

Molibdénrel kezelt kukorica és napraforgó növények vizsgálata rizoboxos kísérletben

¹Bódi Éva – ²Veres Szilvia – ¹Andrási Dávid – ¹Farzaneh Garousi – ¹Várallyay Szilvia – ¹Kovács Béla

Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,

¹Élelmiszertudományi Intézet, Debrecen

²Növénytudományi Intézet, Debrecen

bodieva@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen kísérletünkben molibdénrel (Mo) kezelt kukorica (*Zea mays L. cv. Norma SC*) és napraforgó (*Helianthus annuus L. cv. Arena PR*) csíranövényeket állítottunk elő speciális növénynevelő boxokban, úgynevezett rizoboxokban. Kutatásunk során arra kerestük a választ, hogy a kísérletünkben alkalmazott növekvő koncentrációjú Mo-kezelések milyen hatással vannak a kísérleti növények hajtásának, illetve gyökerének száraztömeg produktumára, valamint elemtartalmára (molibdén, vas, kén).

A kísérlethez mészlepedékes csernozjom talajt használtunk fel. A molibdént ammónium-molibdenát $[(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O]$ formájában adtuk a talajhoz és az alkalmazott molibdén koncentrációk a következők voltak: 0 (kontroll), 30, 90 és 270 mg/kg.

Kutatásunk során arra a következtetésre jutottunk, hogy a molibdén kis koncentrációban (30 mg/kg) pozitívan hatott a kukorica és napraforgó csíranövények fejlődésére, azonban a koncentráció növelésével mind a hajtás, mind a gyökér tömege csökkent. Kukorica esetében a legnagyobb (270 mg/kg) Mo-kezelés, míg napraforgó esetében már a 90 mg/kg kezelést szignifikáns csökkenést eredményezett a csíranövények tömegében.

Megállapítottuk ezen kívül, hogy a növekvő koncentrációjú molibdén kezelések hatására a csíranövények molibdén koncentrációja szignifikánsan nőtt a kontrollhoz viszonyítva, azonban az alkalmazott molibdén kezelések a vas és kén koncentrációjára nem minden esetben voltak szignifikáns hatással.

Kulcsszavak: kukorica, napraforgó, száraz tömeg, molibdén, vas, kén

SUMMARY

In this study, maize (*Zea mays L. cv. Norma SC*) and sunflower (*Helianthus annuus L. cv. Arena PR*) seedlings treated by molybdenum (Mo) that were cultivated in special plant growth boxes, known as rhizoboxes. During our research we tried to examine whether increasing molybdenum (Mo) concentration effects on the dry mass and absorption of some elements (molybdenum, iron, sulphur) of shoots and roots of experimental plants.

In this experiment calcareous chernozem soil was used and Mo was supplemented into the soil as ammonium molybdate $[(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O]$ in four different concentrations as follow: 0 (control), 30, 90 and 270 mg kg⁻¹.

In this study we found that molybdenum in small amount (30 mg kg⁻¹) affected positively on growth of maize and sunflower seedlings, however, further increase of Mo content reduced the dry weights of shoots and roots. In case of maize the highest Mo treatment (270 mg kg⁻¹) and in case of sunflower 90 mg kg⁻¹ treatment caused a significant reduction in plant growth.

In addition, we observed that molybdenum levels in seedling were significantly elevated with increasing the concentration of molybdenum treatment in comparison with control but the applied molybdenum treatments did not affect iron and sulphur concentration in all cases significantly.

Keywords: maize, sunflower, dry mass, molybdenum, iron, sulphur

BEVEZETÉS

A molibdén (Mo) a növények számára egy esszenciális mikroelem. Növényélettani jelentősége elsősorban abban rejlik, hogy a nitrogén-anyagcserében részt vevő enzimek fontos alkotója. Egyrészt a nitrogenáz enzim fémkomponenseként hatékonyan részt vesz a légköri nitrogén megkötésében, másrészt a nitrát-reduktáz alkotójaként kulcsszerepe van a nitrát redukcióban, ugyanis nitrát-reduktáz aktivitásához a molibdén jelenléte nélkülözhetetlen. Molibdén hiányában a nitrát redukció folyamata lelassul, és ez a nitrát felhalmozódását eredményezi (Robb és Pierpont, 1983; Yaneva et al., 1996).

A növények molibdén felvétele a talajból molibdenát anion (MoO_4^{2-}) formájában történik. A molibdenát ion felvétele aktív. Nem vándorol a növényben, legnagyobb mennyiségben a hancsrészben és a szállítóedények parenchimájában található (Marschner, 1995; Zimmer és Mendel, 1999).

A molibdén a talajokban csak kis mennyiségben van jelen, ez azonban a legtöbb növény számára elegendő. Molibdénhiány elsősorban homoktalajokra jellemző, illetve savanyú kémhatású talajokon is könnyen molibdénhiány léphet fel, ugyanis talajaink a molibdént 6 pH alatt igen erősen kötik (Severson és Shacklette, 1988; Reddy et al., 1997; Kaiser et al., 2005).

A növények a Mo-hiányra sokkal érzékenyebbek, mint a molibdén feleslegére. A Mo-hiányos növények növekedése lassul, a levelek fakó színűvé válnak és a virágzás is zavart szenved (Agarwala, 1978; Martin et al., 1995). Mo-hiány tünetei legtöbbször a középső és az idősebb leveleken jelentkeznek. A levelek színe sárgás, gyakori a levelek közötti klorózis és a levélszélek összepödrödhetnek (Bambara és Ndakidemi, 2010).

Kutatásunk során arra kerestük a választ, hogy a kísérletünkben alkalmazott növekvő koncentrációjú Mo-kezelések milyen hatással vannak a kísérleti növények (kukorica, napraforgó) hajtásának, illetve gyöke-

rének száraztömeg produktumára, valamint molibdén-koncentrációjára. Emellett fontosnak tartottuk a növények vas és kén koncentrációjának meghatározását is a molibdén-ellátás függvényében, ugyanis a molibdén mellett a vas és a kén, a nitrogén-anyagcserében részt vevő enzimekben szintén jelen van.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Növények nevelése rizoboxokban

Rizoboxos kísérleteinkben – egy- és kétszikű teszt-növényként – kukoricát (*Zea mays* L. cv. Norma SC) és napraforgót (*Helianthus annuus* L. cv. Arena PR) választottunk. Azért tartottuk fontosnak, hogy a kísérleteinket egyszikű és kétszikű növényvel is elvégezzük, mert a két növénytípus tápanyagfelvételében számos különbség van (Marschner et al., 1986).

A kísérlethez a Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Látóképi Kísérleti Telepéről származó mészelepedékes csernozjom talajt használtunk fel. A kontrolltalajhoz nem adtunk molibdént, a kezeléseknél pedig a hozzáadott molibdénkoncentrációk a következők voltak: 30 mg/kg, 90 mg/kg és 270 mg/kg. A molibdént ammónium-molibdenát $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ formájában adtuk a talajhoz. Az oldatok hozzáadásával a szántóföldi vízkapacitás 50 V/V%-ra lett beállítva.

Ezt követően az előkészített talajt műanyagból készült, téglalap alakú növénynevelő boxokba, úgynevezett rizoboxokba helyeztük. E rizoboxok legfontosabb jellegzetessége, hogy az egyik oldaluk átlátszó és ezáltal lehetővé teszik a rizoszféra tanulmányozását. Kísérletünkben 1 cm mély, 255 cm³-es rizoboxokat alkalmaztunk a növények nevelésére.

A kísérletekhez felhasznált magvak felületét 18%-os H₂O₂ oldattal sterilizáltuk, 25 percen keresztül. A fertőtlenített magvakat desztillált vízzel többször öblítettük, majd 10 mM-os CaSO₄ oldatban 4 óráig áztatuk, amely elősegítette a magvak csírázását. A magvakat a klímazobában a felszíni sterilizálást követően függőlegesen állított nedves szűrőpapír tekericsben 24 °C-on csíráztattuk, majd a 2,5–3,0 cm koleoptillal rendelkező csíranövényeket rizoboxokba helyeztük. Egy rizoboxba 3, közel azonos méretű csíranövény került. Az ismétlések száma 5 volt.

A rizoboxokat 45°-ban megdőntve helyeztük el egy speciális rizobox tartó keretben, így a gyökerek a rizobox átlátszó fala mentén növekedtek, amely biztosította a gyökerek növekedésének nyomon követését. Naponta mértük a rizoboxok tömegét és a hiányzó vízmennyiséget (evaporáció, transpiráció) pótoltuk.

A növények nevelésére a Debreceni Egyetem MÉK Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növénytan és Növényélettani Tanszékcsoport klímazobájában került sor, ahol a környezeti tényezők szabályozottak voltak: a fényintenzitás 300 μmol/m²/s, a hőmérséklet periodicitása 25/20 °C (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) 65–75%, a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra.

A rizoboxokba ültetett kukorica növényeket az ültetést követő 6. napon, a napraforgó csíranövényeket az ültetést követő 9. napon értékeltük. A kísérlet befejezésekor a rizoboxban nevelt kísérleti növények gyökereit 0,1 M-os HCl-val mostuk át, majd a száraztömeg

meghatározásához a mintákat 85 °C-on tömegállandóságig szárítottuk, és szobahőmérsékletre történő visszahűtésük után analitikai mérlegen (OHAUS) mértük.

Elemtartalmi vizsgálatok

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 feltárásánál roncsolási vakpróbát is készítettünk. Az elemtartalmi méréseket egy OPTIMA 3300 DV típusú induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel (ICP-OES) végeztük el.

Statistikai módszer

Az eredmények statisztikai kiértékelésére SPSS v.22.0 statisztikai programot alkalmaztunk. A paraméterek és az egyes tényezők közötti összefüggés statisztikai vizsgálatához egytényezős varianciaanalízist és Duncan-tesztet használtunk. A próbákat 5%-os P-érték alatt tekintettük szignifikánsnak.

EREDMÉNYEK

Kukorica és napraforgó csíranövények száraztömege

A kukorica csíranövények hajtásainak és gyökereinek száraz anyag tömegét az 1. táblázatban foglaltuk össze. A táblázat eredményei alapján jól látható, hogy a 30 mg/kg, illetve 90 mg/kg Mo-kezelések kedvezően hatottak a hajtás szárazanyag produktumára. A 30 mg/kg kezelés 12%-kal, a 90 mg/kg kezelés közel 30%-kal növelte a hajtás tömegét a kontrollhoz viszonyítva. A legnagyobb Mo-kezelés azonban már gátolta a hajtás fejlődését.

1. táblázat

Kukorica csíranövény hajtásának és gyökérének száraztömege (g/növény) a molibdén kezelések (30, 90, 270 mg/kg) függvényében (n=5±s.e.)

Kezelések(1)	Hajtás száraztömege(2)	Gyökér száraztömege(3)
Kontroll(4)	0,0238 ^{ab} ±0,0034	0,0400 ^b ±0,0098
30	0,0267 ^{bc} ±0,0046	0,0394 ^b ±0,0103
90	0,0308 ^b ±0,0083	0,0374 ^b ±0,0120
270	0,0210 ^a ±0,0049	0,0305 ^a ±0,0069

Table 1: Dry weight (g plant⁻¹) of maize seedlings shoot and root depending on molybdenum treatments (30, 90, 270 mg kg⁻¹) (n=5±s.e.) Treatments(1), Dry weight of shoot(2), Dry weight of root(3), Control(4)

A gyökér esetében a 30 mg/kg, illetve 90 mg/kg kezelések bár kismértékben csökkentették a gyökér szárazanyag-produktumát, az eredmények között azonban nem mutatható ki szignifikáns különbség. A számértékek azt mutatják, hogy szignifikáns csökkenést csak a legnagyobb kezelés eredményezett.

A napraforgó csíranövények hajtásának és gyökerének száraz tömege eltérő eredményt mutat a kukoricához képest (2. táblázat). Azt tapasztaltuk, hogy a 30 mg/kg Mo-kezelés mind a hajtás mind a gyökér szárazanyag-termékumára pozitívan hatott. A hajtás esetében 14%-os, a gyökérnél 26%-os növekedést mutattunk ki a kontrollhoz képest. Ezzel ellentétben a 90 mg/kg és 270 mg/kg kezelések már gátolták a hajtás és a gyökér tömegének gyarapodását.

2. táblázat

Napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének száraztömege (g/növény) a molibdén kezelések (30, 90, 270 mg/kg) függvényében (n=5±s.e.)

Kezelések(1)	Hajtás száraztömege(2)	Gyökér száraztömege(3)
Kontroll(4)	0,0531 ^b ±0,0112	0,0201 ^c ±0,0069
30	0,0608 ^c ±0,0086	0,0255 ^d ±0,0053
90	0,0379 ^a ±0,0088	0,0156 ^b ±0,0046
270	0,0347 ^a ±0,0058	0,0115 ^a ±0,0028

Table 2: Dry weight (g plant⁻¹) of sunflower seedlings shoot and root depending on molybdenum treatments (30, 90, 270 mg kg⁻¹) (n=5±s.e.)

Treatments(1), Dry weight of shoot(2), Dry weight of root(3), Control(4)

Kukorica és napraforgó csíranövények elem tartalma

A 3. táblázat a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések, kukorica csíranövények molibdén-koncentrációjára gyakorolt hatását mutatja be. A kontrolltalajból a kukorica csíranövény viszonylag csekély mennyiségű molibdént vett fel. A Mo-koncentrációja a hajtásban és a gyökérben is 10 mg/kg alatt volt. A kísérletnél alkalmazott Mo-kezelések hatására szignifikánsan nőtt a hajtások és gyökerek Mo-koncentrációja, azonban a gyökérben mindegyik kezelés esetében magasabb koncentráció-értékeket mértünk. A gyökér Mo-koncentrációja a 30 mg/kg, illetve 90 mg/kg kezelések esetében közel kétszerese, a 270 mg/kg kezelés esetében megközelítőleg háromszorosa volt a hajtás Mo-koncentrációjának.

3. táblázat

Kukorica csíranövény hajtásának és gyökerének molibdén (Mo) koncentrációja (mg/kg) a molibdén kezelések (30, 90, 270 mg/kg) függvényében (n=3±s.e.)

Kezelések(1)	Mo a hajtásban(2)	Mo a gyökérben(3)
Kontroll(4)	<10 ^a	<10 ^a
30	121 ^b ±6	210 ^b ±13
90	287 ^c ±20	573 ^c ±26
270	392 ^d ±5	1082 ^d ±75

Table 3: Molybdenum (Mo) concentration (mg kg⁻¹) of maize seedlings' shoot and root depending on molybdenum treatments (30, 90, 270 mg kg⁻¹) (n=3±s.e.)

Treatments(1), Mo in shoot(2), Mo in root(3), Control(4)

A Mo-koncentrációban bekövetkezett változáson kívül nyomon követtük azt is, hogy az egyes kezelések hogyan hatottak a kukorica csíranövények vas- és kén-tartalmára (4–5. táblázat). A vas esetében azt tapasztal-

taltuk, hogy a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések serkentették a vas felvételét. A vas koncentrációja a hajtásban és a gyökérben is megemelkedett az egyes Mo-kezelések hatására. A kén koncentrációjában csak a gyökér esetében figyelhetünk meg szignifikáns növekedést a kontrollhoz viszonyítva.

4. táblázat

Kukorica csíranövény hajtásának és gyökerének vas (Fe) koncentrációja (mg/kg) a molibdén kezelések (30, 90, 270 mg/kg) függvényében (n=3±s.e.)

Kezelések(1)	Fe a hajtásban(2)	Fe a gyökérben(3)
Kontroll(4)	66,3 ^a ±4,3	1763 ^a ±53
30	121 ^b ±19	2143 ^b ±197
90	146 ^b ±43	2198 ^b ±70
270	179 ^c ±22	1959 ^b ±146

Table 4: Iron (Fe) concentration (mg kg⁻¹) of maize seedlings' shoot and root depending on molybdenum treatments (30, 90, 270 mg kg⁻¹) (n=3±s.e.)

Treatments(1), Fe in shoot(2), Fe in root(3), Control(4)

5. táblázat

Kukorica csíranövény hajtásának és gyökerének kén (S) koncentrációja (mg/kg) a molibdén kezelések (30, 90, 270 mg/kg) függvényében (n=3±s.e.)

Kezelések(1)	S a hajtásban(2)	S a gyökérben(3)
Kontroll(4)	3567 ^b ±38	1521 ^a ±246
30	3426 ^b ±127	2163 ^b ±105
90	2830 ^a ±75	2263 ^b ±52
270	2814 ^a ±16	2025 ^b ±28

Table 5: Sulphur (S) concentration (mg kg⁻¹) of maize seedlings' shoot and root depending on molybdenum treatments (30, 90, 270 mg kg⁻¹) (n=3±s.e.)

Treatments(1), S in shoot(2), S in root(3), Control(4)

A napraforgó csíranövények hajtásainak és gyökereinek Mo-koncentrációját a 6. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatból kitűnik, hogy a napraforgó csíranövények, a kukoricától kissé eltérően reagáltak a Mo-kezelésekre. A hajtások és a gyökerek Mo-koncentrációja nőtt a kezelések hatására, azonban a mért koncentrációk jelentősen meghaladták a kukoricánál mért értékeket. A táblázat alapján az is megállapítható, hogy az alkalmazott legnagyobb Mo-kezelés már kismértékben is gátolta a molibdén felvételét.

6. táblázat

Napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének molibdén (Mo) koncentrációja (mg/kg) a molibdén kezelések (30, 90, 270 mg/kg) függvényében (n=3±s.e.)

Kezelések(1)	Mo a hajtásban(2)	Mo a gyökérben(3)
Kontroll(4)	<10 ^a	<10 ^a
30	409 ^b ±48	683 ^b ±23
90	1350 ^c ±46	1458 ^c ±167
270	1315 ^c ±35	990 ^d ±30

Table 6: Molybdenum (Mo) concentration (mg kg⁻¹) of sunflower seedlings' shoot and root depending on molybdenum treatments (30, 90, 270 mg kg⁻¹) (n=3±s.e.)

Treatments(1), Mo in shoot(2), Mo in root(3), Control(4)

A napraforgó csíranövény vas- és kénkoncentrációjának változását a Mo-kezelés függvényében a 7–8. táblázat tartalmazza.

7. táblázat

Napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének vas (Fe) koncentrációja (mg/kg) a molibdén kezelések (30, 90, 270 mg/kg) függvényében (n=3±s.e.)		
Kezelések(1)	Fe a hajtásban(2)	Fe a gyökérben(3)
Kontroll(4)	31,9 ^a ±1,1	5672 ^d ±60
30	56,3 ^b ±0,2	4917 ^b ±26
90	63,1 ^b ±8,3	5351 ^c ±105
270	33,8 ^a ±7,6	3193 ^a ±56

Table 7: Iron (Fe) concentration (mg kg⁻¹) of sunflower seedlings' shoot and root depending on molybdenum treatments (30, 90, 270 mg kg⁻¹) (n=3±s.e.)

Treatments(1), Fe in shoot(2), Fe in root(3), Control(4)

8. táblázat

Napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének kén (S) koncentrációja (mg/kg) a molibdén kezelések (30, 90, 270 mg/kg) függvényében (n=3±s.e.)

Kezelések(1)	S a hajtásban(2)	S a gyökérben(3)
Kontroll(4)	3708 ^b ±148	2565 ^c ±25
30	4377 ^c ±133	2532 ^c ±168
90	4051 ^{bc} ±81	1675 ^b ±13
270	2975 ^a ±88	1204 ^a ±14

Table 8: Sulphur (S) concentration (mg kg⁻¹) of sunflower seedlings' shoot and root depending on molybdenum treatments (30, 90, 270 mg kg⁻¹) (n=3±s.e.)

Treatments(1), S in shoot(2), S in root(3), Control(4)

A vas és kén koncentrációja a hajtásban 30 mg/kg és 90 mg/kg kezelések hatására nőtt a kontrollhoz viszonyítva, azonban a legnagyobb kezelés esetében visszaesett. A gyökér esetében azt tapasztaltuk, hogy a vas- és kénkoncentráció értékei minden esetben kontroll alatti értékek voltak.

IRODALOM

- Agarwala S. C. (1978): Effect of molybdenum deficiency on the growth and metabolism of corn plants raised in sand culture. *Canadian Journal of Botany*. 56: 1905–1908.
- Bambara, S.–Ndakidemi, P. A. (2010): The potential roles of lime and molybdenum on the growth, nitrogen fixation and assimilation of metabolites in nodulated legume: A special reference to *Phaseolus vulgaris* L. *African Journal of Biotechnology*. 8: 2482–2489.
- Kaiser, B. N.–Gridley, K. L.–Brady, J. N.–Phillips, T.–Tyerman, S. D. (2005): The role of molybdenum in agricultural plant production. *Annals of Botany*. 96: 745–754.
- Kovács, B.–Győri, Z.–Prokisch, J.–Loch, J.–Dániel, P. (1996): A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 27. 5–8: 1177–1198.
- Marschner, H. (1995): Mineral nutrition in higher plants. 2nd Edition. Academic Press. London.
- Marschner, H.–Römheld, V.–Kissel, M. (1986): Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *Journal of Plant Nutrition*. 9: 695–713.
- Martin, S.–Saco, D.–Alvarez, M. (1995): Nitrogen metabolism in *Nicotiana rustica* L. grown with molybdenum: II. Flowering stage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 26: 1733–1747.
- Reddy, K. J.–Munn, L. C.–Wang, L. (1997): Chemistry and mineralogy of molybdenum in soils. [In: Gupta, U. C. (ed.) Molybdenum in agriculture.] Cambridge University Press. Cambridge.
- Robb, D. A.–Pierpoint, W. S. (1983): Metals and micronutrients: uptake and utilization by plants. Academic Press.
- Yaneva, I.–Mack, G.–Vunkova Radeva, R.–Tischner, R. (1996): Changes in nitrate reductase activity and the protective effect of molybdenum during cold stress in winter wheat grown on acid soil. *Journal of Plant Physiology*. 149: 211–216.
- Severson, R. C.–Shacklette, H. T. (1988): Essential elements and soil amendments for plants: sources and use for agriculture. U.S. Geological survey circular. 1017.
- Zimmer, W.–Mendel, R. (1999): Molybdenum metabolism in plants. *Plant Biology*. 1: 160–168.