mo (nutrient solution without molybdenum), 1×Mo (0.01 µM), 10×Mo and 100×Mo treatments. (1) Mo treatments. *** = 0.1% significance level, ns = not significant.

A nitrát redukciója két helyen történhet meg a növényben. A levelekben a redukcióhoz szükséges redukáló erőt a fotoszintézis fényreakciója biztosítja, míg a gyökerekben a légzésből származnak az aktív hidrogén ionok. A gyökerekben mért magasabb molibdén és vas koncentráció arra utal, hogy a kukorica esetében és a vizsgált körülmények között, a gyökerekben intenzívebb a nitrát akkumulációja.

Feltételezésünk szerint összefüggés van a nitrogén-asszimilációban fontos szerepet játszó Mo-szint és a különböző N-formák között a növényben. Feltételezésünk megerősítésére kísérleteket állítottunk be, amelyekben eltérő molibdénellátás mellett vizsgáltuk a nitrát, a nitrít és az ammónia szinteket. Fialat csíra növényeknél a legnagyobb mennyiségben igényelt tápelem a nitrogén. Az intenzív vegetatív növekedés intenzív fehérjeszintézist és fokozott enzim aktivitást igényel.

Mo-hiányos tápoldaton nevelt kukorica csíranövények hajtásaiban a nitrát-reduktáz aktivitását a csíranövény eredetileg is meglévő endogén molibdén készlete determinálja. Ennek megfelelően viszonylag magas a $\text{NO}_3\text{-N}$ szint és alacsony az $\text{NH}_4\text{-N}$ mennyisége. A fiziológiai Mo-igényt kielégítve ($1 \times \text{Mo} = 0,01 \mu\text{M}$) csökkent $\text{NO}_3\text{-N}$ és a molibdénmentes tápoldaton mértnél jóval magasabb $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációt kaptunk. A tízszeres molibdénkezelés hatására jelentősen nőtt a $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyisége, de növekedett a hajtás $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja is. A nitrát redukciója induktív folyamat. Amennyiben a közegben csak $\text{NO}_3\text{-N}$ van jelen, aktiválódik egy nagy affinitású nitrát felvevő rendszer, azaz fokozódik a nitrát membrántranszportja, ami ugyancsak igényli a molibdént. A tízszeres Mo-koncentrációnál mért magas $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentráció ennek az összehangolt mechanizmusnak az eredménye. A százszoros Mo-koncentrációnál mért $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja visszaesett, közel a Mo-mentes értékre (4. táblázat).

A nitrát redukciójának másik lehetséges helye a gyökér. A gyökérben történő nitrátredukció légzéshez kötött, ezért minden olyan környezeti tényező, amely befolyásolja a légzés intenzitását (pl. talaj hőmérséklet), hatással van a légzéshez kötött fiziológiai folyamatokra is. Kísérletünkben ezért folyamatosan ellenőriztük a tápoldat hőmérsékletét (20°C). A gyökerekben jelentős koncentrációjú $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ -t mértünk a molibdén nélküli tápoldaton. Feltételezzük, hogy a nagy affinitású nitrát felvételi mechanizmuson kívül, más, pl. hagyományos, ATP energiájához kötött proton szimporttal is jelentős mennyiségű nitrát juthat át a gyökérszőrök plazmamembránján.

4. táblázat. *Tápoldaton nevelt kukorica csíranövények hajtásainak nitrát-(NO₃-N), nitrit-(NO₂-N) és ammónium-nitrogén (NH₄-N) koncentrációja (mg/kg) Ø Mo (molibdén nélküli tápoladat), 1×Mo (0,01 µM), 10×Mo és 100×Mo-kezelések esetén*

Mo-kezelések (1)	NO ₃ -N (^{nsz})	NO ₂ -N (^{nsz})	NH ₄ -N (***)
Ø Mo	2153	0,59	111
1×Mo	1730	1,06	199
10×Mo	3939	1,42	160
100×Mo	1772	0,73	124

*** = szignifikancia szint 0,1%, ^{nsz} = nem szignifikáns

Table 4. The nitrate (NO₃-N), nitrite (NO₂-N) and ammonium nitrogen (NH₄-N) concentrations (mg kg⁻¹) of the shoots of maize seedlings grown in nutrient solution Ø Mo (nutrient solution without molybdenum), 1×Mo (0.01 µM), 10×Mo and 100×Mo treatments. (1) Mo treatments. *** = 0.1% significance level, ^{ns} = not significant.

A gyökerek magas NH₄-N tartalma a molibdén nélküli tápolaton, összefüggésben lehet azzal, hogy a gyökerek Mo-koncentrációja a molibdén nélküli tápolaton nevelt kukorica csíranövényeknél kétszerese volt a levelekben mért koncentrációhoz viszonyítva, ami hatékony nitrát felvételt és redukciót eredményezett. A gyökerekben a százszoros molibdénkezelés adott kiugró eredményt, ami azt jelentheti, hogy a levelek és a gyökerek Mo-érzékenysége eltérő (5. táblázat).

Az általános lineáris modellel végzett analízisek eredményeit mutatják a 6–8. táblázatok. A molibdén-kezelés és a növényi rész együttesen 90–99%-ban befolyásolta a kukorica csíranövény száraz tömegét, Mo, Fe és S-tartalmát. A molibdén-tartalom alakulásában a molibdén-kezelésnek sokkal nagyobb a hatása, mint a növényi résznek. A másik két elem esetében a növényi rész hatása egy nagyságrenddel nagyobb, mint a molibdénkezelésé. A nitrogénformák közül a molibdénkezelés nem befolyásolta a NO₃-N és NO₂-N tartalmat, legalábbis statisztikailag nem lehetett kimutatni a hatást. Ez azért lehetséges, mert nagy a csoportokon belüli szórás. E két nitrogénforma mennyiségét elsősorban a növényi részek határozzák meg.

5. táblázat. *Tápoldaton nevelt kukorica csíranövények gyökereinek nitrát-(NO₃-N), nitrit-(NO₂-N) és ammónium-nitrogén (NH₄-N) koncentrációja (mg/kg) Ø Mo (molibdén nélküli tápoldat), 1×Mo (0,01 µM), 10×Mo és 100×Mo-kezelések esetén*

Mo-kezelések (1)	NO ₃ -N (^{nsz})	NO ₂ -N (^{nsz})	NH ₄ -N (***)
Ø Mo	4407	2,28	703
1×Mo	4611	2,27	914
10×Mo	4934	2,01	534
100×Mo	5055	2,00	1075±18

*** = szignifikancia szint 0,1%, ^{nsz} = nem szignifikáns

Table 5. The nitrate (NO₃-N), nitrite (NO₂-N) and ammonium nitrogen (NH₄-N) concentrations (mg kg⁻¹) of the roots of maize seedlings grown in nutrient solution Ø Mo (nutrient solution without molybdenum), 1×Mo (0.01 µM), 10×Mo and 100×Mo treatments. (1) Mo treatments. *** = 0.1% significance level, ^{ns} = not significant.

6. táblázat. *Tápoldaton nevelt kukorica csíranövények variancia-analízise, függő változó a növény száraz tömege (g)*

Forrás (1)	Eltérés négyzetösszeg (2)	Szabadság- fok (3)	Variancia (4)	F-érték (5)	Számított szignifikancia (6)
Regresszió (7)	0,124(a)	7	0,018	20,758	0,000
Korrekciós tényező (8)	0,782	1	0,782	919,826	0,000
Növényi rész (9)	0,108	1	0,108	126,600	0,000
Mo-kezelés (10)	0,013	3	0,004	5,124	0,011
Növényi rész *	0,003	3	0,001	1,110	0,374
Mo-kezelés (11)					
Hiba (12)	0,014	16	0,001		
Összesen (13)	0,919	24			
Korrigált összesen (14)	0,137	23			

(a) R-négyzet=0,901 (Korrigált R-négyzet=0,857)

Table 6. Variance analysis of maize seedlings grown in nutrient solution. The dependent variable is the dry mass of crops (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) Vegetation, (10) Mo treatment, (11) Vegetation * Mo treatment, (12) Error, (13) Total, (14) Corrected total. (a) R squared=0.901 (Corrected R squared=0.857).

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

Függő változó (1)	Forrás (2)	Eltérés négyzetösszeg (3)	Szabadságfok (4)	Variancia (5)	F-érték (6)	Számított szignifikancia (7)	
Mo	Regresszió (8)	9577,026(a)	7	1368,147	4298,130	0,000	
	Korrektív tényező (9)	6369,618	1	6369,618	20 010,610	0,000	
	Növényi rész (10)	1624,619	1	1624,619	5103,855	0,000	
	Mo-kezelés (11)	6154,448	3	2051,483	6444,880	0,000	
	Növényi rész * Mo-kezelés (12)	1797,959	3	599,320	1882,805	0,000	
	Hiba (13)	5,093	16	0,318			
	Összesen (14)	15 951,737	24				
	Korrigált összesen (15)	9582,119	23				
	Fe	Regresszió (8)	266 430,698(b)	7	38 061,528	41,821	0,000
		Korrektív tényező (9)	573 566,002	1	573 566,002	630,223	0,000
Növényi rész (10)		205 313,002	1	205 313,002	225,594	0,000	
Mo-kezelés (11)		27 207,348	3	9069,116	9,965	0,001	
Növényi rész * Mo-kezelés (12)		33 910,348	3	11 303,449	12,420	0,000	
Hiba (13)		14 561,600	16	910,100			
Összesen (14)		854 558,300	24				
Korrigált összesen (15)		280 992,298	23				

A 7. táblázat folytatása a következő oldalon...

A 7. táblázat folytatása...

Függő változó (1)	Forrás (2)	Eltérés négyzetösszeg (3)	Szabadság-fok (4)	Variancia (5)	F-érték (6)	Számított szignifikancia (7)
S	Regresszió (8)	45 770 131,167(c)	7	6 538 590,167	58,773	0,000
	Korrektív tényező (9)	311 371 288,167	1	311 371 288,167	2798,826	0,000
	Növényi rész (10)	45 040 120,167	1	45 040 120,167	404,853	0,000
	Mo-kezelés (11)	673 303,500	3	224 434,500	2,017	0,152
	Növényi rész * Mo-kezelés (12)	56 707,500	3	18 902,500	0,170	0,915
	Hiba (13)	1780 010,667	16	111 250,667		
	Összesen (14)	358 921 430,000	24			
	Korrigált összesen (15)	47 550 141,833	23			

(a) R-négyzet=0,999 (Korrigált R-négyzet=0,999), (b) R-négyzet=0,948 (Korrigált R-négyzet=0,926), (c) R-négyzet=0,963 (Korrigált R-négyzet=0,946)
 Table 7. Variance analysis of maize seedlings grown in nutrient solution. The dependent variable is the Mo, Fe and S concentration of crops (mg kg⁻¹). (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) Vegetation, (11) Mo treatment, (12) Vegetation * Mo treatment, (13) Error, (14) Total, (15) Corrected total. (a) R squared=0.999 (Corrected R squared=0.999), (b) R squared=0.948 (Corrected R squared=0.926), (c) R squared=0.963 (Corrected R squared=0.946).

8. táblázat. Táploldaton nevelt kukorica csíranövények variancia-analízise, ahol a függő változó a növény nitrát-(NO₃-N), nitrít-(NO₂-N) és ammónium-nitrogén (NH₄-N) koncentrációja (mg/kg)

Függő változó (1)	Forrás (2)	Eltérés négyzetösszeg (3)	Szabadságfok (4)	Variancia (5)	F-érték (6)	Számított szignifikancia (7)	
NO ₃ -N	Regresszió (8)	43 838 890,101(a)	7	6 262 698,586	9,089	0,000	
	Korrekciós tényező (9)	306 727 900,091	1	306 727 900,091	445,161	0,000	
	Növényi rész (10)	33 228 744,261	1	33 228 744,261	48,226	0,000	
	Mo-kezelés (11)	6 112 858,743	3	2 037 619,581	2,957	0,064	
	Növényi rész * Mo-kezelés (12)	4 497 287,098	3	1 499 095,699	2,176	0,131	
	Hiba (13)	11 024 424,688	16	689 026,543			
	Összesen (14)	361 591 214,881	24				
	Korrigált összesen (15)	54 863 314,789	23				
	NO ₂ -N	Regresszió (8)	9,878(b)	7	1,411	1,595	0,207
		Korrekciós tényező (9)	57,645	1	57,645	65,169	0,000
		Növényi rész (10)	8,431	1	8,431	9,532	0,007
		Mo-kezelés (11)	,523	3	,174	0,197	0,897
		Növényi rész * Mo-kezelés (12)	,923	3	,308	0,348	0,791
		Hiba (13)	14,153	16	,885		
		Összesen (14)	81,675	24			
Korrigált összesen (15)		24,030	23				

A 8. táblázat folytatása a következő oldalon...

A 8. táblázat folytatása...

Függő változó (1)	Forrás (2)	Eltérés négyzetösszeg (3)	Szabadságfok (4)	Variancia (5)	F-érték (6)	Számított szignifikancia (7)
NH ₄ -N	Regresszió (8)	3 115 606,295(c)	7	445 086,614	73,797	0,000
	Korrekciós tényező (9)	5 476 796,106	1	5 476 796,106	908,068	0,000
	Növénnyi rész (10)	2 596 505,005	1	2 596 505,005	430,508	0,000
	Mo-kezelés (11)	258 335,155	3	86 111,718	14,278	0,000
	Növénnyi rész * Mo-kezelés (12)	260 766,134	3	86 922,045	14,412	0,000
	Hiba (13)	96 500,155	16	6031,260		
	Összesen (14)	8 688 902,556	24			
	Korrigált összesen (15)	3 212 106,450	23			

(a) R-négyzet=0,799 (Korrigált R-négyzet=0,711), (b) R-négyzet=0,411 (Korrigált R-négyzet=0,153), (c) R-négyzet=0,970 (Korrigált R-négyzet=0,957)
 Table 8. Variance analysis of maize seedlings grown in nutrient solution. The dependent variable is the nitrate (NO₃-N), nitrite (NO₂-N) and ammonium nitrogen (NH₄-N) concentration of crops (mg kg⁻¹). (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) Vegetation, (11) Mo treatment, (12) Vegetation * Mo treatment, (13) Error, (14) Total, (15) Corrected total. (a) R squared=0,799 (Corrected R squared=0,711), (b) R squared=0,411 (Corrected R squared=0,153), (c) R squared=0,970 (Corrected R squared=0,957).

Az $\text{NH}_4\text{-N}$ mennyiségét a növényi rész és a molibdénkezelés együttesen befolyásolták. Együttes hatásuk 95,7%-ban határozta meg ennek a nitrogénformának a mennyiségét. Azonban itt is sokkal erősebb a növényi rész hatása. Meg kell jegyezni, hogy a $\text{NO}_2\text{-N}$ tartalom statisztikai vizsgálatokor a varianciaanalízis modellje nem volt szignifikáns, az R^2 értéke nagyon alacsony (0,411) volt.

Rizoboxban végzett kísérlet

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

Az *1. ábra* alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a kontrolltalajból a kukorica 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. Hasonló eredményekre jutott *Kádár* (1995) Nagyhorcsökön, mészlepedékes csernozjom talajon beállított mikroelemekkel végzett terhelési kísérlete során. Az általuk beállított Mo-koncentrációk megegyeztek a kísérletünkben alkalmazottakkal és a vizsgálati növényük szintén kukorica volt. Azt tapasztalták, hogy a kukoricánál kiugróan magas Mo-akkumulációt eredményezett a terhelés, viszont a mért Mo-koncentrációknál (kivétel: a kontroll kezelés) csak kismértékű eltérések figyelhetők meg a föld feletti és a földalatti szervekben, ugyanis a gyökérben és a hajtásban mért Mo-koncentrációk hányadosa a kezeléseknél a következők voltak: 10; 1,30; 1,60; 1,26. A kísérletünkben ezek az értékek az alábbiak: 1,17; 2,98; 2,25; 2,07. Ezekből az értékekből kitűnik, hogy a kísérletünkben, a kukorica gyökerében egy intenzívebb koncentrációnövekedés következett be.

A molibdén kezelések hatottak a különböző N-formákra is. A kukorica hajtások $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalma változó, a legalacsonyabb és a legmagasabb Mo-kezeléseknél mértük a legmagasabb értékeket (*9. táblázat*).

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

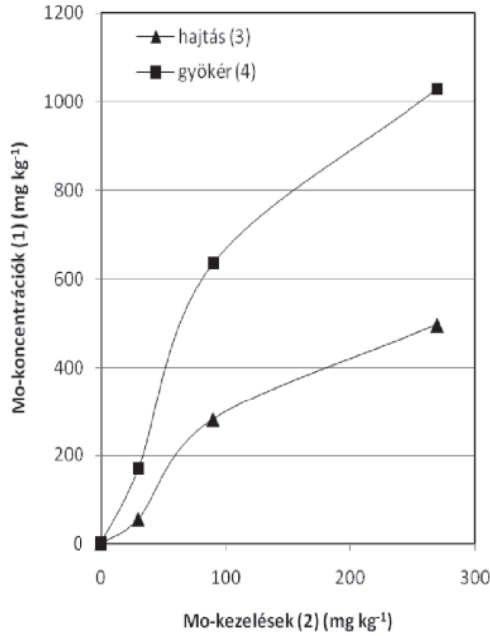


Figure 1. Mo concentration of the shoots and roots of maize seedlings grown in rhizoboxes. (1) Mo concentrations (mg kg⁻¹), (2) Mo treatments (mg kg⁻¹), (3) Shoot, (4) Root.

Összevetve ezeket az eredményeket Kádár *et al.* (2000) méréseivel, különbséget fedezhetünk fel. Kísérletünkben, ammónium-paramolibdenát terhelésnél egyértelmű NO₃-N koncentrációemelkedés következett be. Feltételezése szerint ennek az az oka, hogy az NH₄-formában adott N ekkorra már nitrifikálódott, és ezt az emelkedett kínálatot tükrözheték a levelek. Az NH₄-N koncentrációja nőtt a hajtásokban a növekvő molibdén koncentrációknak megfelelően, ami határozott összefüggést sejtet a Mo-kezelések és a nitrát intenzívebb redukciója között. A gyökerek esetében a Mo-kezelések csökkentették a gyökerek NO₃-N tartalmát, és növelték az NH₄-N koncentrációját, ami a gyökerek intenzív nitrát-reduktáz aktivitását jelenti. A felvett nitrát jelentős része ammóniummá redukálódik, ami viszont glutaminsavhoz kapcsolódva, transzaminálási reakción keresztül részt vesz az aminosavak, és ezáltal a fehérjék szintézisében.

9. táblázat. *Rizoboxos kukorica csíranövények hajtásainak nitrát-(NO₃-N), nitrit-(NO₂-N) és ammónium-nitrogén (NH₄-N) koncentrációja (mg/kg) különböző molibdén-kezelések esetén (mg/kg)*

Mo-kezelések (1)	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N
k	41,5	0,424	237
30	0,736	0,681	331
90	8,44	0,102	308
270	214	1,51	401

Table 9. Nitrate (NO₃-N), nitrite (NO₂-N) and ammonium nitrogen (NH₄-N) concentration of crops (mg kg⁻¹) of the shoots of maize seedlings grown in rhizoboxes in the case of various molybdenum treatments (mg kg⁻¹). (1) Mo treatments.

Az egyértelmű a kísérletek eredményeiből, hogy a Mo-szint és a NO₃-N felvétele, valamint a nitrát redukciója között szoros összefüggés van, azonban az ammónium mért értékei feltehetően alacsonyabbak, mint amire a nitrát-reduktáz aktivitásából következtetni lehetne, az említett lekötődések miatt. A rendszer finoman szabályozott, ugyanis az ammónium nem halmozódhat fel a szövetekben.

A szabad ammónium magas koncentrációja sejtmembránokba (elsősorban mitokondriális) beépülve szétkapcsoló faktorként funkcionál, azaz ATP szintézise nélkül depolarizálja a membránt. Miután a növényeink nem mutattak toxikus tüneteket, feltételezzük, hogy az ammónium megkötéséhez elegendő glutaminsav állt rendelkezésre. Ebből viszont arra következtethetünk, hogy a glutaminsav szénvázata adó citromsavciklus, azaz a légzés dehidrogenáló fázisának ez a szakasza is aktív volt. Mindez intenzív anyagcserére utal, amiben a molibdén szerepe a kísérleteinkben is bizonyított. A hajtásnál tett megállapítások a kukorica gyökereire is igazak. Mindez azt jelenti, hogy a rizoboxos kísérletekben a kukorica gyökereinek és hajtásainak nitrát-reduktáz aktivitása közel azonos intenzitású (10. táblázat).

10. táblázat. *Rizoboxos kukorica csíranövények gyökereinek nitrát-(NO₃-N), nitrit-(NO₂-N) és ammónium-nitrogén (NH₄-N) koncentrációja (mg/kg) különböző molibdén-kezelések esetén (mg/kg)*

Mo-kezelések (1)	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N
k	35,5	0,040	280
30	15,8	0,040	334
90	15,8	0,459	333
270	134	2,84	200

Table 10. Nitrate (NO₃-N), nitrite (NO₂-N) and ammonium nitrogen (NH₄-N) concentration of crops (mg kg⁻¹) of the roots of maize seedlings grown in rhizoboxes in the case of various molybdenum treatments (mg kg⁻¹). (1) Mo treatments.

Következtetések és javaslatok

A tápoldatos kísérleteink során a molibdén nélküli tápoldaton mért Mo-koncentrációk megmutatták, hogy mennyi Mo volt eredetileg a csíranövényekben. Ez az érték a hajtásban alacsonyabb volt, mint a gyökérben. A kísérletnél alkalmazott Mo-kezelések megemelték a csíranövények Mo-koncentrációját, viszont eltérést figyeltünk meg a hajtás és a gyökér koncentrációi növekedésének intenzitásában. A gyökérben intenzívebb koncentrációnövekedést tapasztaltunk. Ez arra utal, hogy a gyökerekben, a vizsgált körülmények között a nitrát akkumulációja intenzívebb volt. A molibdénnel ellentétben a vas és a kén koncentrációjában a legtöbb esetben nem következett be lényeges változás, vagyis a növekvő koncentrációjú Mo-kezelésnek nem volt jelentős befolyásoló hatása ezekre az elemekre.

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 kukorica csíranövény viszonylag csak csekély mennyiségű molibdént vett fel.

A tápoldatos kísérlethez hasonlóan a gyökerekben mért Mo-koncentrációk magasabbak voltak a hajtásban mért értékeknél, és a kén esetében továbbra sem tapasztaltunk lényeges változást. 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.

Egyes esetekben a várásunknak megfelelően a fiziológiai Mo-igényt kielégítve ($1 \times \text{Mo} = 0,01 \mu\text{M}$) csökkent $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációt és a molibdénmentes tápoldatban mértnél jóval nagyobb $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalmat kaptunk. Ez arra utal, hogy a nitrát redukciója sokkal intenzívebb kiegyenlített Mo-ellátás esetén. Kísérleteink során arra is találtunk példát, hogy az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja csak a tízszeres Mo-kezelésig nőtt, majd százszoros Mo-kezelésnél jelentősen visszaesett. Ebben az esetben az alkalmazott Mo-koncentráció már gátolta a nitrát-reduktáz aktivitását.

Kísérletünk során arra a következtetésre jutottunk, hogy szoros összefüggés van a növények molibdénellátása és nitrát-redukciója között, mivel a nitrát-redukció intenzitását alapvetően meghatározza a nitrát-reduktázban jelenlévő molibdén mennyisége. Molibdén hiányában e folyamat lelassul és ez a nitrát felhalmozódását eredményezi, viszont megfelelő molibdénellátással biztosítani tudjuk a levél- és gyökérzöldegeket, de általában a friss, zöld fogyasztású termékek csökkentett nitrát tartalmát. Viszont itt fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy a talaj Mo-koncentrációja mellett a friss zöldegek $\text{NO}_3\text{-N}$ 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 anyagcsere-zavar, 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

- Aubert, H.–Pinta, M.*: 1977. Trace elements in soils. Elsevier Scientific Publishing Company. 55–61.
- Berger, K. C.–Pratt, P. F.*: 1965. Advances in secondary and micronutrient fertilization. [In: McVicka, M. M.–Bridger, G. L.–Nelson, L. B. (eds.) Fertilizer technology and usage.] Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin. USA. 287–340.
- Berks, B. C.–Ferguson, S. J.–Moir, J. W. B.–Richardson, D. J.*: 1995. Biochim. Biophys. Acta–Bioenergetics. 1232: 97.
- 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.
- Duval, L.–More, E.–Sicot, A.*: 1991. Observations on molybdenum deficiency in cauliflower in Brittany. Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France. 78: 27–34.
- Füleky Gy.*: 1999. Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Gupta, U. C.–Lipsett, J.*: 1981. Molybdenum in soils, plants and animals. Adv. Agron. 34: 73–115.
- Kádár I.–Koncz J.–Gulyás F.*: 2000. Mikroelem-terhelés hatása a kukorica összetételére és a talaj könnyen oldható elemtartalmára karbonátos csernozjomon. Agrokémia és Talajtan. 49: 205–220.
- Kádár I.*: 1995. A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. KTM – MTA TAKI. Budapest. 388.
- Kalocsai R.–Pogány É.*: 2007. A molibdén jelentősége, előfordulása a talajban, felvétele. MezőHír. 11: 62.
- Katyal, J. C.–Randhava, N. S.*: 1983. Micronutrients (molybdenum). FAO Fert. Plant Nutr. Bull. 7: 69–76.
- Knowles, R. G.–Palacios, M.–Palmer, R. J. M.–Moncada, S.*: 1989. Formation of nitric oxide from L-arginine in the central nervous system: a transduction mechanism for stimulation of the soluble guanylate cyclase. Proc. Natl. Acad. Sci. 86: 5159–5162.
- Kovács, B.–Győri, Z.–Prokisch, J.–Loch, J.–Dántel, P.*: 1996. A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. Commun. in Soil Science and Plant Analysis. 27. 5–8: 1177–1198.
- Loch, J.–Nosticzius Á.*: 1992. Agrokémia és növényvédelmi kémia. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Nagy K.–Lévai L.–Kovács B.*: 2010. A szelénellátás hatása a kukorica és napraforgó növényekre. Növénytermelés. 59. 1: 61–84.
- Puskás-Preszner A.–Kovács B.*: 2009. Molibdénkezelés hatása szabadföldi kísérletben a növényi felvételre és a talaj molibdén frakcióira. Agrártudományi Közlemények. Debrecen. 36: 117–122.
- Reilly, C.*: 1991. Metal contamination of food. Elsevier Science Publisher Ltd. 225–229.

- Schulte, E. E.*: 2004. Soil and Applied Molybdenum. Understanding Plant Nutrients. Produced by Cooperative Extension Publications. University of Wisconsin. Extension.
- Simon L.*: 1999. Talajszennyeződés, talajtisztítás. Környezetügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató – 5. kötet Környezetgazdálkodási Intézet. Budapest.
- Szabó S. A.–Regiusné Mócsényi 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.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Bódi Éva–Dr. Lévai László–Dr. Huzsvai László–Dr. Kovács Béla
Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032