

DEBRECENI EGYETEM

HANKÓCZY JENŐ DOKTORI ISKOLA

Témavezető:

Dr. Kovács Béla
egyetemi tanár

**NÖVÉNYEK MOLIBDÉN KEZELÉSE ÉS HATÁSVIZSGÁLATA A
NÖVEKEDÉSI PARAMÉTEREKRE ÉS A TÁPELEMFELVÉTELRE**

Készítette:

Bacskainé Bódi Éva
doktorjelölt

Debrecen
2017

NÖVÉNYEK MOLIBDÉN KEZELÉSE ÉS HATÁSVIZSGÁLATA A NÖVEKEDÉSI PARAMÉTEREKRE ÉS A TÁPELEMFELVÉTELRE

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
az Élelmiszertudományok tudományágban

Írta: Bacskainé Bódi Éva, okleveles élelmiszerbiztonsági és -minőségi mérnök

Készült a Debreceni Egyetem, Hankóczy Jenő Doktori Iskolája
(Élelmiszeralitika, élelmiszerbiztonság programja) keretében

Témavezető: Dr. Kovács Béla, egyetemi tanár

A doktori szigorlati bizottság:

	név	fokozat	aláírás
elnök:			
tagok:			
			

A doktori szigorlat időpontja: 20...

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
.....		
.....		
.....		

A bírálóbizottság:

	név	fokozat	aláírás
elnök:			
tagok:			
			
			
titkár:			

Az értekezés védésének időpontja: 20...

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	5
2. CÉLKITŰZÉSEK.....	7
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	9
3.1. A molibdén általános jellemzése, előfordulása, felhasználása.....	9
3.2. A molibdén előfordulása a talajban.....	9
3.3. A molibdén növényélettani jelentősége	12
3.3.1. A molibdén esszenciális szerepének feltérképezése	12
3.3.2. A molibdén, mint fontos enzimalkotó.....	13
3.3.2.1. Nitrogenáz enzim jelentősége.....	14
3.3.2.2. Nitrát-reduktáz enzim jelentősége	18
3.3.2.3. Egyéb molibdén tartalmú enzimek	22
3.3.3. A növények molibdén felvételére ható tényezők, a molibdénhiány tünetei.....	23
3.3.4. Az optimális molibdén ellátottság kedvező hatásai a növények fejlődésére.....	27
3.3.5. A molibdén felesleg hatása a növények fejlődésére	29
3.3.6. A molibdén hatása a növények makroelem felvételére.....	30
3.3.7. A molibdén hatása a növények mikroelem felvételére	31
3.4. Élelmiszereink molibdén tartalma.....	34
3.5. A molibdén szerepe az emberi szervezetben	36
4. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	39
4.1. Beállított kísérletek	39
4.1.1. Tápoldatos kísérlet	39
4.1.2. Rizoboxos kísérlet.....	41
4.1.3. Tenyészedényes kísérlet	43
4.2. Az alkalmazott mintaelőkészítési és mérési módszerek	47
4.2.1. Talajminták vizsgálata	47
4.2.1.1. A talajminták oldható molibdéntartalmának meghatározása	47
4.2.1.2. A talajminták összes elemtartalmának meghatározása.....	48
4.2.2. Növényminták vizsgálata	48
4.2.2.1. A növényminták szárazanyag-tartalmának meghatározása.....	48
4.2.2.2. A gyökérnövekedés meghatározása a rizoboxos kísérlet során....	49
4.2.2.3. A növényminták összes elemtartalmának meghatározása.....	49
4.2.2.4. A növények által felvett molibdén mennyiség meghatározása	50
4.2.2.5. A növényminták NO ₃ -N és NH ₄ -N tartalmának meghatározása..	50
4.2.3. Az analitikai vizsgálatok során alkalmazott készülékek	51
4.2.3.1. Minták elemtartalmának meghatározása ICP-OES technikával...	51
4.2.3.2. Minták elemtartalmának meghatározása ICP-MS technikával	51
4.2.3.3. A növényminták NO ₃ -N és NH ₄ -N tartalmának meghatározása FIAstar Analizátor készülékkel	52
4.3. A kísérleti eredmények statisztikai értékelése	53
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELESÜK	54
5.1. Tápoldatos kísérlet eredményei.....	54
5.1.1. Tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó növények száraz tömegének változása a molibdén kezelések függvényében	54
5.1.2. Tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó növények molibdén koncentrációja a molibdén kezelések függvényében	56
5.1.3. Tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó növények foszfor és kén felvétele a molibdén kezelések függvényében	58

5.1.4. Tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó növények mikroelem felvétele a molibdén kezelések függvényében	60
5.1.5. Tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó növények NO ₃ -N és NH ₄ -N koncentrációjának változása a molibdén kezelések függvényében	61
5.2. Rizoboxos kísérlet eredményei	62
5.2.1. Rizoboxos kísérlet talajeredményei.....	62
5.2.2. Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó növények száraz tömegének változása a molibdén kezelések függvényében	64
5.2.3. Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó növények gyökérnövekedése a molibdén kezelések függvényében	66
5.2.4. Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó növények molibdén koncentrációja a molibdén kezelések függvényében	69
5.2.5. Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó növények foszfor és kén felvétele a molibdén kezelések függvényében	72
5.2.6. Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó növények mikroelem felvétele a molibdén kezelések függvényében	74
5.2.7. Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó növények NO ₃ -N és NH ₄ -N koncentrációjának változása a molibdén kezelések függvényében	75
5.3. Tenyészedényes kísérlet.....	77
5.3.1. Tenyészedényes kísérlet talajvizsgálati eredményei.....	77
5.3.2. Tenyészedényekben nevelt borsó növények száraz tömegének változása a molibdén kezelések függvényében	81
5.3.3. Tenyészedényekben nevelt borsó növények molibdén koncentrációja a molibdén kezelések függvényében	87
5.3.3.1. Látóképi mészeledékes csernozjom talajon nevelt borsó növények molibdén koncentrációja a molibdén kezelések függvényében	87
5.3.3.2. Pallagi humuszos homoktalajon nevelt borsó növények molibdén koncentrációja a molibdén kezelések függvényében.....	92
5.3.3.3. Nyíregyházi humuszos homoktalajon nevelt borsó növények molibdén koncentrációja a molibdén kezelések függvényében	96
5.3.4. Tenyészedényekben nevelt zöldborsó növények foszfor és kén felvétele a molibdén kezelések függvényében	100
5.3.5. Tenyészedényekben nevelt zöldborsó növények mikroelem felvétele a molibdén kezelések függvényében	102
5.3.6. Tenyészedényekben nevelt borsó növények NO ₃ -N és NH ₄ -N koncentrációjának változása a molibdén kezelések függvényében	107
6. KÖVETKEZTETÉSEK.....	112
6.1. Talajminták vizsgálati eredményeiből levont következtetések	112
6.2. Növéyminták vizsgálati eredményeiből levont következtetések	113
7. ÖSSZEFOGLALÁS.....	119
8. SUMMARY	124
9. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	129
10. GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ...	131
IRODALOMJEGYZÉK	132
KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS.....	151
PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN.....	152
NYILATKOZAT	163

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évszázadban a mezőgazdasági, kommunális és ipari tevékenység hatására a környezetbe juttatott szennyező anyagok koncentrációja ugrásszerűen megemelkedett. A kibocsátott szennyező anyagok közül komoly figyelmet érdemelnek a mikroelemek és a toxikus nehézfémek felhalmozódása, hiszen a termőtalajok, felszíni és felszín alatti vizek nehézfémekkel történő szennyezése súlyos környezeti károkat okozhat és veszélyeztetheti az élőlények egészségét (Csathó, 1994; Kádár, 1995).

Simon (1999) a komoly környezeti problémákat okozó mikroelemekhez az ólmot (Pb), a kadmiumot (Cd), az alumíniumot (Al), a cinket (Zn), a rézet (Cu), a nikkelt (Ni), valamint a higanyt (Hg) sorolja. Kádár (1995) megállapítása szerint azonban a hazai termőhelyeink jelentős részén a legveszélyesebb talajszennyezőknek nem az ismertebb nehézfémek kationjai tekinthetők (Pb, Cd, Hg, Cu, Zn) hanem a mobilis és/vagy toxikus anion formák, mint például az arzenát, kromát, szelenát, illetve a molibdenát.

Kádár továbbá megjegyzi (2012), hogy a talajok Mo szennyezése kiemelten veszélyes, ugyanis a Mo extrém módon, 2-3 nagyságrendben is képes akkumulálódni az egyes növényi részekben. Az akkumuláció hatására azonban a növények nem károsodtak, nem mutattak fitotoxicitást, a termés mennyiségében nem okozott szignifikáns csökkenést, a termés azonban állati vagy emberi fogyasztásra már nem volt alkalmas. Az 5 mg kg^{-1} feletti Mo-koncentráció már károsnak tekinthető, ugyanis Cu-hiányt okozhat, míg az extrém Mo-túlsúly Mo-toxikózist eredményezhet (Pais, 1980).

A talaj Mo tartalmának növekedése természetes és antropogén hatásokra vezethető vissza. Azonban Szabó (2000) arra hívja fel a figyelmünket, hogy antropogén kibocsátás többszöröse a természetes eredetű szennyezéseknek. Feljegyzése szerint az antropogén emisszió évente átlagosan 510 ezer tonna, míg a természetes eredetű csupán 11 ezer tonna, évente.

A természetes, geokémia úton történő Mo dúsulást a talajképző kőzetek és ásványok Mo tartalma okozhatja, melyek mállás során kerülnek a talajba. Ez az ún. geokémiai szennyeződés (Csathó, 1994). Az antropogén Mo szennyeződésért pedig elsősorban fokozódó ipari termelés (vegyipar, elektronikai ipar), valamint a mezőgazdasági tevékenység (műtrágyák és szerves trágyák, szennyvíziszapok) tehető felelőssé. Alloway (1995), valamint Kabata-Pendias és Adriano (1995) feljegyzése szerint a talajok Mo szennyeződésének legfontosabb mezőgazdasági forrásai a következők: szennyvíz-iszapok ($1\text{-}40 \text{ mg kg}^{-1}$), foszfor-műtrágyák ($0,1\text{-}60 \text{ mg kg}^{-1}$), nitrogén-

műtrágyák ($1\text{-}7\text{ mg kg}^{-1}$), istálló-trágyák ($0,05\text{-}3\text{ mg kg}^{-1}$) és a meszező anyagok ($0,1\text{-}15\text{ mg kg}^{-1}$).

A molibdén azonban az ún. esszenciális nehézfémek csoportjába tartozik. Ez azt jelenti, hogy kis mennyiségben nélkülözhetetlen az élő szervezetek zavartalan működéséhez. Növényélettani jelentősége elsősorban abban rejlik, hogy a nitrogén-anyagcserében részt vevő enzimek fontos fémkomponense. Egyrészt a nitrogenáz enzim részeként fontos szerepet játszik légköri nitrogén megkötésében, másrészt a nitrát-reduktáz alkotójaként kulcsszerepe van a nitrát redukcióban, ugyanis nitrát-reduktáz aktivitásához a molibdén jelenléte létfontosságú (Srivastava, 1997). A molibdén továbbá jelen van a xantin-dehidrogenázban, az aldehid-oxidázban, valamint a szulfit-oxidázban is (Zimmer és Mendel, 1998).

A növények molibdén igénye azonban rendkívül alacsony. A tápelemek közül a molibdént veszik fel a legkisebb mennyiségben és a szárazanyag Mo tartalma szennyezetlen területeken általában nem haladja meg az 1 mg kg^{-1} értéket (Szabó et al., 1987). Nagy mésztartalmú, lúgos kémhatású talajokon, illetve ártéri területeken viszont extrém nagy koncentrációban is képesek akkumulálni ezt a mikroelemet és a toxikus hatás sok esetben csak igen nagy koncentrációnál jelentkezik (Anke és Seifert, 2007).

2. CÉLKITŰZÉSEK

Doktori munkám keretében növekvő koncentrációjú molibdén kezelések hatását tanulmányoztam tápoldat-növény és talaj-növény rendszerben. Vizsgálataim tárgyát a tápoldatos, a rizoboxos, valamint tenyészedényes kísérletek növény- és talajmintái képezték.

Talajvizsgálataim során célkitűzésem volt annak meghatározása, hogy a talaj összes molibdén tartalmának hány százaléka hasznosítható a növények számára (oldható Mo-tartalom), illetve annak megállapítása, hogy az alkalmazott molibdén mozog-e a talajban, vagyis a kísérleti növények (zöldborsó) naponkénti öntözése okozott-e Mo lemosódást a talajban, különböző talajtípusok esetén.

A növényminták vizsgálata során pedig az alábbi kérdések megválaszolását tűztem ki célul:

- Milyen hatással van a molibdénellátás az egyes növényi részek száraztömeg produktumára?
- Mennyi az a kijuttatott molibdén mennyiség, amely még kedvezően hat a növények terméshozamára?
- Van-e toxikus hatása a molibdénnek a vizsgált koncentráció tartományban?
- Milyen hatással van a molibdénellátás a kezdeti gyökérnövekedés intenzitására?
- A Mo-kezelések, hogyan hatnak az egyes növényi részek molibdén tartalmára és a molibdén mely növényi részben akkumulálódik leginkább?
- Megfigyelhető-e különbség az egyszikű és kétszikű növények molibdén felvételében?
- A kísérleti növények mennyi molibdént vesznek fel a növekvő koncentrációjú molibdént tartalmazó tápoldatokból és a talajokból, valamint a felvett Mo milyen arányban oszlik meg az egyes növényi részek között?
- Az alkalmazott Mo-kezelések, hogyan befolyásolják a növények makroelem, illetve mikroelem készletét?
- Kimutatható-e szinergista, vagy antagonista kapcsolat a Mo és a vizsgált makro- és mikroelemek között?
- A növekvő koncentrációjú Mo-kezelések, hogyan befolyásolják a kísérleti növények egyes növényi részeinek $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációját?

- A molibdén kezelések hozzájárulnak-e a termés $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációjának a csökkenéséhez, amely humánegészségügyi szempontból is egy kívánatos cél?

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. A molibdén általános jellemzése, előfordulása, felhasználása

A molibdén ezüstfehér színű, átmeneti fém, vegyjele: Mo. A periódusos rendszerben a krómcsoporthoz, azaz a VI.a. csoportba sorolt mikroelem. Rendszáma 42, móltömege $95,94 \text{ g mol}^{-1}$. Kemény, magas olvadáspontú fém (Barceloux, 1999; Reilly, 2002).

Elemi állapotban nem található meg a természetben, vegyületeiben 2, 3, 4 és 6 vegyértékkal fordul elő. Vegyületeiben, bár a kation-formák is ismeretesek, általában molibdát-anionként szerepel, melyben az oxidációs állapota +6. A molibdénnek 35 izotópja ismert, amelyek közül 7 stabil: ^{92}Mo , ^{94}Mo , ^{95}Mo , ^{96}Mo , ^{97}Mo , ^{98}Mo , ^{100}Mo . A leggyakoribb izotópja a ^{98}Mo , mely a Földön előforduló molibdén 24,14%-át alkotja (Berglund és Wieser, 2011).

Csak kis mennyiségben van jelen a környezetünkben. A gyakorisági sorrendben 41. Átlagos előfordulási aránya az édesvizekben $0,5 \mu\text{g dm}^{-3}$, a tengervízben $10 \mu\text{g dm}^{-3}$, a litoszférában $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$, a talajokban $0,5$ és $3,0 \text{ mg kg}^{-1}$ érték között változik (Szabó et al., 1987).

A molibdén ipari alkalmazása széleskörű. A molibdén termelés több mint 75%-át a vas- és acélgyártásban használják fel. Az acéliparban a molibdén fontos ötvöző elem, mivel előnyösen változtatja meg az acél tulajdonságait. A molibdén tartalmú acélok kemények, nagy szilárdságúak, korrózióállóak. A molibdént felhasználják továbbá katalizátorok, festék pigmentek, korróziógátlók, füst- és égésgátló anyagok, kémiai reagensek, valamint kenőanyagok előállítására is. Mivel magas olvadásponttal rendelkezik, ezért kiválóan alkalmas villanykörték izzószálainak készítésére (Evans és Barabash, 2010; Hall, 2007; Takács, 1992; Anke, 2004). A molibdén ezenkívül gyógyászati készítmények és mezőgazdasági termékek komponense is (Reilly, 2002).

3.2. A molibdén előfordulása a talajban

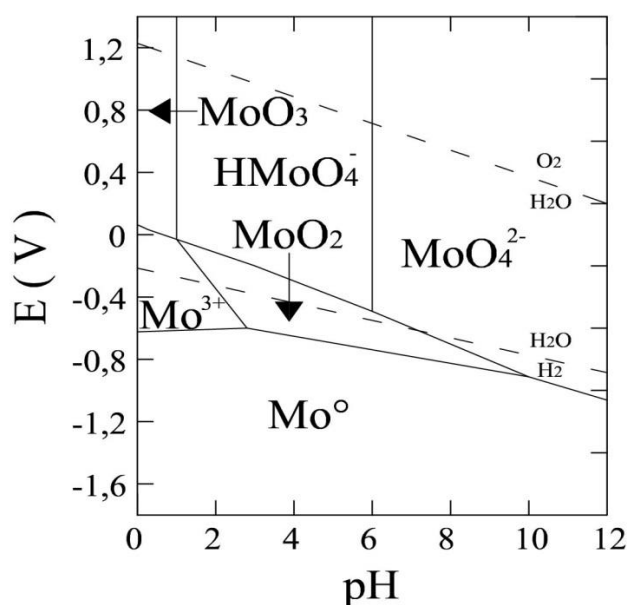
A molibdén a legtöbb mikroelemhez képest csekély mennyiségben van jelen a talajokban. A földkéreg átlagos molibdén koncentrációja $1,2 \text{ mg kg}^{-1}$. Kabata-Pendias és Mukherjee (2007) feljegyzése szerint vulkáni kőzetekben a Mo átlagos koncentrációja a kőzet típusától függően $0,2$ és 2 mg kg^{-1} tartományban mozog, az agyagos kőzetek $2-2,5 \text{ mg kg}^{-1}$, a karbonátok $0,2-0,4 \text{ mg kg}^{-1}$, a homokkővek $0,2-0,8 \text{ mg kg}^{-1}$ molibdén tartalommal

rendelkeznek. A molibdén nagyobb koncentrációban van jelen a réztartalmú és a bitumenes palákban, ugyanis a koncentrációjuk ezekben akár a 200 mg kg^{-1} -ot is elérheti (Pasiieczna, 2012).

A molibdén átlagos koncentrációja a világ talajaiban $1\text{-}2 \text{ mg kg}^{-1}$, viszont mennyisége talajtípusonként eltérést mutat (Barceloux, 1999). Kabata-Pendias és Mukherjee (2007) megállapítása szerint a homoktalajok molibdén tartalma $1,3 \text{ mg kg}^{-1}$, meszes talajoké $2,8 \text{ mg kg}^{-1}$. Európai altalajok molibdén tartalma De Vos és Tarvainen (2006) szerint széles intervallumban változik ($0,1\text{-}17,2 \text{ mg kg}^{-1}$).

Hazánk talajainak Mo koncentrációja $0,3\text{-}4,0 \text{ mg kg}^{-1}$. A legkisebb a homoktalajoknak a molibdén-tartalma ($0,34\text{-}0,50 \text{ mg kg}^{-1}$). Az ásványi talajok molibdén-tartalma 1 mg kg^{-1} alatti, az erdőtalajok összes Mo-tartalma pedig széles intervallumban mozog ($0,25\text{-}1,0 \text{ mg kg}^{-1}$) hasonlóan a csernozjom talajokhoz ($0,31\text{-}1,48 \text{ mg kg}^{-1}$). A talajok alacsony Mo-tartalma alól kivételt képeznek a rosszul szellőző hidromorf, vagyis a réti- és láptalajok. A láptalajok Mo tartalma akár a 4 mg kg^{-1} -ot is elérheti (Győri, 1984; Ráthonyi et al., 2010). Reddy et al. (1997) megállapítása szerint a molibdén a talajainkban négy különböző formában fordulhat elő: 1) vízzoldható formában, a talajoldatban, 2) kötött állapotban vas- és alumínium-oxidokhoz kapcsolódva, 3) ásványokban (molibdenit, wulfenit, powellit), 4) szerves kötésben.

A talajoldatban, vízzoldható formában jelenlévő molibdén megjelenési formáját és felvehetőségét elsősorban a talaj kémhatása határozza meg (1. ábra), (Osman, 2013).



1. ábra: A molibdén megjelenési formái a pH-tól és az elektródpotenciáltól függően (Saji és Lee, 2012)

Smith et al. (1997) arról számoltak be, hogy 4,23 pH érték alatt, a talaj pH értékének csökkenésével párhuzamosan, csökkenő mennyiségi sorrendben az alábbi molibdén formák vannak jelen a talajban: $\text{MoO}_4^- > \text{HMoO}_4^- > \text{H}_2\text{MoO}_4^0 > \text{MoO}_2(\text{OH})^+ > \text{MoO}_2^{2+}$. 4,23 pH érték felett viszont a molibdén jelentős része már molibdenát (MoO_4^{2-}) anionként található meg a talajban. Mivel a növények a molibdént molibdenát anion (MoO_4^{2-}) formájában veszik fel (Mengel és Kirkby, 1987), ezért a talajaink pH értékének növelésével serkenteni tudjuk Mo felvételüket. Például Lindsay (1972) megállapítása szerint 5 pH érték felett, ha a talaj pH értéke egy egységgel nő, a felvehető MoO_4^{2-} koncentrációja százszorosára emelkedik. Ebből adódóan savanyú talajaink meszezése általában elegendő a molibdén hiány leküzdésére (Bittner, 2014), azonban egyes esetekben a talajok meszezése mellett molibdén kiegészítésre is szükség van (Zimmer és Mendel, 1999). Gupta (1997a) ugyanis arról számolt be, hogy agyagos talajon nevelt káposzta, lucerna, rozsnok esetében a talaj pH értékének 5,0-ról 6,5-re történő emelése serkentette a növények Mo akkumulációját, viszont homoktalaj esetében a meszezés nem volt jelentős hatással a Mo felvételükre.

Savanyú talajokban a molibdén jelentős mennyisége vas- és alumínium-oxidokhoz kapcsolódva található meg (Bibak és Borggard, 1994; Goldberg és Forster, 1998). A Fe- és Al-oxidok amfoter kolloidok, savas közegben pozitív töltésűek, és anionmegkötésre képesek, a lúgos közeg pedig kationfelvételt tesz lehetővé számukra. Savanyú talajok esetében a növények számára felvehető molibdén mennyisége csekély, mivel a pH 2 és 4 között a vas- és alumínium-oxidok ligandumcsere által (OH^- ligandumok kiszorításával) erős kötésben tartják a molibdenát aniont. Az adszorpció mértéke pH 4-nél a legerősebb (Ferreiro et al., 1985; Goldberg et al., 1996). Az adszorpció eredményeként, savanyú talajoknál a talajoldatban található molibdén mennyisége jelentősen lecsökken. Például Tanner (1978) megállapította, hogy a homokos agyag talajok esetében a molibdén adszorpciós kapacitása $6 \mu\text{g g}^{-1}$ -ról, $267 \mu\text{g g}^{-1}$ -ra emelkedett, a pH érték 5,85-ről 4,40-ra történő csökkentésével. Lúgos talajoknál az adszorpció viszont már gyenge, a molibdén jelentős része a talajoldatban van jelen, így a Mo-felvétel lúgos kémhatású talajokból lényegesen nagyobb fokú (Reisenauer et al., 1962; Marks et al., 2015). A molibdén vas- és alumínium-oxidokhoz való kötődésének erősségében viszont eltérés figyelhető meg. Goldberg et al. (1996) feljegyzései szerint a molibdén adszorpciója az alumínium-oxidok felületéhez sokkal gyengébb. E különbség ellenére azonban az Al-oxidok is fontos szerepet játszanak a molibdén megkötésében,

ugyanis Srivastava és Gupta (1996) megállapítása szerint montmorillonit agyagásvány adszorpciós kapacitása növekszik Al-hidroxid polimerek jelenlétében.

A talajban a Mo különböző ásványokban is előfordul. Az ásványok közül a legfontosabb molibdén forrás a molibdenit (MoS_2), de a powellit (CaMoO_4), a wulfenit (PbMoO_4), az ilsemanit (Mo_3O_8) és a ferrimolibdit ($\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$) is tartalmaz molibdént (Pau, 2005; Sharma és Chatterjee, 1997; Xu et al., 2013; Sarkar, 2002). A molibdén ezenkívül az agyagásványokon adszorbeált állapotban is előfordulhat.

A talaj molibdén tartalmának egy része szerves kötésben, főként fulvo- és huminsavakhoz kötődve található meg a talajban (Kabata-Pendias és Pendias 2001; Bibak és Borggard, 1994; Kaiser et al., 2005). Mivel a talaj szerves anyagai a molibdént erősen adszorbeálják, a szerves anyagban gazdag talajok rendszerint magas molibdén tartalommal rendelkeznek. Például Győri (1958) hazai talajokon végzett vizsgálatokkal kimutatta, hogy az általa vizsgált láptalaj, több mint tízszer annyi molibdént tartalmazott, mint a többi kisebb szerves anyag tartalmú talaj. Ez is azt igazolja, hogy a talaj szerves anyagában a molibdén feldúsulhat.

Azonban egymásnak ellentmondó kutatási eredményekről olvashatunk azzal kapcsolatban, hogy a talaj magas szerves anyag tartalma hogyan befolyásolja a növények molibdén felvehetőségét. Srivastava és Gupta (1996) közleménye szerint például, ha a talaj szerves anyagokban gazdag, savas talajban a növények számára felvehető molibdén mennyisége magas, mivel megakadályozza a Mo szeszkvioxidokhoz (Fe_2O_3 , Al_2O_3) való kötődését. Viszont Kabata-Pendias és Pendias (2001) arról számoltak be, hogy a növények számára hasznosítható molibdén mennyisége kevésnek mondható, magas szerves anyag tartalommal rendelkező talajok esetében, ugyanis a huminsavak erős kötésben tartják a molibdént. Haque (1987) feljegyzése szerint viszont az is elképzelhető, hogy a szerves anyagokhoz kötött Mo mineralizáció útján válik felvehetővé a növények számára, vagy az is lehetséges, hogy a szerves anyagokhoz kapcsolódó vas-oxidok felelősek a molibdén megkötődéséért.

3.3. A molibdén növényélettani jelentősége

3.3.1. A molibdén esszenciális szerepének feltérképezése

A molibdént 1778-ban fedezte fel egy svéd kémikus, Carl Wilhelm Scheele (Sarkar, 2002). Azonban a jelentőségére a biológiai rendszerekben csak 1930-ban derült fény, amikor Bortels (1930) megállapította, hogy a molibdén esszenciális az *Azotobacter*

baktérium növekedéséhez és a légköri nitrogén megkötéséhez. Ezt követően, 1936-ban Steinberg kimutatta, hogy a molibdén az *Aspergillus niger* gomba növekedéséhez is létfontosságú (Steinberg, 1936).

Arnon és Stout (1939) voltak azok, akik elsőként számoltak be arról, hogy a molibdén a magasabb rendű növények számára is esszenciális. Arnon (1937, 1938) korábbi vizsgálatai arra mutattak rá, hogy a molibdén kis mennyiségben serkentette a tápoldatos körülmények között nevelt árpa (*Hordeum vulgare* L.) növekedését és elősegítette a fejjessalátá (*Lactuca sativa* L.) és a spárga (*Asparagus officinalis* L.) fejlődését is. Ezek az eredmények nagy előrelépést jelentettek a molibdén növényélettani szerepének feltérképezésében, ugyanis arra a következtetésre juttatták a fent megnevezett kutatókat, hogy az esszenciális elemek listája még nem teljes; azaz szükséges megvizsgálni, hogy a molibdén esszenciálisnak tekinthető-e a magasabb rendű növények számára. Kutatásuk során a paradicsom (*Lycopersicon esculentum* Mill.) molibdén igényét vizsgálták az általuk újonnan felállított esszenciálisságra vonatkozó kritériumaik alapján, melyek a következők voltak: a) az esszenciális elem hiánya esetén a növény életciklusában zavar áll be, b) az elem funkciója nem helyettesíthető más elemmel, c) az elem közvetlenül részt vesz a növények anyagcseréjében.

Vizsgálataik során azt tapasztalták, hogy molibdén hiányában a teszt növények a Mo hiánytüneteit mutatták, és ezek a hiánytünetek csakis Mo hozzáadásával ($0,01 \text{ mg dm}^{-3}$ Mo) voltak megszüntethetők, azaz a molibdént nem lehetett helyettesíteni semmilyen más mikroelemmel. Továbbá megállapították, hogy bár a vizsgálati növényeknél a hiánytünetek megszüntetéséhez csak csekély mennyiségű molibdénre volt szükség, azonban az ettől jóval nagyobb koncentráció alkalmazása sem okozott zavart a növények fejlődésében. A növények csak abban az esetben mutattak toxikus tüneteket, amikor a tápoldat Mo koncentrációja több mint 10 mg dm^{-3} volt (Arnon és Stout, 1939).

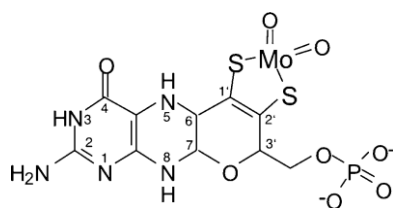
3.3.2. A molibdén, mint fontos enzimalakító

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 Pierpoint, 1983; Yaneva et al., 1996; Anke és Seifert, 2007).

A molibdén ezenkívül jelen van a xantin-dehidrogenázban, melynek a purinanyagcserében van jelentősége, az aldehid-oxidázban, amely az indolecetsav és az abszcizinsav bioszintézisének utolsó lépésében vesz részt, illetve a szulfit-oxidázban, amely enzim a kéntartalmú aminosavak metabolizmusában a szulfitot szulfáttá oxidálja (Zimmer és Mendel, 1999; Mendel és Kruse, 2012; Mendel és Bittner, 2006; Hille, 1996; Mendel és Hänsch, 2002; Williams és Frausto da Silva, 2002; Zdunek-Zastocka és Lips, 2003; Schwarz et al., 2009).

A molibdén a fenti enzimekben, a nitrogenáz enzim kivételével egy komplex vegyületként, molibdén-kofaktorként (Moco, molibdopterin) van jelen (Mendel, 2005; Mendel és Kruse, 2012; Campbell, 1988; Pelsy és Caboche, 1992; Rajagopalan és Johnson, 1992). Ez alapvetően egy pterin, amelyhez négy alkil oldallánc kapcsolódik. Ezek tartalmazzák a molibdént koordináló ditiolén csoportot és egy terminális foszfátésztert. A molibdén kofaktorban a Mo kénatomokon keresztül kötődik a heterociklikus gyűrűhöz, ahogyan azt a 2. ábra is mutatja.



2. ábra: molibdén-kofaktor (Mendel, 2005)

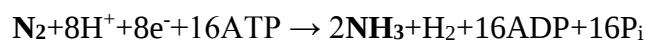
A molibdén enzimek redoxi-reakcióiban vesz részt, amely során az oxidációs száma +4 és +6 között változik (Kisker et al., 1997; Bittner, 2014).

3.3.2.1. Nitrogenáz enzim jelentősége

A nitrogén a természetben elemi formában, valamint szerves vegyületeiben (nitrátok, nitritek, ammónia) és szerves vegyületeiben (aminosavak, fehérjék, nukleinsavak, nukleotidok) található meg. A bioszféra legnagyobb nitrogén raktára a légköri nitrogén (N₂), amelynek a hasznosítására azonban csak a prokarióta, ún. diazotróf szervezetek képesek, melyek lehetnek egyrészt szabadon élő, másrészt növényekkel szimbionta

kapcsolatban élő mikroorganizmusok (Seefeldt et al., 2009; Li et al., 2013). A szabadonélő szervezetek nitrogénmegkötő képessége csekélynek tekinthető (~1 kg nitrogén ha⁻¹ év⁻¹), kivéve a kékbaktériumokét (~30-50 kg nitrogén ha⁻¹ év⁻¹). Sokkal nagyobb hatékonysággal bír a szimbiotikus nitrogén fixáció (~10-350 kg nitrogén ha⁻¹ év⁻¹), amelyek közül legnagyobb jelentősége a pillangós növényeink gyökerein élő *Rhizobium* fajoknak van (*R. phaseoli*, *R. leguminosarum*, *R. lupini*, *R. melilotii* stb.), (Srivastava, 1997).

A nitrogén fixáció során a légköri nitrogénből végtermékként, ammónia keletkezik, ahogyan azt az alábbi reakcióegyenlet is mutatja:



Az egyenletből jól látható, hogy a reakció rendkívül energiaigényes, ugyanis nitrogénenként 16 ATP-t igényel és a reakciót H₂ fejlődés is kíséri.

A nitrogénmegkötés és redukálás középpontjában a nitrogenáz enzim áll. A nitrogenáz enzimet négy típusra különíthetjük el, melyek a következők (Eady, 1996; Burgess és Lowe, 1996):

1. molibdén tartalmú nitrogenáz ([MoFe] nitrogenáz),
2. vas tartalmú nitrogenáz ([FeFe] nitrogenáz),
3. vanádium tartalmú nitrogenáz ([VFe] nitrogenáz),
4. *Streptomyces thermoautotrophicus* nitrogenáza (St-nitrogenáz).

A nitrogenázok első három típusa hasonló szerkezettel rendelkezik, eltérést csak az aktív centrumokban figyelhetünk meg. Közülük legnagyobb jelentősége a molibdén tartalmú nitrogenáznak van, ugyanis ez valamennyi nitrogén fixációra képes prokariótában megtalálható (kivétel: *Streptomyces thermoautotrophicus*). A jelentőségét ezenkívül az is kiemeli, hogy a kutatások szerint a nitrogén redukciót leghatékonyabban ez a típusú nitrogenáz enzim katalizálja. A vas tartalmú, illetve vanádium tartalmú nitrogenázok szerepe elsősorban abban rejlik, hogy ezek egyfajta biztonsági rendszerként funkcionálnak, azaz korlátozott molibdén ellátottság esetén is lehetővé teszik a prokarióta szervezetek számára a nitrogén hasznosítását. Ebből adódóan a vas és vanádium tartalmú nitrogenázokat gyakran alternatív nitrogenázoknak is nevezi a szakirodalom (Eady, 1996).

A nitrogenáz enzimkomplex két alegységből épül fel, egy Fe-proteinből (dinitrogenáz-reduktáz; azoferredoxin) és egy MoFe-proteinből (dinitrogenáz; molibdoferredoxin). A

Fe-protein egy kb. 64 kDa tömegű fehérje, amely két azonos alegységet tartalmaz. Az egyes alegységeket $\text{Fe}_8\text{-S}_4$ centrum kapcsolja össze. Mindegyik alegység egy Mg-ATP kötőhelyet tartalmaz a fehérje belsejében.

A nitrogén megkötés mechanizmusában a Fe-protein legfontosabb funkciói a következők:

1. a dinitrogenáz elektrondonorja,
2. Mg-ATP-hez kapcsoltan egyirányú és hatékony elektrontranszfert tesz lehetővé a MoFe-protein irányába,
3. részt vesz a Mo-Fe protein bioszintézisében és érésében.

A MoFe-protein két különböző alegységből felépülő tetramer szerkezetű fehérje. Molekulatömege 230 kDa. Kofaktorai az ún. P-centrumok ($\text{Fe}_8\text{-S}_7$), amelyek az α és β alegységeket kapcsolják össze, valamint FeMo-kofaktorok, amelyek az α alegységekhez kapcsolódnak (FeMoco, $\text{MoFe}_7\text{-S}_9\text{C}$). A P-centrumok legfontosabb feladata a Fe-proteintől származó elektronok tárolása, majd eljuttatása a FeMo kofaktorhoz kapcsolódó szubsztrátra. A FeMo-kofaktor pedig a szubsztrát kötődés és redukció helye (Allen et al., 1999).

A molibdénnek a nitrogenáz enzim részeként kiemelkedő szerepe van a légköri nitrogén megkötésében a pillangósvirágú növények esetében, ahogyan azt számos kutatás is igazolja.

Brkić et al. (2004) és Jongruaysup et al. (1993) megállapították, hogy a Mo alkalmazása a hüvelyesek esetében elősegítette a gyökérgümők (nodulusz) képződését és a nitrogén megkötését, valamint a termés hozamot is növelte. Kaiser et al. (2005) feljegyzése szerint szoros korreláció figyelhető meg a rendelkezésre álló molibdén mennyisége és a noduluszok fejlődése között. Parker és Harris (1977), Adams (1997), Lopez et al. (2007) és Vieira et al. (1998) arról számoltak be, hogy a pillangós növényeken (szója, bab, vöröshere) végzett kísérleteikben a molibdén trágyázás fokozta a nitrogenáz enzim aktivitását és a gyökérgümők méretére is pozitívan hatott. Azonban Brodrick és Giller (1991) arra mutattak rá, hogy a molibdén koncentráció további növelése már nem volt hatással a nitrogenáz aktivitására, ugyanis a gyökérgümők sokkal több molibdént képesek akkumulálni, mint ami szükséges a nitrogenáz aktivitásához és a N_2 fixációhoz. Gurley és Giddens (1969), Franco és Munns (1981), Ishizuka (1982), valamint Brodrick és Giller (1991) kutatásai szintén alátámasztják, hogy a molibdénnek meghatározó szerepe van a nitrogenáz működésében. Megállapították, hogy az alkalmazott molibdén

kezelések hatására a noduluszok Mo koncentrációja megemelkedett, fokozódott a N-fixáció, amely elősegítette a hüvelyes növények fejlődését.

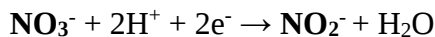
Hristozkova et al. (2005) kutatómunkájukban a molibdén üvegházban nevelt zöldborsó növényekre gyakorolt hatását tanulmányozták. Megállapították, hogy molibdént nem tartalmazó tápoldaton nevelt zöldborsók több gyökérgümővel rendelkeztek, azonban ezek nyers tömege kevesebb volt, mint a molibdén kiegészítést kapott növényeké. Ez összhangban van Gupta és Lipsett (1981) feljegyzésével, miszerint csekély Mo tartalommal rendelkező talajokon termesztett növények is sok gyökérgümőt fejlesztenek gyökereiken, azonban ezek Mo hiányában képtelenek a N megkötésére. Hristozkova et al. (2005) továbbá arról számoltak be, hogy a molibdénnel kezelt növények esetében a hajtások és a gyökerek N-tartalma meghaladta a molibdént nem tartalmazó oldaton nevelt növényekben mért értékeket.

A nitrogénkötés folyamatára külső és belső tényezők egyaránt hatással vannak. A jól levegőző, nedves talaj, a 20-25°C-os hőmérséklet és a nitrogénben szegényebb környezet serkenti a nitrogén fixálás folyamatát. A foszforsavas műtrágyázás a noduluszok számát növeli, az ásványi nitrogénben való bőség pedig csökkenti a baktérium tevékenységét, vagy azok anyagcseréjét más irányba tereli. A belső tényezőkhöz tartozik a nitrogenáz enzim jelenléte, az aminosavépítő enzimrendszer és a vastartalmú leghemoglobin (Haraszty, 1978).

A biológiai nitrogén fixációnak meghatározó szerepe van a növények nitrogénnel való ellátásában, hiszen a nitrogénkötő mikroorganizmusok évente 139-170 millió tonna redukált nitrogént biztosítanak a növények számára (Peoples és Craswell, 1992). Azonban, bár a molibdén a nitrogenáz enzim kofaktoraként kiemelt szerepet tölt be a légköri nitrogén hasznosításában, a molibdént mégsem a nitrogén fixációban betöltött szerepe miatt tartjuk esszenciálisnak a növények számára. Ennek egyrészt az az oka, hogy a pillangós növények kivételével a legtöbb növény nem képes a légköri nitrogén hasznosítására, másrészt a nitrogén fixáció a pillangós növények növekedéséhez sem létfontosságú, ha elegendő mennyiségű nitrogén műtrágya áll rendelkezésükre (Mishra et al., 1999). A molibdén esszenciális jellege a növénytáplálásban kizárólag a nitrát redukcióban betöltött szerepének tulajdonítható, a nitrát-reduktáz részeként.

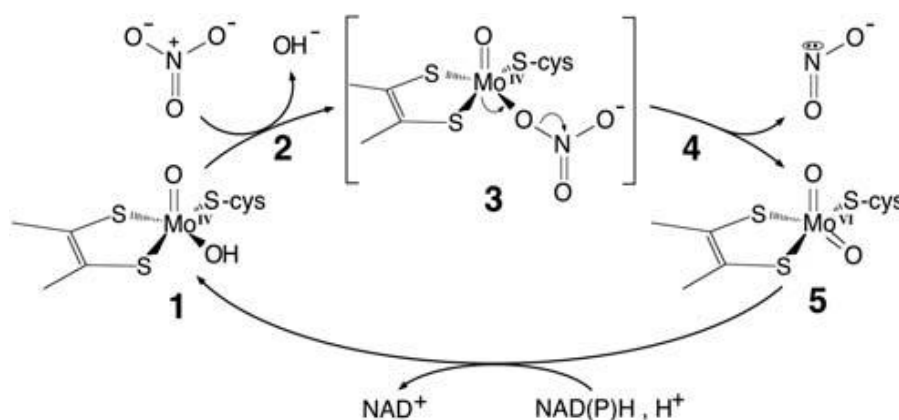
3.3.2.2. Nitrát-reduktáz enzim jelentősége

A nitrát-reduktáz enzim valamennyi növényben jelen van, illetve a gombákban és a baktériumokban is megtalálható. A nitrát redukció folyamatát katalizálja, amely során a nitrát nitritté redukálódik (Campbell, 2001):



A nitrát-reduktázok olyan dimer (magasabbrendű növényekben) vagy tetramer (algákban) szerkezetű enzimek, amelyek monomerenként egy FAD-kötő, egy citokróm b-kötő, egy dimerizációs és egy Mo-kofaktor-kötő doménből épülnek fel (Broadley et al., 1995; Mendel és Schwarz, 1999; Campbell, 1999). Az enzimben a FAD és a hem, valamint a hem és a dimerizációs domén közötti kapcsolatot a *loop*-régiók biztosítják. A nitrát redukcióhoz szükséges elektront a NAD(P)H biztosítja, amelyről az elektron a FAD-on keresztül a citokróm b-re, majd a Mo-kofaktor által a nitrátra jut, ami nitritté redukálódik. A nitrát redukció második lépéseként a nitritet a nitrit-reduktáz redukálja tovább ammóniává (Mendel és Hänsch, 2002; Rosales et al., 2011).

A nitrát redukciója a molibdén kofaktoron történik, ahogyan azt a 3. ábra is szemlélteti. A redukció során a nitrát a molibdén kofaktor hidroxo-ligandumához kapcsolódik a Mo-kofaktor redukált Mo^{IV} állapotában. Ezt követően az elektron a Mo-kofaktorról a nitrátra jut, majd a N és az O közötti kötés hasad, és a nitrát leválik az enzimről. Végül a redukció utolsó lépéseként a Mo-kofaktor ismét redukált állapotba kerül a NAD(P)H felhasználásával (Sárvári, 2013).



3. ábra: A nitrát Mo-kofaktoron történő redukciója (Fischer et al., 2005)

Számos tanulmány alátámasztja, hogy a nitrát-reduktáz optimális működéséhez a molibdén jelenléte nélkülözhetetlen (Hille, 1996; Mendel, 1997; Yaneva et al., 2000).

Liu és Yang (1999) kutatómunkájukban a molibdén nitrogén anyagcserében betöltött szerepét tanulmányozták szójabab esetében. Megállapították, hogy a molibdén kezelések hatására a nitrát-reduktáz enzim aktivitása fokozódott a levelekben, a tesztnövények összes N-tartalma megnőtt, és a NO_3^- mennyiségében csökkenés volt megfigyelhető.

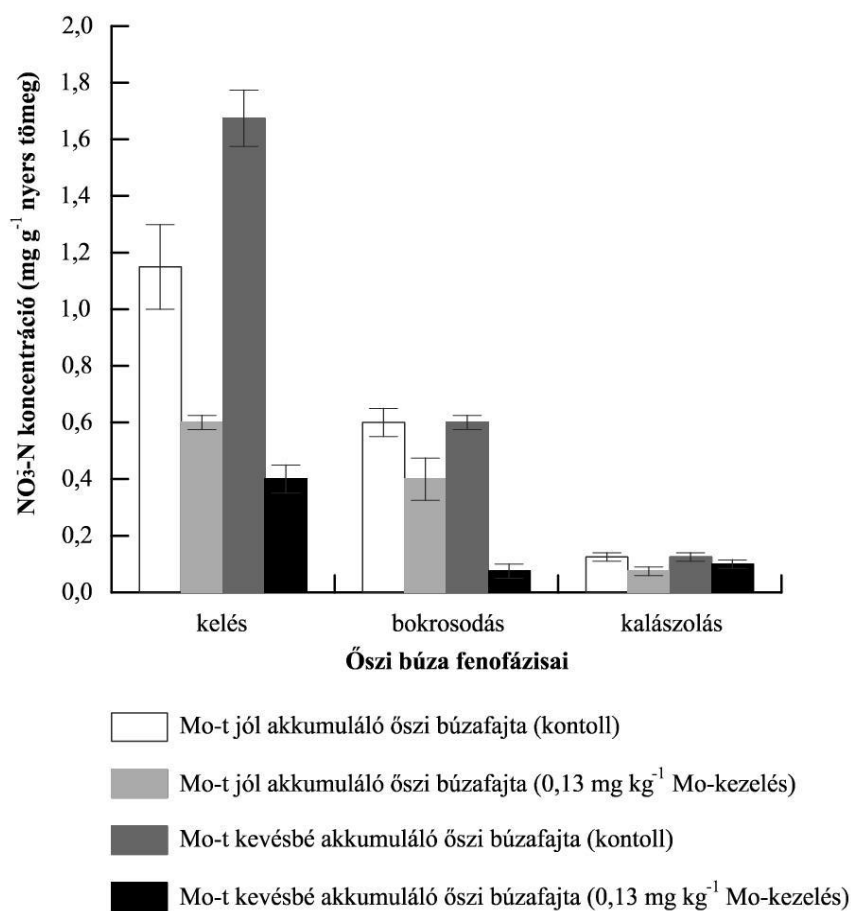
Hristozkova et al. (2005) vizsgálataikban hidropónikus (tápoldatos) körülmények között nevelt zöldborsó növények nitrát-reduktáz aktivitását, valamint nitrát tartalmát határozták meg. A kísérleteikben a tápoldatok Mo-koncentrációja a következő volt: 0; 0,005, illetve 0,01 mg kg^{-1} (Hoagland-tápoldat). Kimutatták, hogy az alkalmazott tápoldat Mo koncentrációjának felére csökkentése mintegy 40%-os, a Mo teljes elhagyása a tápoldatból pedig 80%-os csökkenést eredményezett a nitrát-reduktáz aktivitásában. Ezenkívül megállapították, hogy a molibdént nem tartalmazó tápoldaton nevelt növények nitrát tartalma megközelítőleg kétszerese volt a molibdént tartalmazóhoz képest.

Zhonghua és Shengxiu (2005) kutatómunkájuk során a molibdénellátás és a nitrogén metabolizmus közötti kapcsolatot vizsgálták őszi búza csíranövényeken keresztül. Tápoldatos kísérletükben (Hoagland-tápoldat) a nitrogént NO_3^- -N formájában adták a tápoldathoz és az alkalmazott Mo koncentrációk a következők voltak: 0; 0,78 és 2,74 $\mu\text{mol dm}^{-3}$. A kísérletben a NO_3^- -N és az NH_4^+ -N tartalmak mérésére kétnaponta került sor. Mérési eredményeik arra mutattak rá, hogy a növények NO_3^- -N és NH_4^+ -N tartalma között negatív korreláció áll fenn, vagyis a NO_3^- -N tartalom csökkenésekor növekedést állapítottak meg a csíranövények NH_4^+ -N tartalmában, és ez fordítva is igaz volt. Viszont a NO_3^- -N, illetve az NH_4^+ -N tartalmuk összege közel állandó értékeket mutatott a kísérlet során. Azt tapasztalták, hogy ez az egyensúly szoros kapcsolatban állt a növények molibdén ellátásával. A molibdénellátott növényekben a nitrát redukció fokozódott, amelynek eredményeként már a kísérlet 4. napjától kezdve magas NH_4^+ -N és alacsony NO_3^- -N értékeket mértek a növényekben.

Steiner és Zoz (2015) kutatómunkájuk során arra kerestek választ, hogy a napraforgó növényeknél alkalmazott növekvő koncentrációjú Mo-kezelések milyen hatással vannak a különböző N-formák mennyiségére a levél szövetekben. A kísérletben a molibdént lombtrágya formájában, 0; 26; 52; 78 és 104 g ha^{-1} mennyiségben juttatták ki a növényekre. Azt tapasztalták, hogy a növekvő koncentrációjú kezelések hatására a kukorica leveleiben a NO_3^- szignifikánsan csökkent, míg ezzel párhuzamosan az NH_4^+ koncentrációja jelentősen megemelkedett. A legnagyobb Mo-kezelés (104 g ha^{-1}) 55%-os

csökkenést eredményezett a NO_3^- mennyiségében a kontrollhoz viszonyítva és 27%-os növekedést produkált a NH_4^+ mennyiségében.

Yu et al. (2010) molibdénben szegény, savanyú talajon beállított tenyészedényes kísérletben tanulmányozták, hogy az általuk alkalmazott $0,13 \text{ mg kg}^{-1}$ Mo-kezelés milyen eltérést eredményez két általuk választott őszi búzafajta NO_3^- mennyiségében, valamint a nitrát-reduktáz aktivitásában a kontroll, kezeletlen növényekhez viszonyítva. A feljegyzésük szerint a kelés fenofázisában 4,7-szeresére, illetve 5-szörösére emelkedett a molibdénrel kezelt őszi búzák nitrát-reduktáz aktivitása, a bokrosodás fenofázisában pedig 6,7-szeres, valamint 14,8-szoros növekedést állapítottak meg a kontroll kezeléshez viszonyítva. Ezenkívül az őszi búzák NO_3^- -N tartalmának meghatározásakor azt tapasztalták, hogy a növények fejlődése során NO_3^- -N koncentrációjuk jelentősen lecsökkent a nitrát-reduktáz hatására, azonban a legtöbb esetben szignifikáns különbségeket mutattak ki a molibdénrel kezelt és kezeletlen növények között, ahogyan azt a 4. ábra is igazolja.



4. ábra: Őszi búzafajták NO_3^- -N (mg g^{-1} nyers tömeg) koncentrációja a kelés, bokrosodás és kalászás fenofázisában (Yu et al., 2010)

Molibdén hiányos növények esetében azonban a nitrát-reduktáz működése gyengébb, amely gyakran nitrát felhalmozódást eredményez a növényekben (Srivastava, 1997; Gowariker et al., 2009). Például Pal et al. (1976) kutatásai során azt tapasztalták, hogy tápoldatos kísérleteikben a molibdént nem tartalmazó tápoldaton nevelt dohány növények (*Nicotiana tabacum* L.) nitrát tartalma szignifikánsan nagyobb volt, mint a molibdénrel ellátott növényeké.

Berry és Reisenauer (1967) hidropónikus kísérletük során kimutatták, hogy a kontroll, molibdént nem tartalmazó tápoldaton nevelt paradicsom növények NO_3^- -N tartalma rendkívül magas volt, 4610 mg kg^{-1} , azonban 0,001 μM Mo-kezelés esetén ez az érték megközelítőleg a felére csökkent, és az átaluk alkalmazott legnagyobb Mo-kezelés esetén (0,1 μM) a teszt növények NO_3^- -N tartalma nyolcad része volt a kontroll növényekéhez viszonyítva.

Továbbá Calonego et al. (2010) szintén arról számoltak be, hogy szántóföldi kísérleteik során a molibdén hiánya veteménybab (*Phaseolus vulgaris* L.) esetében fokozta a nitrát akkumulációját a levelekben.

A növényekben a nagyfokú nitrát akkumulálódása komoly kockázatot jelent humán egészségügyi szempontból. Az élelmiszerek magas nitráttartalma a felnőtteknél növeli a rák kialakulásának kockázatát és csecsemőknél komoly egészségkárosodást, úgynevezett methemoglobinémiát (kékkór) okozhat (Sanchez-Echaniz et al., 2001). Methemoglobinémia során a gyomorban nitráttá 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 (Wright et al., 1999; Bradberry, 2012; Coleman és Coleman, 1996; Mansouri és Lurie, 1993). A methemoglobin az egészséges felnőtt szervezetre nem jelent veszélyt, mivel képes a methemoglobin-reduktáz 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 nitrát-redukcióban kulcsszerepet játszó nitrát-reduktáz működése optimális legyen, amihez viszont a megfelelő mennyiségű molibdén jelenléte nélkülözhetetlen.

3.3.2.3. Egyéb molibdén tartalmú enzimek

A nitrogenáz enzimen és a nitrát-reduktázon kívül a molibdén fontos komponense a xantin-dehidrogenáznak is, amely a purin katabolizmusában és az ureidek szintézisében vesz részt a növényekben (Zdunek-Zastocka és Lips, 2003).

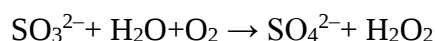
A xantin-dehidrogenáz egy homodimer flavoprotein. Alegységenként egy Mo-kofaktort, egy FAD részt és két Fe-S központot tartalmaz, amelyek egy elektrontranszport láncot alkotnak. A purin xantinná, majd húgysavvá történő oxidációját katalizálja (Hille, 1996; Kisker et al., 1997). Számos hüvelyesben (homoki bab, szója) a keletkező húgysavból ureidek (allantoin, allantoinsav) szintetizálódnak. Az ureidek redukált N-vegyületek, amelyek a gyökérgümőkől a xilemen keresztül a felhasználás helyére szállítódnak (Sárvári, 2013).

Bár Srivastava (1997) megállapítása szerint a xantin-dehidrogenáz működése nem tekinthető esszenciálisnak növényélettani szempontból, azonban a fenti tények arra mutatnak rá, hogy kulcsszerepet játszik azon hüvelyesek nitrogén metabolizmusában, amelyek nodulusaiban az ureidek a leginkább előforduló N-források. Ezen növényeknél a molibdén hiányakor fellépő növekedés visszamaradást nemcsak a nitrogénkötő baktériumok nitrogenáz aktivitásának csökkenése okozhatja, hanem a purin katabolizmus zavara is.

Az aldehid-oxidáz felépítését tekintve nagyon hasonló a xantin-dehidrogenázhoz. Egy Mo-kofaktort, két Fe-S klasztert, illetve egy FAD egységet tartalmaz. A növények citoplazmájában van jelen és a növényi hormonok bioszintézisében vesz részt. Az indol-3-acetaldehid, indol-3-ecetsavvá (Koshiba et al., 1996; Tsurusaki et al., 1997; Seo et al., 1998), valamint az abszcizin aldehidnek az abszcizinsavvá (Taylor et al., 1988; Walker-Simmons et al., 1989; Seo et al., 2000) történő oxidációját katalizálja, amely az abszcizinsav bioszintézis utolsó lépése. Az abszcizinsav egy fitohormon, a növények növekedésére van hatással, valamint szerepe van a növények biotikus és abiotikus stresszválaszaiban (Zimmer és Mendel, 1999; Broadley et al., 1995; Zdunek-Zastocka és Lips, 2003). Mindez arra mutat rá, hogy a molibdén az aldehid-oxidázon keresztül fontos szerepet játszik a növények fejlődésében, valamint a környezeti stresszhatásokhoz való alkalmazkodásban (Mendel és Schwarz, 1999). Például Sun et al. (2009) arról számoltak be, hogy molibdénhiányos búza esetében a molibdén alkalmazása megemelte a növények abszcizin koncentrációját és ezáltal a hidegtűrését is. Cairns és Kritzinger (1992), valamint Modi és Cairns (1994) kutatásai ezenkívül arra

is rámutatnak, hogy a molibdén hiánya a magvak nyugalmi állapotára is hatással van, ugyanis az abszcizinsav hormon a magvak nyugalmi állapotának fenntartásáért is felelős. Megállapították, hogy a molibdén hiánya alacsony abszcizinsav szintet eredményezett, amely a magvak nyugalmi állapotának lerövidüléséhez vezetett.

A szulfit-oxidáz szintén tartalmaz molibdént. A növények peroxiszómájában lokalizálódik és a sejtek kénegyensúlyának fenntartásáért felelős. A szulfit szulfáttá történő oxidációját katalizálja (Srivastava, 1997; Eilers et al., 2001; Kisker et al., 1997):



A szulfit-oxidáz a növényekben egyrészt biztonsági szelepként működik: detoxifikálja a felesleges szulfitot és megvédi a sejteket a szulfitolízistől. Szulfitolízis során a szulfit megnyitja a diszulfidhidakat, amely protein inaktivációt eredményez. A szulfit-oxidáz másik fontos feladata a sejtanyagok dekompozíciójakor keletkező redukált kénvegyületek lebontása (Sárvári, 2013).

3.3.3. A növények molibdén felvételére ható tényezők, a molibdénhiány tünetei

A növények Mo felvétele elsősorban molibdenát ion formában történik. A molibdenát ion felvétele aktív. Mozgékonyasága a növényben csekély, legnagyobb mennyiségben a hancsrészben (floém) és a szállítóedények parenchimájában (xilem) lokalizálódik (Broadley et al., 1995; Zimmer és Mendel, 1999).

A növények Mo igénye más mikroelemekhez képest csekélynek mondható (Kabata-Pendias, 2011), (1. táblázat).

1. táblázat: Kultúrnövények leveleinek Mo-tartalma (mg kg^{-1} sz. a.), (Hamlin, 2007)

Növény	Mo-koncentráció (mg kg^{-1} sz. a.)	
	Mo-hiány	Mo-igény
Lucerna (<i>Medicago sativa</i> L.)	<0,4	0,5-5,0
Vöröshere (<i>Trifolium pratense</i> L.)	<0,15	0,30-1,59
Árpa (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	-	0,09-0,80
Kukorica (<i>Zea mays</i> L.)	<0,12	1,4-7,0
Zab (<i>Avena sativa</i> L.)	-	0,2-0,3
Cukorrépa (<i>Beta vulgaris</i> L.)	<0,16	0,2-20
Napraforgó (<i>Helianthus annuus</i> L.)	-	0,25-0,75
Bab (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	<0,2	0,2-5,0
Káposzta (<i>Brassica oleracea</i> L.)	<0,3	0,3-3,0
Uborka (<i>Cucumis sativus</i> L.)	<0,2	0,2-2,0
Borsó (<i>Pisum sativum</i> L.)	-	0,4-1
Fejessaláta (<i>Lactuca sativa</i> L.)	<0,07	0,08-0,14

Azonban az egyes növények molibdéntartalma a különböző növénycsaládok esetében jellegzetes eltéréseket mutat. Szabó et al. (1987) feljegyzése szerint a pillangósvirágú növények molibdéntartalma jelentősen meghaladja a többi növény molibdén tartalmát. Átlagos molibdén tartalmuk 4 mg kg^{-1} szárazanyagra vonatkoztatva, a fűféléké $1,2 \text{ mg kg}^{-1}$, a gabonaféléké $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$. A pillangós virágú növények magasabb molibdén igénye a növények gyökerein lévő gümöbaktériumok jelenlétével van kapcsolatban. Ezeknek a baktériumoknak a nitrogén megkötéséhez a Mo ugyanis nélkülözhetetlen (Williams és Frausto da Silva, 2002; Gupta et al., 2011; Burgess és Lowe, 1996). Mindemellett fontos szem előtt tartani azt a tényt is, hogy a növények Mo igényére az alkalmazott nitrogén forma is hatással van. Mivel a Mo kulcsszerepet játszik a nitrát redukciójában, ezért a nitrát-nitrogénnel ellátott növények több Mo-t igényelnek, mint az ammónium-nitrogénnel trágyázottak (Gowariker et al., 2009; Kabata-Pendias, 2011).

A növények molibdén tartalma az életkor függvényében is változik. A szakirodalmak arra mutatnak rá, hogy növények molibdén koncentrációja a fejlődésükkel párhuzamosan általában csökken (Anke et al., 1984; Anke és Seifert, 2007), (2. táblázat).

2. táblázat: Növények Mo koncentrációjának változása az életkor függvényében (mg kg^{-1} sz. a.), (Anke és Seifert, 2007)

Növényfaj	Mo-koncentráció (mg kg^{-1} sz. a.)			
	április 30.	május 12.	május 26.	június 16.
Lucerna	0,624	0,520	0,279	0,177
Réti vörös here	1,149	0,416	0,520	0,377
Mezei vörös here	1,308	1,281	1,094	0,886
Réti csenkesz	0,485	0,614	0,692	0,282
Rozs	0,398	0,263	0,278	0,261
Búza	0,378	0,324	0,386	0,118

Az egyes növényi részek Mo-tartalma is nagymértékben eltérhet egymástól. Például Szabó et al. (1987) megállapítása szerint a kukorica növény megközelítőleg $0,400 \text{ mg kg}^{-1}$ molibdént tartalmaz, a szemtermés molibdén tartalma ettől az értéktől jóval kevesebb, $0,250 \text{ mg kg}^{-1}$, a szár pedig még ettől is kevesebbet tartalmaz.

A hüvelyesekben a Mo legnagyobb része általában a gyökérgümőkben akkumulálódik, azonban a szakirodalmak arra mutatnak rá, hogy a molibdén növényi részekben való megoszlása függ az adott növényfajtól. Anke és Seifert (2007) megállapítása szerint a lucerna nagy mennyiségű molibdént akkumulál a gyökérgümőkben, míg a szár és a

levél Mo tartalma viszonylag csekélynek mondható. Ezzel szemben a vöröshere (*Trifolium pratense* L.) és a korcshere (*Trifolium hybridum* L.) esetében a szár és a levél Mo koncentrációja meghaladja a gyökérgümőkben mért értékeket (4,6-22,7 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sz. a.).

Ishizuka (1982) kutatómunkája során a molibdén abszorpcióját és transzlokációját tanulmányozta szójabab növényekben, szántóföldi kísérlet során. Azt tapasztalta, hogy a növények fejlődésének kezdeti szakaszában, a Mo koncentrációja valamennyi növényi részben nőtt, azonban a gyökerek noduluszaiban volt legmagasabb. A hüvelyesedés fenofázisában azonban a gyökerek és a szójababhüvelyek Mo koncentrációja gyors csökkenést mutatott, a termés Mo-koncentrációja viszont jelentősen megemelkedett. A növények noduluszainak, szárainak és leveleinek Mo koncentrációja csak kismértékben csökkent, ami arra mutat rá, hogy ezekből a szervekből a Mo transzlokációja a szemtermésbe elhanyagolható mértékű. A molibdén növényi részekben való megoszlása ezenkívül a talaj felvehető Mo tartalmától is függ. Mo hiányos állapotban a hüvelyeseknél a gyökérgümő kifejlődése gyakran elmarad és ennek eredményeként a gyökérben mérhető Mo koncentráció rendkívül alacsony (Anke és Seifert, 2007).

A növények Mo koncentrációját a talajtani viszonyok is jelentősen meghatározzák. Győri és Tölgyesi (1968) arról számoltak be, hogy a rétláptalajokon termesztett fehér here (*Trifolium repens* L.) átlagosan 16,2 mg kg^{-1} molibdén tartalommal rendelkezett, míg a réti jellegű homoktalajokon ugyanaz a növényfaj csupán 0,08 mg kg^{-1} -ot tartalmazott. A talajban lévő nagyobb Mo mennyiség hatása a Mo-t nem akkumuláló növényeknél is megmutatkozott: a közönséges galaj (*Gallium mollugo* L.) átlagos Mo koncentrációja rétláptalajon 1,8 mg kg^{-1} , míg réti jellegű homoktalajon 0,14 mg kg^{-1} volt.

A talaj típusán kívül a talaj kémhatása, nedvességtartalma, szerves anyag tartalma szintén hatással van a növények molibdén felvételére (Smith et al., 1997; Kaiser et al., 2005).

Molibdénhiány elsősorban savanyú talajokon jelentkezik, de ha ezeket a talajokat meszezik, a Mo felvehetősége javul és általában nem indokolt a Mo pótlása. Ritkábban azonban gyengén savanyú vagy semleges kémhatású talajokon is előfordulhat molibdén hiány, ha a talaj eredeti molibdén tartalma rendkívül alacsony (Mengel és Kirkby, 1987).

Rossz vízelvezetésű, vizenyős talajokon termesztett növények jelentős mennyiségű molibdént képesek akkumulálni, azonban homoktalajok esetében gyakran jelentkezik

molibdénhiány. Mivel a homoktalajok rendkívül jó vízelvezető képességűek, ezért az alkalmazott molibdén nagy része könnyen kilúgozódik a talajból (Kubota et al., 1963).

A talaj molibdenát anionjai komplexet képezhetnek a talajoldat kationjaival (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), illetve humuszanyagaival (humín- és fulvosavak) is. Mivel a komplexképződés eredményeként csökken a fémoxidok (Fe, Al, Mn) által kötésben tartott molibdenát mennyisége, ezért a növények által felvehető Mo mennyisége a talajoldatban megemelkedik (Reddy et al., 1997).

Mivel a molibdén legnagyobb része a xilemben és a háncsrészben található, ezért a hiánytünetek gyakran az egész növényen jelentkeznek. Ez ellentétben áll számos esszenciális mikroelemmel, ahol a hiánytünetek csak a fiatalabb leveleken mutatkoznak meg (Hamlin, 2007). A molibdénhiány másik sajátossága, hogy hasonló tünetekben nyilvánul meg, mint a nitrogénhiány. Ennek az az oka, hogy Mo hiányában a nitrát-reduktáz aktivitása lecsökken és ezért a nitrogén beépülése a fehérjékbe elmarad vagy csak kisebb mérvű.

A hiánybetegségben szenvedő növények növekedése lassul, a levelek fakó színűekké válnak és a virágzás is zavart szenved (Martin et al., 1995; Agarwala et al., 1978). A levelek színe sárgás, gyakori a levélerek közötti klorózis (sárgulás) és a levélszélek összepödrödhetnek (Bambara és Ndakidemi, 2010; Zaijun et al., 2005). A pillangósok molibdén hiánya is ezekben a tünetekben nyilvánul meg, hiszen e mikroelem hiánya megakadályozza a növények gyökerein lévő gümőbaktériumok nitrogén megkötését.

Nem megfelelő Mo-ellátottság esetén ezenkívül csökken a cukortartalom, a klorofilltartalom és a fotoszintézis intenzitása, valamint az aszkorbinsav bioszintézise is gátolt lesz, így pl. a növényi levelek C-vitamin tartalma az átlagos érték negyedére is lecsökkenhet. Mo-hiányos növények levélszövegeiben a nitrát akkumulálódik és a növények fehérjetartalma csökken (Gowariker et al., 2009; Wang et al., 1999; Hu et al., 1998).

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, tenyészpúp elhalása (Gupta és Lipsett, 1981).

Egyes növények különösen érzékenyek a Mo-hiányra, ezért indikátornövényként is használhatók (Katyal és Randhawa, 1983; Duval et al., 1991). 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

ostornyelhez válik hasonlóvá. Ez a „whiptail” (ostornyel) nevű hiánybetegség tünetei. 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 (Weir és Creswell, 1993; Szabó et al., 1987).

Gupta és Lipsett (1981) feljegyzése szerint a savanyú, kedvezőtlen szerkezetű talajaink meszezése, lazítása általában elegendő a Mo-hiány leküzdésére. Hamlin (2007) azonban azt is kiemeli, hogy savanyú talajon a nagyobb adagú foszfortrágyázás is hozzájárulhat a Mo-hiányos állapot megszüntetéséhez a növényekben. Savanyú talajokban ugyanis a molibdén jelentős mennyisége vas- és alumínium-oxidokhoz kapcsolódva található meg. Hamlin (2007) publikációjában azonban arra mutat rá, hogy a talajba juttatott foszfáton erősebben kötődik a szorpciós helyeken, így a foszfortrágyázás hatására a kötésben lévő molibdén jelentős mennyisége felszabadul és a talajoldatba kerülve a növények számára már felvehetővé válik. Hamlin (2007) továbbá azt is kiemeli, hogy a foszfor azáltal is elősegítheti a molibdén felvételét, hogy a molibdénnel foszфомolibdenát komplexet képez a talajban, amelyet a növények könnyebben hasznosítanak.

3.3.4. Az optimális molibdén ellátottság kedvező hatásai a növények fejlődésére

Bár a növények molibdén szükséglete rendkívül alacsony, számos kutatás igazolja, hogy a növények igényét meghaladó Mo mennyiség kedvezően hat a növények fejlődésére és terméshozamára.

Škarpa et al. (2013) 2008 és 2011 között beállított szántóföldi kísérletükben a molibdén napraforgó növények hozamára kifejtett hatását tanulmányozták. Megállapították, hogy 125 g ha^{-1} Mo lombtrágyaként történő kijuttatása növekedést eredményezett a napraforgó növények biomassza tömegében és száraz anyag tartalmában. Továbbá kimutatták, hogy az alkalmazott Mo-kezelés szignifikánsan növelte a napraforgó termésmennyiségét a kontrollhoz viszonyítva.

Karpagam és Rajesh (2014) szántóföldi kísérletben követték nyomon, hogy az általuk alkalmazott molibdén kezelések, hogyan hatnak a mungóbab fejlődésére, hozamára homokos agyagtalajon. A molibdént nátrium-molibdenát formájában 0; 200; 400; 600; 800 és 1000 g ha^{-1} mennyiségben juttatták ki a területre. Azt tapasztalták, hogy 1000 g ha^{-1} Mo-dózis bizonyult legeredményesebbnek a növény fejlődése és a terméshozama tekintetében. Ennél a kezelésnél ugyanis a gyökér hossza kétszeresére,

száraz tömege közel háromszorosára emelkedett, a hajtás száraz tömegében pedig közel kétszeres növekedést mutattak ki a kontroll növényekhez képest. A mungóbab hüvelyek tömege (kg ha^{-1}) közel 70%-kal, a termés tömege több mint 85%-kal nőtt a kontrollhoz viszonyítva.

Gungula és Garjila (2006) kutatómunkájukban arra keresték a választ, hogy az általuk alkalmazott Mo-dózisok (0; 0,13; 0,26 és 0,39 kg ha^{-1}) hogyan befolyásolják a terméshozamot homoki bab növények esetében. 0,26 kg ha^{-1} dózisonál 1280 kg ha^{-1} , 0,39 kg ha^{-1} dózisonál 1250 kg ha^{-1} termésmennyiséget állapítottak meg és azt tapasztalták, hogy a terméshozam molibdén kiegészítés nélkül volt a legalacsonyabb (1069 kg ha^{-1}).

Shil et al. (2007) kutatásainak egyik jelentős célkitűzése volt, hogy meghatározzák azt a molibdén mennyiséget, amely a maximális hozam eléréséhez szükséges csicseriborsó növényeknél. A kísérlet beállítása egy karbonátos, valamint egy nem karbonátos öntéstalajon történt és az alkalmazott Mo-dózisok a következők voltak: 0; 1; 1,5 és 2 kg ha^{-1} . Feljegyzésük szerint a legnagyobb termésmennyiséget 1,5 kg ha^{-1} Mo dózis alkalmazásával érték el. Karbonátos öntéstalajon 14,9%-os, nem karbonátos öntéstalajon 16,4%-os növekedést mutattak ki a kontrollhoz viszonyítva. Ezenkívül Valenciano et al. (2011) szántóföldi kísérletei is azt igazolják, hogy a molibdénellátásnak fontos szerepe van csicseriborsó terméshozamának növelésében. Kimutatták, hogy a molibdén 241 g ha^{-1} dózisban történő alkalmazása a borsóhüvelyek száraz tömegében több mint 26%-os, a növények száraz tömegében közel 20%-os, míg a termésmennyiségben 25%-os növekedést eredményezett. Brkić et al. (2004) kutatómunkájukban a molibdén fejtrágyaként (250 g ha^{-1}) történő kijuttatásának hatását vizsgálták 1999 és 2000 között zöldborsó növényeken. Feljegyzésük szerint a molibdén kezelés mindkét évben 12,5-15%-os növekedést eredményezett a zöldtömeg gyarapodásban a kezeletlen növényekhez viszonyítva.

Kotecki (1991) kutatómunkájában a molibdén pótlásának lehetőségeivel foglalkozott és arról számolt be, hogy a borsónál 5-6 leveles állapotban és a virágzás kezdetén adagolt molibdén növelte a virágok számát, a terméshozamot és a zöldborsó összfehérje tartalmára, illetve táplálkozási értékére is pozitívan hatott.

3.3.5. A molibdén felesleg hatása a növények fejlődésére

A növények a molibdén feleslegére kevésbé érzékenyek. Nagy mésztartalmú, lúgos kémhatású talajokon, illetve ártéri területeken extrém nagy koncentrációban is képesek akkumulálni, és toxikus hatás sok esetben csak igen nagy koncentrációnál jelentkezik (Broadley et al., 1995; Anke és Seifert, 2007).

Azonban az egyes növények eltérést mutatnak a molibdén akkumulációja szempontjából. Például Nayyar et al. (1977) vizsgálatai szerint a káposztafélék (*Brassica*) akkumulálták a legnagyobb mennyiségben a molibdént ($538 \mu\text{g g}^{-1}$), amelyet sorrendben a homoki bab (*Vigna unguiculata* L.) követett ($410 \mu\text{g g}^{-1}$). Megállapításuk szerint a kukorica (*Zea mays* L.) és a seprőcirok (*Sorghum vulgare* Pers.) a gyengén akkumuláló növények közé tartozott ($54,85\text{--}69,09 \mu\text{g g}^{-1}$). Davis et al. (1978) feljegyzése szerint a molibdén már toxikus tüneteket eredményezett az árpánál (*Hordeum vulgare* L.), amikor a levélszövetek Mo tartalma meghaladta a 135 mg kg^{-1} értéket, viszont Gupta et al. (1978) arról számoltak be, hogy káposztánál (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) és a hagymánál (*Allium cepa* L.) abban az esetben sem jelentkezett fitotoxikus hatás, amikor a levelekben mérhető Mo koncentráció több mint $500 \mu\text{g g}^{-1}$ volt.

Gupta (1997b) arról számolt be, hogy a molibdén többlet legszembetűnőbb jele a levelek aranysárgától-narancssárgáig terjedő klorózisa. További tüneteihez tartozik még az ízközők gátolt megnyúlása, a hónaljrügyek kihajtása, az idősebb levelek elpozsgásodása, valamint a szárvastagodás (Anke és Seifert, 2007). Ezenkívül Kevresan et al. (2001) feljegyzése szerint a molibdén felesleg a hajtás és a gyökér fejlődését is gátolja.

Növényeknél toxicitási tüneteket csak ritkán tapasztalhatunk, azonban magas Mo koncentrációjuk komoly veszélyt hordoz magában. Bár a növényeknél általában még nagyfokú molibdén akkumuláció esetén sem lép fel anyagcserezavar, nem jelentkezik fitotoxikus hatás, az állatoknál, főként a kérődzőknél ez a koncentráció már molibdenózist okozhat. A betegség kialakulásának kockázata már 5 mg kg^{-1} Mo-tartalom (sz. a.) felett jelentős, amelyről nem feledkezhetünk meg az állatok takarmányozásakor (Gupta és Lipsett, 1981; Anke et al., 2010).

3.3.6. A molibdén hatása a növények makroelem felvételére

Számos tanulmány igazolja, hogy a molibdén bizonyos elemekre szinergista hatással van, vagyis felvételüket elősegíti, míg más elemekre antagonista, vagyis ellenirányú, gátló hatást fejt ki. A szakirodalmak szerint a makrotápanyagok közül elsősorban a nitrogén, foszfor és a kén felvételére van hatással.

Mivel a molibdén kulcsszerepet játszik a nitrogén anyagcserében, így a felvételét elősegíti (Silva et al., 2012). Vieira et al. (1998) arról számoltak be, hogy közönséges bab (*Phaseolus vulgaris* L.) esetében, 40 g ha⁻¹ molibdén kijuttatása levéltrágya formájában, 10%-kal növelte meg a szemtermés összes nitrogén tartalmát. Steiner és Zoz (2015) megállapították, hogy 78 g ha⁻¹ molibdén 142%-os növekedést eredményezett a napraforgó levelének összes N tartalmában a kontrollhoz viszonyítva. Škarpa et al. (2013) szerint 125 g ha⁻¹ molibdén kijuttatása, napraforgó esetében valamennyi növényi részben szignifikáns növekedést okozott a N mennyiségében. Továbbá Bagheri és Jafari (2012) árpa esetében, Toledo et al. (2010) szója esetében, Yu et al. (2010) őszi búzánál számolt be a molibdén és a nitrogén közötti pozitív korrelációs kapcsolatról.

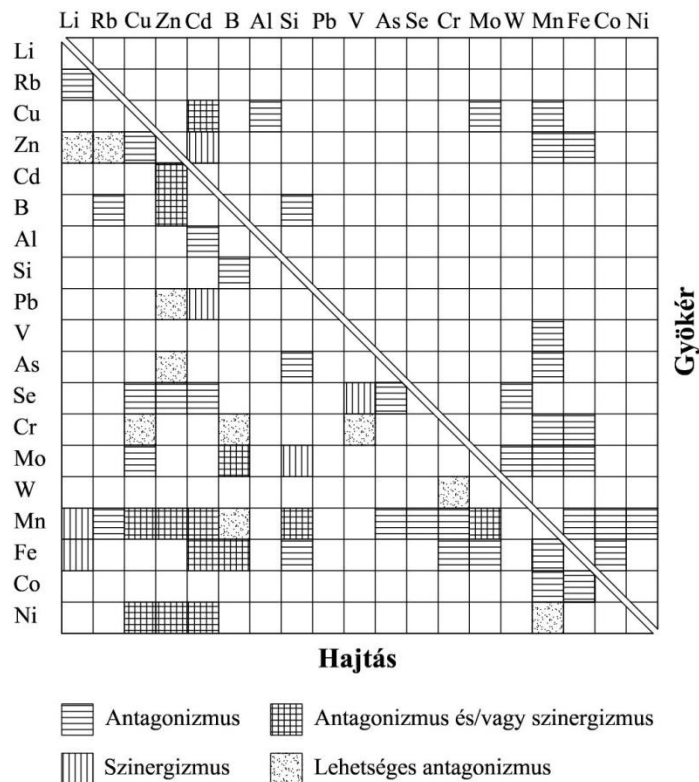
Jelentős számú publikáció jelent meg a molibdén és a foszfor kölcsönhatásának a vizsgálatáról is, azonban az eredmények egymásnak ellentmondóak. Számos kutató szinergista kapcsolatot feltételez a molibdén és a foszfor között. Például Liu et al. (2010) megállapították, hogy a hidropónikus kísérletükben az alkalmazott molibdén (0; 0,01; 0,1 és 1 mg dm⁻³) fokozta a repce (*Brassica napus* L.) foszfor felvételét, a foszfor koncentrációja a hajtásában és a gyökerében is megemelkedett a kontrollhoz viszonyítva. Zakikhani et al. (2014b) hidropónikus körülmények között azt tapasztalták, hogy a növekvő koncentrációjú molibdén kezelések (0; 0,01; 0,1 és 1 mg dm⁻³) hatására a rizs (*Oryza sativa* L.) hajtásában a foszfor koncentráció szignifikánsan nőtt, azonban a gyökér foszfor koncentrációjára nem volt hatással. Basak et al. (1982) szintén arról számoltak be, hogy üvegházi kísérletükben a molibdén (0; 2,5 és 5,0 mg dm⁻³) fokozta a foszfor felvételét a rizs hajtásában, azonban a gyökérben a Mo-kezelés és a foszfor tartalom között nem lehetett szignifikáns kapcsolatot kimutatni. Továbbá Kandil et al. (2013) szántóföldi kísérleteik során 15%-os növekedést mutattak ki a közönséges bab foszfor tartalmában 6 mg kg⁻¹ Mo-kezelés hatására, Bhagiya et al. (2005) pedig 20,2%-os növekedést jegyeztek fel földimogyoró esetében 4 kg ha⁻¹ Mo-dózis kijuttatásakor.

Azonban egyes kutatási eredmények arra mutatnak rá, hogy a molibdén akadályozza a foszfor felvételét. Például Kumar és Singh (1980) üvegházi kísérletei során azt tapasztalták, hogy az alkalmazott molibdén kezelés szója esetében szignifikánsan csökkentette a levél, a szár, a hüvely és a mag P koncentrációját. Feltételezésük szerint a P tartalom csökkenése annak köszönhető, hogy a molibdenátion és a foszfátion is anionos formában adszorbeálódik, így a két ion között verseny alakul ki a szabad adszorpciós helyekért. Chatterjee et al. (1985) szintén antagonista kapcsolatot mutatott ki a Mo és a P között mustár esetében, és ezt megerősítették Heuwinkel et al. (1992) eredményei is, miszerint a molibdén hiánya paradicsomnál serkentette a foszfor felvételt. Greenwood és Hallsworth (1960), Singh és Jain (1968) viszont arról számoltak be, hogy az általuk alkalmazott Mo-kezelések nem voltak hatással sem a lóhere (*Trifolium subterraneum* L.) sem a homoki bab (*Vigna unguiculate* L.) foszfor felvételére.

A molibdén és a kén között antagonista kapcsolat áll fent (Shukla és Pathak, 1973; Gupta és Mehla, 1980; Gupta és MacLeod, 1975). Ezt a tényt igazolja Pasricha és Randhawa (1972) eredményei is, miszerint a molibdén kezelés hatására a szareptai mustár (*Brassica juncea* L.) vegetatív szerveiben a kén koncentrációja csökkent. Néhány kutatási eredmény azonban nem támasztja alá a fent említett antagonista kapcsolatot. Hunashikatti et al. (2000) például azt tapasztalták, hogy káposzta esetében az 1000 g ha^{-1} Mo fokozta a kén akkumulációját a növényben; a levél- és szárrészben megközelítőleg 25%-kal, a káposztafejen 20%-kal emelkedett meg a S koncentrációja a kontrollhoz képest, azonban a legnagyobb kezelés esetén (2000 g ha^{-1}) valamennyi növényi részben csökkenést állapítottak meg (30-35%-os). Rabbi et al. (2011) arról számoltak be, hogy a szántóföldi kísérletükben a 0,4, illetve $0,8 \text{ kg ha}^{-1}$ Mo kiegészítést kapott kerti borsó S tartalma meghaladta a kontroll növények kén tartalmát. Nasreen és Farid (2003) vizsgálatai is igazolják az előbbi eredményeket: megállapításuk szerint a kerti borsó S tartalma 1 kg ha^{-1} Mo kijuttatásakor volt a legmagasabb.

3.3.7. A molibdén hatása a növények mikroelem felvételére

A molibdén számos mikroelem felvételére van hatással. Az 5. ábra a mikroelemek között lévő legfontosabb szinergista, antagonista kapcsolatokat foglalja össze.



5. ábra: A molibdén és a mikroelemek között lévő legfontosabb szinergista és antagonista kapcsolatok (Kabata-Pendias, 2011)

Az ábrából kitűnik, hogy a Mo a következő mikroelemek felvételét befolyásolja: Cu, Fe, Mn, B, Si. A molibdén és a réz, illetve a molibdén és a vas között kölcsönös antagonizmus áll fent, amely a növény hajtásának és gyökerének elemtartalmában is megmutatkozik. A molibdén és a mangán között egyértelmű antagonista kapcsolatot csak a gyökérben állapítottak meg; a hajtásban a Mo és Mn között szinergista és antagonista kapcsolat egyaránt fennállhat. A Mo és a B között a hajtásban a mangánhoz hasonlóan szintén szinergista és antagonista kapcsolat is jelentkezhethet, azonban a gyökérben az ábra alapján nincs kölcsönhatás a két mikroelem között. Továbbá a Mo elősegíti a Si felvételét, így Si koncentráció növekedést eredményez a növény hajtásában. Ezeket a kapcsolatokat azonban számos tényező befolyásolja, így az egyes kísérleti eredmények gyakran nincsenek összhangban a fenti megállapításokkal.

Zakikhani et al. (2014b) hidropónikus körülmények között tanulmányozták, hogy a növekvő koncentrációjú molibdén kezelések milyen hatással vannak a rizs (*Oryza sativa* L.) mikroelem felvételére. A molibdént, ammónium-molibdenát formájában 0; 0,01; 0,1 és 1 mg dm⁻³ mennyiségben adták a tápoldathoz és a vizsgálataikhoz öt különböző rizsfajtát használtak fel. Megállapították, hogy a hajtások Fe felvétele fordítottan arányos volt a tápoldatok Mo koncentrációjával: a legmagasabb értéket

(59,05 μg növény⁻¹) a kontroll növények esetében mérték, míg a legalacsonyabb Fe koncentrációt (39,93 μg növény⁻¹) a legnagyobb Mo dózis esetében jegyezték fel. Ezek az eredmények összhangban vannak Gerloff et al. (1959) megfigyeléseivel is, miszerint a Mo koncentráció növelése paradicsom esetében Fe-klorózishoz vezetett. Azonban Gad (2012) és Gad és Kandil (2013) feljegyzései szerint a Mo kifejezetten serkentette a vas felvételét földimogyoró és a homoki bab termése esetében.

Zakikhani et al. (2014a) azt tapasztalták, hogy a mangán koncentrációja szignifikánsan emelkedett a Mo-kezelés hatására a hajtásban, viszont a gyökér Mn felvételére a Mo-kezelés nem volt szignifikáns hatással. Basak et al. (1982) szintén arról számoltak be, hogy a Mo a rizs Mn felvételére is pozitívan hatott, azonban a Mo-kezelés nem volt számottevő hatással a gyökér Mn koncentrációjára. Kirsch et al. (1960) azonban arról számoltak be a hidropónikus kísérletük kapcsán, hogy a tápoldatban jelen levő mangán és a vas mennyisége is jelentősen meghatározza a Mo-Mn interakciót. Amikor a tápoldat csak kis mennyiségben tartalmazott vasat és mangánt, a Mo-kezelés csekély hatással volt a felvételükre. A tápoldat alacsonyabb vas és magas mangán koncentrációja esetén, a hozzáadott molibdén csökkentette a mangán felvételét; amikor azonban mindkét elem nagy koncentrációban volt jelen a tápoldatban, a molibdén serkentette a mangán akkumulációját.

Basak et al. (1982) továbbá arra is rávilágítottak, hogy a molibdén a cink és a réz felvételét is befolyásolja. Azt tapasztalták cink esetében, hogy a rizs hajtásában a 2,5 mg kg⁻¹ Mo-kezelés 8%-os, az 5 mg kg⁻¹ Mo-kezelés mintegy 20%-os csökkenést eredményezett a kontroll növényekhez képest, a rizs gyökerében pedig 33%-os, illetve 38%-os csökkenést mutattak ki a Mo-kezelések hatására. A Mo-kezelés ezenkívül a rizs Cu koncentrációjára is hatással volt. A hajtásban és a gyökérben is a réz koncentrációja szignifikánsan csökkent.

Gad (2012) azonban arról számolt be, hogy szántóföldi kísérletében 12 mg kg⁻¹ Mo kijuttatása szignifikánsan megemelte a földimogyoró termésében a Cu koncentrációját a kontroll növényekhez viszonyítva. Továbbá Gad és Kandil (2013) is azt tapasztalta, hogy szántóföldi kísérletükben 16 mg kg⁻¹ Mo kijuttatása a homoki bab szemtermésében az általuk vizsgált valamennyi mikroelem, köztük a réz felvételét elősegítette.

3.4. Élelmiszereink molibdén tartalma

A molibdén valamennyi élelmiszerünkben jelen van, azonban koncentrációja kevesebb, mint 1 mg kg^{-1} (Reilly, 2004; Gropper és Smith, 2012).

A 3. táblázat néhány fontosabb élelmiszerünk Mo koncentrációját foglalja össze. A táblázatból kitűnik, hogy leggazdagabb molibdén forrásunknak az állati belsőségek számítanak; valamint a dió is jelentős Mo tartalommal rendelkezik a többi élelmiszerünkhöz viszonyítva.

3. táblázat: Élelmiszerek Mo-tartalma (mg kg^{-1} nyers tömeg) (Ysart et al., 1999)

Élelmiszercsoportok	Mo-koncentráció (mg kg^{-1} nyers tömeg)
Kenyér	0,20
Egyéb gabonafélék	0,23
Tőkehús	0,01
Belsőségek	1,2
Húskészítmények	0,12
Baromfi	0,04
Hal	0,03
Olajok és zsírok	0,02
Tojás	0,08
Cukor	0,03
Zöldségek	0,15
Zöldségkonzervek	0,31
Friss gyümölcsök	0,01
Gyümölcskonzervek/befőttek	0,009
Italok	0,003
Tej	0,03
Tejtermékek	0,07
Dió	0,96

Az állati belsőségek kiemelkedően magas Mo tartalmát Seifert et al. (2009) mérési eredményei is alátámasztják. Megállapításuk szerint a vese és a máj átlagosan $1,8\text{-}2,9 \text{ mg kg}^{-1}$ molibdént tartalmazott szárazanyagra vonatkoztatva, amely összhangban van Tsongas et al. (1980), illetve Anke et al. (1984; 2007) eredményeivel is.

Ezzel szemben az egyéb állati termékek Mo koncentrációja rendkívül csekélynek mondható (Mills és Davis, 1987). A szarvasmarha, a juh, a kecske és a baromfi hús fogyasztásával csupán $0,075\text{-}0,16 \text{ mg kg}^{-1}$ molibdén juttatható be a szervezetünkbe. A tejipari termékek Mo-tartalma függ az adott termékfajtától, azonban Mo tartalmára jelentős hatással van az előállítás ideje, helye is. A tehéntej Mo tartalma $0,03$ és

0,075 mg kg⁻¹ értékek között ingadozik és általánosságban elmondható, hogy a tej Mo tartalma meghaladja a sajtok és túrók Mo-tartalmát (Seifert et al., 2009).

A növényi élelmiszerek Mo-koncentrációja Kabata-Pendias (2011) közleménye szerint 0,07 és 2,1 mg kg⁻¹ közötti tartományban mozog. A tartomány felső részében a hüvelyesek szerepelnek, míg legalacsonyabb Mo értékeket a gyümölcsöknél állapítottak meg (4. táblázat).

4. táblázat: Növényi élelmiszerek molibdén koncentrációja (mg kg⁻¹ sz. a.)
(Kabata-Pendias, 2011)

Növény	Növényi rész	Mo-koncentráció (mg kg ⁻¹ sz. a.)
Kidney bab	szemtermés	0,9-1,6
Zöldborsó	szemtermés	1,2-1,75
Zöldbab	hüvely	2,1
Csemegekukorica	szemtermés	0,18
Cukorrépa	gyökér	0,45-0,75
Cukorrépa	levél	0,39
Saláta	levél	0,074
Káposzta	levél	0,85
Burgonya	gumó	0,15-0,25
Hagyma	gumó	0,16-0,24
Uborka	kabaktermés	0,82
Paradicsom	bogyótermés	0,82
Alma	gyümölcs	0,07
Narancs	gyümölcs	0,11

A hüvelyeseken kívül a levélzöltségek Mo koncentrációja is viszonylag magasnak mondható. Például Anke és Seifert (2007) mérései szerint a levélzöltségek Mo koncentrációja 0,6-1,5 mg kg⁻¹, míg azoknál a zöltségeknél, amelyeknek a gumóját, vagy szárát fogyasztjuk (burgonya, retek, hagyma, karalábé, spárga), alacsonyabb Mo tartalmat állapítottak meg (0,1-0,7 mg kg⁻¹).

A gabonafélék átlagos Mo koncentrációja szárazanyagra számítva 0,49 mg kg⁻¹. A különböző országok termőterületéről származó gabonanövények Mo tartalma nem mutat nagy ingadozást. Kabata-Pendias (2011) feljegyzése szerint a búza Mo koncentrációja 0,18-0,64 mg kg⁻¹, a rozsé 0,4-0,54 mg kg⁻¹, az árpáé 0,16-0,72 mg kg⁻¹ és a zabé 0,41-0,88 mg kg⁻¹.

A fenti értékektől azonban jelentős eltéréseket tapasztalhatunk abban az esetben, ha az adott növény termesztése molibdénnel szennyezett területen történik (Reilly, 2004). Hornic et al. (1976) arról számoltak be, hogy egy Mo feldolgozó üzem közelében

termesztett saláták 124 mg kg^{-1} , a káposzták 1061 mg kg^{-1} Mo koncentrációval rendelkeztek. Furr et al. (1980) megállapították, hogy azon területeken, amelyeken települési szennyvíziszapot alkalmaztak a talaj javítására, a termesztett bab Mo koncentrációja $0,8 \text{ mg kg}^{-1}$ értékről, 18 mg kg^{-1} -ra, a káposztáé $0,4 \text{ mg kg}^{-1}$ -ről, 19 mg kg^{-1} -ra emelkedett. Schalscha et al. (1987) feljegyzései szerint Chilében, a Mo feldolgozóérc közelében termesztett fűfélék Mo koncentrációja $6,5$ és $36,0 \text{ mg kg}^{-1}$ közé esett. Mindez arra hívja fel a figyelmünket, hogy az ipari szennyezés (bányászat, fémfeldolgozás), illetve a mezőgazdasági tevékenység esetenként felelős lehet a növények extrém magas Mo koncentrációjáért, hiszen nagy koncentrációban képesek akkumulálni (Seifert et al., 2009).

3.5. A molibdén szerepe az emberi szervezetben

A molibdén egy esszenciális mikroelem az emberi szervezet számára. Kofaktorként részt vesz a szulfít-oxidáz, a xantin-oxidáz és az aldehid-oxidáz működésében, így hiánya ezen enzimek működésének zavarában nyilvánul meg (Rajagopalan, 1988; Momcilović, 1999; Sardesai, 1993; Ali et al., 2014; Gropper és Smith, 2012).

Molibdén hiány felnőtt embereknél ritkán lép fel. Elsősorban parentálisan táplált betegeknel (pl. Chron-betegség) jelentkezik. A betegeknel csökken a szulfít-oxidáz aktivitása, amelyet számos tünet kísérhet: szapora légzés, fokozott szívverés, fejfájás, hányinger, hányás, ödéma, farkasvakság, levertség, zavartság és kóma. Ezekhez a tünetekhez számos biokémiai rendellenesség is társul. Molibdén hiányakor a vérszérum metionin, hypoxantin és xantin koncentrációja megemelkedik, húgysav szintje viszont alacsony, ugyanis a xantin-oxidáz enzim nem működik megfelelően. Továbbá a vizeletet magas szulfít és alacsony szulfátkoncentráció jellemzi a szulfít-oxidáz enzim alulműködése miatt. Azonban a tapasztalatok azt mutatják, hogy naponta $300 \text{ } \mu\text{g}$ ammónium-molibdát ($163 \text{ } \mu\text{g Mo}$) szervezetbe történő juttatásával a fenti tünetek visszafordíthatóak (Turnlund, 2002; Gropper és Smith, 2012; Anke et al., 2010; Nath, 2000; Howerde, 1999).

A molibdén nélkülözhetetlen szerepét az emberi szervezetben a molibdén kofaktor hiány elnevezésű genetikai rendellenesség is igazolja. Ez egy recesszíven öröklődő ritka betegség, amely során a szulfít-oxidáz aktivitás hiánya miatt a mérgező szulfít felgyülemlik a csecsemő szervezetében és általában hónapokon belül halálhoz vezet. A molibdén kofaktor hiány görcsös rohamokat, hiper-ingerlékenységet, egyéb neurotikus

tüneteket, agykárosodást, hipotóniát (túl gyenge izomtónus) és további növekedési rendellenességeket okoz. A csecsemők vérében a húgysav szint alacsony, viszont a vizelet szulfít, tioszulfát, valamint S-szulfocisztein tartalma magas. A betegség legfontosabb ismertetője az *ectopia lentis* (a szemlencse rendellenes elhelyezkedése) megjelenése (Reiss et al., 1999; Reiss, 2000; Salman et al., 2002; Johnson et al., 1993; Johnson, 2003; Van Gennip et al., 1994).

A molibdénre azonban csak kis mennyiségben van szüksége a szervezetünknek. A Magyar Élelmiszerkönyv (2001) 1-1-90/496 számú előírása szerint a felnőttek számára ajánlott napi beviteli mennyiség (RDA; (Recommended Dietary Allowance) molibdén esetében 50 µg. Az élelmiszerekből történő felszívódása széles határok között ingadozik. Vyskocil és Viau (1999) feljegyzése szerint 28% és 75%, Gropper és Smith (2012) szerint 51% és 85%, Turnlund et al. (1993) és Cantone et al. (1992) szerint 85% és 90% közé tehető az élelmiszerekből történő hasznosulása. Felszívódását a szulfátionok (SO_4^{2-}) elősegítik (Gropper és Smith, 2012), a szükségesnél nagyobb mennyiségű réz bevitel azonban gátolja (Bremner, 1979). A szervezetünkben való eloszlása nem egyenletes. Jelentős része a májban, a vesében és a mellékvesékben koncentrálódik (Sullivan és Krieger, 1992). Takács (1992) megállapítása szerint a vese 0,3 mg kg⁻¹, a mellékvese 0,7 mg kg⁻¹ molibdént tartalmaz, a máj átlagos Mo koncentrációja 1 mg kg⁻¹. A vérében Mo koncentrációja ettől jóval kevesebb. Caroli et al. (1994) mérései szerint 0,58-0,91 µg dm⁻³, Vandecasteele et al. (1990) szerint 0,59-0,75 µg dm⁻³, Iyengar és Woittiez (1988) szerint 1,78 µg dm⁻³, valamint Forrer et al. (2001) feljegyzése alapján 0,44 µg dm⁻³.

Számos kutatás igazolja, hogy a molibdén fontos szerepet játszik az egészségünk megőrzésében. Például Kolesarova et al. (2011) vizsgálatai igazolják, hogy a molibdén jelenléte a sejtek működéséhez nélkülözhetetlen. Marczenko és Lobinski (1991), Davies és Anderson (1987), valamint Curzon et al. (1971) arról számolnak be, hogy a fogak egészségi állapotára is hatással van, beépül a fogzománcba és kielégítő ellátottság esetén csökkenti a fogszuvasodás veszélyét.

Brewer et al. (1991; 2003) arról számoltak be, hogy ammónium-molibdát-tetrahidrát formájában a Wilson kór (rézanyagcsere zavar) kezelésében is eredményesnek bizonyult. Ezenkívül kimutatták, hogy összefüggés van szervezetünk Mo tartalma és egyes rákos elváltozások kialakulása között (Van Rensburg et al., 1985). Például Béres (2000) arról számolt be, hogy a molibdén pH 6,0 és 8,0 között megakadályozta a rákkeltő ágensek foszforvegyületeinek képződését, mivel a foszfort képes lekötni,

valamint gátolta a ráksejtek információját hordozó B-kromatin részecskék szaporodását is. Yang (1980) arra hívta fel a figyelmet, hogy Kínának azokon a területein, ahol a nyelőcsőrák gyakori, a lakosok vérérum, haj és vizelet mintáiban a Mo mennyisége jóval alacsonyabb volt, mint azokon a területeken, ahol a nyelőcsőrák nem annyira jellemző.

Mivel a molibdén általában csak kis mennyiségben van jelen élelmiszereinkben, ezért változatos táplálkozás mellett molibdén túladagolás ritkán fordul elő. Örményországban számoltak be például arról, hogy azokon a területeken, ahol magas a talaj Mo tartalma és ebből adódóan a molibdén napi bevitele a 10-15 mg-ot is elérte, a köszvényeszerű megbetegedések száma jelentősen megemelkedett. A betegek vérének húgysav tartalma magas volt, feltehetően a xantin-oxidáz aktivitás növekedése miatt (Eisler, 2007; Takács, 1992). Ezenkívül az ipari tevékenység (fémmolibdén feldolgozás, molibdén-trioxid használata) is eredményezhet toxikus tüneteket (Takács, 1992). Például Momcilović (1999) arról számolt be, hogy acélgyártás során, az adalékanyagként felhasznált molibdén gőz a következő tüneteket okozta a dolgozóknál: levertség, gyengeség, fáradtság, étvágytalanság, fejfájás, ízületi fájdalom, izomfájdalom, mellkasi fájdalom, száraz köhögés és hasmenés.

Azonban a szakirodalomban nincs egységes álláspont arra vonatkozólag, hogy mennyi az a molibdén koncentráció, amely már toxikus tüneteket eredményezhet az emberi és az állati szervezetben. Például Kádár (2012) megállapítása szerint a molibdén toxikus tünetei már $5-10 \text{ mg kg}^{-1}$ Mo-koncentráció bevitele esetén jelentkeznek, Stojek (2013) feljegyzése szerint azonban ez a koncentrációérték magasabb, $10-20 \text{ mg kg}^{-1}$, Ward (1978) szerint pedig a molibdéntoxikózis csak 20 mg kg^{-1} felett fordul elő. Valamennyi publikáció kiemeli azonban, hogy a molibdén túlsúlya azért veszélyes, mert akadályozza a réz felszívódását. Ugyanis alig van két olyan elem, amely között olyan egyértelmű antagonizmus lenne, mint a molibdén és a réz. A molibdéntoxikózis viszont réz adagolásával gyógyítható.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. Beállított kísérletek

Vizsgálataim tárgyát a Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növényteni és Növényélettani Tanszékcsoport Klímaszobájában beállított tápoldatos és rizoboxos kísérlet, valamint az Agrokémiai és Talajtani Intézetének Tenyészházában beállított tenyészedenyes kísérlet növény- és talajmintái képezték.

4.1.1. Tápoldatos kísérlet

A tápoldatos kísérletekben egy- és kétszikű teszt növényként, kukoricát (*Zea mays* L. cv. Norma SC) és napraforgót (*Helianthus annuus* L. cv. Arena PR) választottam. Azért tartottam fontosnak, hogy a kísérletet egyszikű és kétszikű növényekkel is elvégezzem, mert a két növény típus tápanyagfelvételében számos különbség van (Marschner et al., 1986). A kétszikűek a kationok egy részét (ilyen a vas és a cink) egy többlépcsős mechanizmuson keresztül veszik fel, melynek során proton és elektron kiválasztás történik a rizoszférába. Ez két lényeges dolgot jelent. Egyrészt a proton és elektron kiválasztás energiaigényes, azaz a már megtermelt szerves anyagok mennyiségének rovására történik és kapcsolt a gyökérlégzéshez, másrészt a kiválasztás a rizoszféra elsavanyítását eredményezi, így számos tápanyag oldékonysága, ezzel együtt a felvehetősége nő. Az egyszikűek viszont olyan kelátképző szerves vegyületeket választanak ki, mint amilyenek a fitoszideroforok, és a tápanyagokat ezekhez a kelátképzőkhöz kötötten veszik fel. Az egyszikűek tápanyagfelvétele ezért kevésbé függ a rizoszféra pH-jától.

A magvak csíráztatása előtt, a kukorica és napraforgó magvak felületéről többszöri mosással eltávolítottuk a csávázószert, majd a magvak felületének sterilizálása érdekében azokat 18%-os H_2O_2 -oldatba helyeztük. 20 perc elteltével a fertőtlenített magvakat desztillált vízzel többször öblítettük, majd 10 mM-os $CaSO_4$ oldatban 4 óráig áztattuk a jobb csírázás érdekében. A magvakat, fertőtlenítés után nedves szűrőpapírok között csíráztattuk, geotrópusan stimulálva, 22°C-on. A 2,5-3,0 cm koleoptillal rendelkező csíranövényeket 1,7 liter űrtartalmú edényekben neveltük hidropónikus körülmények között (Lévai és Kovács, 2001). Egy-egy edénybe négy növényt helyeztünk. A csíranövények rögzítését a tenyészedenyekben sterilizált szivacsok segítségével oldottuk meg.

A tápoldatos kísérletben az egyszikű növények nevelésére a következő összetételű tápoldatot alkalmaztuk: 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 kétszikű növények nevelésére pedig a következő összetételű tápoldat előállítására volt szükség: 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, 10 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 tápoldathoz adtuk, a kezeléseknek megfelelően. A kezelések a következők voltak: 0; 0,07; 0,7; 7 μM Mo koncentrációk. A legkisebb Mo-kezelés megválasztásánál azt a tényt vettük figyelembe, hogy a növények fiziológiás Mo-igénye Cakmak és Marschner (1990) meghatározása alapján 0,07 μM ($6,72 \mu\text{g kg}^{-1}$).

A kísérletben az ismétlések száma három volt. A tápoldatos kísérletnél, mivel a tápoldatban nincs légnemű fázis, a gyökerek megfelelő oxigénellátásáról is gondoskodni kellett. Ezt a levegő átbuborékoltatása biztosította. A tápoldatot kétnaponta cseréltük és az elpárolgott vizet rendszeresen pótoltuk.

A növények nevelésére a Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növényteni és Növényélettani Tanszékcsoport Klímaszobájában került sor (6. ábra), ahol a környezeti tényezők szabályozottak voltak: a fényintenzitás $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a hőmérséklet periodicitása 25/20°C (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) 65-75%, a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra.



6. ábra: Kukorica és napraforgó csíranövények nevelése a klímaszobában
(Fotó: Bódi, 2008)

A tápoldatos kísérlet bontására az ültetést követő 9. napon került sor. A kiértékeléskor a csíranövényeink megközelítőleg 12-12 cm-es hajtással és gyökérrel rendelkeztek.

A kísérlet befejezésekor a tápoldaton nevelt kísérleti növények gyökereit 0,1 M-os HCl-val mostuk át, ioncserélt vízzel többször leöblítettük, majd ezt követően a hajtás és gyökér részeket elkülönítettük egymástól.

A kísérlet részeként meghatároztuk a teszt növények száraz tömegét, makroelem, illetve mikroelem készletét, a növény által felvett Mo mennyiséget, valamint a növényi részek $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációjának a változását is nyomon követtük a Mo-kezelések függvényében.

4.1.2. Rizoboxos kísérlet

A rizoboxos kísérletekben speciálisan kialakított növénynevelő boxokat alkalmaztunk, ahol a növények gyökerének növekedése, a növekedés napi, napszaki ritmusa is nyomonkövethető, valamint az is látható, hogy a növekvő Mo-koncentráció okoz-e fitotoxikus tüneteket a kísérleti növényeink gyökereinél (7. ábra).

A rizoboxos kísérletekben szintén kukoricát (*Zea mays* L. cv Norma SC), illetve napraforgót (*Helianthus annuus* L. cv Arena PR) használtunk. A kísérlethez a Debreceni Egyetem, Látóképi Kísérleti Telepéről származó mészelepédkes csernozjom talajt használtunk fel, melynek legfontosabb paramétereit az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat: A kísérleti talaj legfontosabb paramétereit

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

Az alkalmazott talajt tömegállandóságig szárítottuk, majd 6 mm-es lyukátmérőjű szitán szitáltuk át.

A kontroll talajhoz nem adtunk molibdént, a kezeléseknél pedig a hozzáadott molibdén koncentrációk a következők voltak: 30, 90 és 270 mg kg⁻¹. A molibdént hexaammónium-heptamolibdenát [(NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O] formájában adtuk a talajhoz. A különböző koncentrációjú oldatot a talajmintákra permetezve egyenletesen vittük fel, majd folytonos keveréssel homogenizáltuk. Ahhoz, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy az edényekben lévő talajminták kellő mértékben lettek homogenizálva, a kezelt talajok Mo koncentrációját is megmértük. Az oldatok hozzáadásával a talaj nedvességtartalma a szabadföldi vízkapacitás 60 V/V%-ára 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. A kísérlet során 1 cm mély, 255 cm³-es rizoboxokat alkalmaztunk a növények nevelésére.

Mielőtt a talajt a rizoboxokba raktuk, az egyes rizoboxok aljára ioncserélt vízzel benedvesített szűrőpapírt helyeztünk. Ezáltal biztosítottuk az egyenletes vízfelvételt a növények számára.

A tápoldatos kísérlet előkészítéséhez hasonlóan a 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 áztattuk, amely elősegítette a magvak csírázását. A magvakat a klímaszobában a felszíni sterilizálást követően függőlegesen állított nedves szűrőpapír tekercsben 22°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. Miután a csíráztatott magvakat az elkészített talajba helyeztük, a rizoboxok átlátszó oldalát fekete fóliával borítottuk be.

A rizoboxokat 45°-ban megdőntve helyeztük el egy speciális rizobox tartó keretben (7. ábra), így a gyökerek a rizobox átlátszó fala mentén növekedtek, amely biztosította a gyökerek növekedésének nyomonkövetését. Naponta mértük a rizoboxok tömegét és a hiányzó vízmennyiséget (evaporáció, transpiráció) pótoltuk.

A növények nevelésére a Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növényteni és Növényélettani Tanszékcsoport Klímaszobájában került sor, ahol a környezeti tényezők szabályozottak voltak: a fényintenzitás 300 μmol m⁻² 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 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 száraz tömeg meghatározásához a mintákat 85°C-on tömegállandóságig szárítottuk, és szobahőmérsékletre történő visszahűtésük után analitikai mérlegen (OHAUS) mértük.

A kísérlet során meghatároztuk a kísérleti növények gyökérnövekedését, a hajtás és a gyökér száraz tömegét, makro- és mikroelem tartalmát, a növényi részek által kivont Mo mennyiséget, illetve a növényi részek $\text{NO}_3\text{-N}$, és $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációjának a változását is nyomon követtük a Mo-kezelések függvényében. A talajvizsgálat során pedig az alkalmazott talaj oldható Mo tartalmának, illetve összes elemtartalmának meghatározására került sor.



7. ábra: Kukorica és napraforgó csíranövények nevelése rizoboxokban
(Fotó: Bódi, 2008)

4.1.3. Tenyészedényes kísérlet

A tenyészedényes kísérletet 2015 tavaszán a Debreceni Egyetem, Agrokémiai és Talajtani Intézetének Tenyészházában állítottuk be (8. ábra). A kísérlet során azt

vizsgáltuk, milyen hatással van a növekvő koncentrációjú molibdén kezelés a zöldborsó növekedésére és elemtartalmára.

A kísérletben alkalmazott talajtípusok a következők voltak:

- 1.) mészlepedékes csernozjom talaj (pH=6,58) – DE MÉK Látóképi Kísérleti Telep
- 2.) humuszos homoktalaj (pH=7,14) – DE Pallagi Kertészeti Kísérleti Telep
- 3.) humuszos homoktalaj (pH=5,09) – Nyíregyházi Egyetem Ferenctanyai Tangazdaság



8. ábra: Zöldborsók nevelése tenyészedenyekben (Fotó: Bódi, 2015)

A kísérleti talajok legfontosabb paramétereit a 6. táblázatban foglaltam össze.

6. táblázat: Az alkalmazott talajtípusok legfontosabb paramétereit

	Látókép	Pallag	Nyíregyháza
Mélység (m)	0-0,3	0-0,3	0-0,3
pH (KCl)	5,71	6,35	3,95
pH (H ₂ O)	6,58	7,14	5,09
Arany-féle kötöttség (K _a)	43	30	-
CaCO ₃ (%)	0,202	0,5	-
Humusz (%)	3,54	1,12	0,99
AL-oldható P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	199	235	21,1
AL-oldható K ₂ O (mg kg ⁻¹)	451	287	67,9

A molibdént nátrium-molibdenát (Na₂MoO₄·2H₂O) formájában, desztillált vízben feloldva adtuk a talajhoz. Mészlepedékes csernozjom talaj (Látókép) esetében 0, 3, 30,

90 és 270 mg kg⁻¹ molibdén kezeléseket alkalmaztunk, a pallagi, illetve a nyíregyházi humuszos homoktalajok esetében pedig az alkalmazott kezelések a következők voltak: 0, 30 és 270 mg kg⁻¹. A kontroll talajhoz nem adtunk molibdént.

A műtrágyázás során a nitrogént KNO₃ (látóképi talaj: 1,44 g edény⁻¹; pallagi talaj: 1,96 g edény⁻¹; nyíregyházi talaj: 2,19 g edény⁻¹), a foszfort KH₂PO₄ (látóképi talaj: 0,229 g edény⁻¹; pallagi talaj: 0,244 g edény⁻¹; nyíregyházi talaj: 0,428 g edény⁻¹), a káliumot pedig K₂SO₄ (látóképi talaj: 0,149 g edény⁻¹; pallagi talaj: 0,139 g edény⁻¹; nyíregyházi talaj: 0,184 g edény⁻¹) formájában juttattuk a talajba, edényenként 100 cm³ oldatok formájában.

Az NPK műtrágyamennyiségek megválasztása a kísérleti talaj tápanyag-ellátottsága (7. táblázat) és a tervezett termésátlag alapján történt. A kísérleti talajok N-, P- és K-tápanyag-ellátottsági kategóriába sorolásakor a hazai műtrágyázási gyakorlatban alkalmazott MÉM NAK irányelveket vettük alapul (Antal et al., 1979).

7. táblázat: A kísérleti talaj tápanyag-ellátottsága (Antal et al., 1979)

Hely	N-ellátottság	P-ellátottság	K-ellátottság
Látókép	jó	jó	jó
Pallag	megfelelő	sok	sok
Nyíregyháza	közepes	igen gyenge	gyenge

A kísérlet beállításakor 11 kg légszáraz, 1 cm rostán átrostált talajt mértünk be az egyes műanyag vödrökbe. A molibdént és NPK műtrágyát tartalmazó oldatokat permetezéssel juttattuk a talajba majd ezt követően a talajt homogenizáltuk.

A tenyészedényes kísérlet során tesztnövényként zöldborsót (*Pisum sativum* L.) választottunk, melyek jellemző tulajdonságait a 8. táblázatban foglaltam össze.

8. táblázat: A kísérleti borsófajta tulajdonságai

Paraméterek	
Zöldborsó	Avola (velőborsó)
Éréscsoport	A1-nagyon korai
Magasság	40-45 cm
Hüvelyhossz	7-8 cm
Szemszín	középzöld
Szemnagyság	6-7 mm
Magszám hüvelyenként	6-7 db
Ezer magtömeg	200-220 g

Az Avola velőborsó az egyik legkorábban szedhető, megbízható termőképességű borsófajta. Növényhabitusa robosztus és erős szár jellemzi. Magja nagy, mely hosszan megőrzi zsengességét. A vetőmag nemesítője és forgalmazója a Rédei Kertimag ZRt.

A megfelelően benedvesített talajba a zöldborsó vetőmagokból edényenként 20 szemet vetettünk 2-4 cm mélységbe. A borsó vetésére a homoktalajok esetében (Pallag, Nyíregyháza) 2015. május 4-én, mészlepedékes csernozjom talaj (Látókép) esetében 2015. május 12-én került sor. Kelés után tőszámbeállítást végeztünk, tenyészedenyenként 9 növényre. A kísérlet háromismétléses véletlen blokk elrendezésben került beállításra, amely összesen 33 tenyészedenyt jelentett. Az edényeket naponta a szabadföldi vízkapacitás 60 V/V%-áig öntöztük, tömeg-kiegészítés alapján.

A tenyészedenyeket a kísérlet ideje alatt kocsikon tároltuk, amely lehetővé tette, hogy éjszaka, illetve eső esetén tető alatt tartsuk a növényeket.

A borsó növények elemtartalmának meghatározását 4 különböző fejlődési stádiumban végeztük el, melyek a következők voltak: négy nóduszos állapot, virágzás kezdete, zöldérés, teljesérés (Kiss, 1950). Az egyes mintavételek időpontját a 9. táblázat tartalmazza.

9. táblázat: Az egyes mintavételek időpontjai

	Látókép	Pallag	Nyíregyháza
1. fenofázis	2015. június 1.	2015. május 21.	2015. május 21.
2. fenofázis	2015. június 8.	2015. június 3.	2015. június 3.
3. fenofázis	2015. június 17.	2015. június 13.	2015. június 13.
4. fenofázis	2015. július 2.	2015. június 25.	2015. június 25.

A kísérlet bontására a homoktalajok esetében (Pallag, Nyíregyháza) 2015. június 25-én, mészlepedékes csernozjom talaj (Látókép) esetében 2015. július 2-án került sor.

Minden egyes fenofáziskor történő mintavételkor, illetve a kísérlet bontásakor az azonos kezelésekből származó mintákat a helyszínen műanyag zacskókba helyeztük és azonnal beszállítottuk az Élelmiszertudományi Intézet laboratóriumába, ahol a gyökereket folyó csapvízzel alaposan megmostuk. A csapvizes mosást követően a gyökereket ioncserélt vízzel alaposan leöblítettük. A növényeket ezután szűrőpapírokra terítettük szét, lemértük a hajtások és a gyökerek hosszát, az egyes növényi részeket (levél, szár, gyökér, hüvely) ollóval elkülönítettük egymástól és lemértük a tömegüket. A növényi részeket ezt követően a szárítószekrénybe helyeztük 65°C-ra és

tömegállandóságig szárítottuk. A száraz mintákat daráltuk és a kémiai analízis előtt zárható műanyag zacskókban tároltuk.

A tenyészedényes kísérlet talajvizsgálatai keretében mértük a talajok oldható Mo-tartalmát, illetve az összes elemtartalmát, a növéyminták vizsgálata során pedig az egyes növényi részek száraz tömegének, makro- és mikroelem tartalmának, a növényi részek által kivont Mo mennyiségének, valamint a $\text{NO}_3\text{-N}$ és az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációjának a meghatározására került sor a Mo-kezelések függvényében.

4.2. Az alkalmazott mintaelőkészítési és mérési módszerek

A minták előkészítését és mérését a Debreceni Egyetem Élelmiszertudományi Intézetében végeztük el. Az alkalmazott mintaelőkészítést és a méréseket minden esetben három ismételtsben hajtottuk végre.

A kémiai analízis során a kalibráló standard oldatok előállításához Merck gyártmányú (E. Merck, Darmstadt, Németország), Suprapure minőségű cc. HNO_3 (65%) oldatot használtunk. A törzsoldatok készítéséhez Merck és BDH gyártmányú standard oldatokat, valamint REANAL gyártmányú (Budapest) Suprapure tisztaságú szilárd vegyszereket alkalmaztunk. A mosogatáshoz, továbbá az oldatok előkészítéséhez használt nagytisztaságú vizet egy Milli-Q (EMD Millipore Corporation; Billerica MA, USA) víztisztító berendezés segítségével állítottuk elő.

4.2.1. Talajminták vizsgálata

4.2.1.1. A talajminták oldható molibdéntartalmának meghatározása

A talajok oldható molibdéntartalmának meghatározásához Lakanen-Erviö-féle kivonószert alkalmaztunk az MSZ 21470-50:2006 szabvány előírásainak megfelelően. A tömegállandóságig szárított, homogén talajmintákból 1,5 g ($\pm 0,01$ g) mennyiségeket mértünk be szcintillációs edényekbe és 1,5 cm³ Lakanen-Erviö oldatot (0,5 M ammónium-acetát + 0,5 M ecetsav + 0,02 M H_4EDTA , pH 4,65) adtunk hozzá. Ezt követően a mintákat rázó gépbe helyezve, 1 órán keresztül ráztuk, majd a szuszpenziót MUNKTELL AHLSTROM 292-es típusú szűrőpapíron keresztül szűrtük le. A mintákat a mérés elvégzéséig 25 cm³-es műanyag szcintillációs edényekben tároltuk. A megfelelően előkészített, hígított minták oldható molibdéntartalmát induktív csatolású

plazma optikai emissziós spektrométerrel (ICP-OES) és induktív csatolású plazma tömegspektrométerrel (ICP-MS) határoztuk meg.

4.2.1.2. A talajminták összes elemtartalmának meghatározása

A talajminták összes elemtartalmának meghatározásához légköri nyomáson végzett $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ nedves roncsolásos mintaelőkészítési módszert alkalmaztunk (Kovács et al., 2000).

A talajmintákból homogenizálásukat követően $1\pm 0,01$ g-ot mértünk be 25x420 mm-es 50 cm³-re és 100 cm³-re kalibrált, hőálló roncsolócsövekbe OHAUS típusú (Svájc) analitikai mérlegen. A bemért talajmintákhoz 10 cm³ cc. HNO_3 -at (65 m/m%, Scharlau Chemie, Spanyolország) adtunk. A bemért mintákat a hozzáadott 10 cm³ cc. HNO_3 -val együtt egy éjszakán át állni hagytuk. Másnap a mintákat LABOR MIM OE 718/A típusú blokkroncsoló készülék fűtőegységébe helyeztük, melybe egy alkalommal maximum 50-50 db roncsoló csövet lehet elhelyezni. Ezeket a mintákat 45 percig, 60°C-on kellett előroncsolni. Az így kapott mintákhoz még 3 cm³ cc. H_2O_2 -ot (30 m/m%, Merck, Németország) adagoltunk, majd ezt követte a főroncsolás 270 percen keresztül, 120°C-on. A mintákat, lehűlésüket követően, ioncserélt vízzel töltöttük fel a roncsolócső 50 cm³-es jeléig. Az ioncserélt vízzel feltöltött mintákat 100 cm³-es Erlenmeyer lombikokba szűrtük FILTRAK 388-as típusú szűrőpapíron keresztül. A mintákat a mérés elvégzéséig 25 cm³-es műanyag szcintillációs edényekben tároltuk. A minták feltárásánál roncsolási vakpróbát is készítettünk. A mintaoldatok elemtartalmát ICP-OES technika segítségével határoztuk meg (Kovács et al., 1998).

4.2.2. Növényminták vizsgálata

4.2.2.1. A növényminták szárazanyag-tartalmának meghatározása

A száraz tömeg meghatározásához a mintákat MEMMERT UIM 400 típusú szárítószekrényben 85°C-on tömegállandóságig szárítottuk. A tömegállandóságig szárított mintákat szobahőmérsékletre történt visszahűlésük után OHAUS típusú (Svájc) analitikai mérlegen mértük le négytizedes jegy pontossággal.

4.2.2.2. A gyökérnövekedés meghatározása a rizoboxos kísérlet során

A rizoboxos kísérlet lehetővé tette a kísérleti növények gyökérnövekedésének tanulmányozását is. A gyökérnövekedés méréséhez a speciális növénynevelő boxok átlátszó oldalára egy fóliát helyeztünk, majd rajzolós módszerrel határoztuk meg a gyökér fejlődését, milliméterpapír segítségével. Mindkét tesztnövény esetében kezelésként 15 növényt vizsgáltunk. A gyökérnövekedés mérésére naponként került sor. A gyökérnövekedést a kísérlet bontásáig követtük nyomon, amely kukorica esetében 5 napig, napraforgó esetében 8 napig tartott.

4.2.2.3. A növényminták összes elemtartalmának meghatározása

A növényminták összes elemtartalmának meghatározásához légköri nyomáson végzett $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ nedves roncsolásos mintaelőkészítési módszert alkalmaztunk (Kovács et al. 1996).

A növényi mintákat kávédaráló segítségével daráltuk, majd ezredgramm pontossággal 1 g-ot mértünk be kémcsövekbe. 10 cm³ cc. HNO_3 -at (65 m/m%, Scharlau Chemie, Spanyolország) adtunk hozzá. A minták savval együtt egy éjszakán keresztül álltak. A mintákat 45 percen keresztül roncsoltuk 60°C-on. A szükséges idő elteltével és a minták lehűlése után 3 cm³ cc. H_2O_2 -ot (30 m/m%, Merck, Németország) adtunk a mintákhoz. A főroncsolás 120°C-on, 90 percig tartott. A roncsolmányokat, lehűlésüket követően ioncserélt vízzel töltöttük fel a roncsolócső 50 cm³-es jeléig. Az ioncserélt vízzel feltöltött mintákat 100 cm³-es Erlenmeyer lombikokba szűrtük FILTRAK 388-as típusú szűrőpapíron keresztül. A lombikból a mintákat a mérés elvégzéséig 25 cm³-es műanyag szcintillációs edényekbe öntöttük. A minták feltárásánál roncsolási vakpróbát is készítettünk.

Azokban az esetekben, amikor nem állt rendelkezésünkre megfelelő mintamennyiség, az egyes mintákból 0,1 g ($\pm 0,001$ g) mennyiségeket mértünk be és a roncsolásnál 1 cm³ cc. HNO_3 -at, valamint 0,3 cm³ cc. H_2O_2 -ot adtunk hozzá. A roncsolást követően a mintákat ioncserélt vízzel 10 cm³-es lombikokba jelig töltöttük, majd 25 cm³-es műanyag szcintillációs edényekbe öntöttük. A növényi minták elemanalízisét ICP-OES és ICP-MS készülékek segítségével végeztük.

4.2.2.4. A növények által felvett molibdén mennyiség meghatározása

A növényi részek száraz tömeg értékeinek ismeretében meghatároztuk, hogy egy adott növény mennyi molibdént vesz fel a különböző Mo koncentrációjú talajokból, illetve tápoldatokból. Az értékek meghatározása az alábbi képlet alapján történt:

$$\begin{aligned} &\text{növényi rész által kivont Mo mennyiség } (\mu\text{g növény}^{-1}) = \\ &\text{növényi rész száraz tömege (kg növény}^{-1}) * \text{növényi rész Mo koncentrációja (mg kg}^{-1}) * 1000 \end{aligned}$$

4.2.2.5. A növényminták NO₃-N és NH₄-N tartalmának meghatározása

A növényi minták NO₃-N és NH₄-N tartalmának meghatározását az MSZ 6830/43-1989 szabvány előírásainak megfelelően végeztük el. A tömegállandóságig szárított homogén mintákból 0,1 g ($\pm 0,001$ g) mennyiségeket mértünk be hőálló kémcsövekbe és 10 cm³ desztillált vizet adtunk hozzá. Ezt követően a mintákat 80°C-os ultrahangos vízfürdőbe (BANDELIN SONOREX DIGITEC) helyeztük 30 percre majd a szuszpenziót MUNKTELL AHLSTROM 292-es típusú szűrőpapíron keresztül szűrtük le.

A minták NO₃-N és NH₄-N tartalmának meghatározása folyadékáramlásos (CONTIFLOW) módszer alapján történt, FIAstar 5000 Analizátor készülékkel.

A NO₃-N koncentráció méréséhez a szűrletet a folyadékáramlásos rendszer dializáló egységébe helyeztük. A nitrátionok alikvot része hidrophil membránon keresztül egy enyhén lúgos pufferoldatba diffundált, ahol a nitrát fémkadmium hatására nitritté redukálódott. A pufferoldat elkészítéséhez 25 g ammónium-kloridot 1 dm³ vízben feloldottunk. Az oldathoz 5 cm³ nedvesítő oldatot (25 g polietilén-glikol-éter + 75 cm³ metanol + 150 cm³ H₂O) adtunk és 25 m/m%-os ammóniaoldattal az oldat pH-ját 9,0-re állítottuk be.

Ezt követően a nitritionok szulfanil-amiddal és N-1-naftil-etilén-diaminnal vöröses-bíbor azoszínezékké alakultak. Az azoszínezék színintenzitását spektrometriás méréssel 540 nm hullámhossz értéken határoztuk meg.

Az NH₄-N tartalom meghatározásához a szűrletet 0,5 M NaOH oldattal, valamint egy ammónia-indikátor oldattal reagáltattuk és a keletkezett oldat színintenzitását 590 nm hullámhosszon mértük.

4.2.3. Az analitikai vizsgálatok során alkalmazott készülékek

4.2.3.1. Minták elemtartalmának meghatározása ICP-OES technikával

A mérések kivitelezéséhez egy iCAP 6300 Dual (ThermoFisher Scientific) típusú induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométert (ICP-OES) alkalmaztunk. A készülék paramétereit a 10. táblázat tartalmazza.

10. táblázat: Az ICP-OES készülék mérési paramétereit

Paraméterek	
RF kicsatolt teljesítmény	1350 W
RF generátor	27 MHz
Hűtőgáz áramlási sebesség	12 dm ³ min ⁻¹
Segédgáz áramlási sebesség	1 dm ³ min ⁻¹
Porlasztógáz áramlási sebesség	1 dm ³ min ⁻¹
Mintaáramlási sebesség	1,6 cm ³ min ⁻¹
Detektor	CID szilárd test detektor
Optikai rendszer	Echelle elrendezésű
Porlasztó típusa	koncentrikus
Hullámhossz tartomány	166-847 nm

4.2.3.2. Minták elemtartalmának meghatározása ICP-MS technikával

A mintákban kis koncentrációban jelenlévő elemek meghatározásához egy Thermo Scientific X-Series Quadrupole típusú induktív csatolású plazma tömegspektrométert alkalmaztunk, amelynek mérési paramétereit a 11. táblázat foglalja össze.

Az ICP-MS készülék tömeg/töltés szerint detektál, míg az ICP-OES készülék fényemissziót mér. A mintákban kis koncentrációban jelen lévő elemek ICP-MS technikával jól mérhetőek. A kis koncentrációk meghatározásakor fellépő zavaró hatások kiküszöbölésére úgynevezett ütközési cellás (CCT) mérési módszert alkalmaztunk.

Az analízis során belső standard alkalmazására is szükség volt, hogy néhány zavaró hatást ki tudjuk küszöbölni. A belső standard olyan elemet vagy elemeket jelent, melyek előfordulási valószínűsége a vizsgált mintában nagyon csekély. Az általam, belső standardként alkalmazott elemek a Ge, a Rh és Pt voltak.

11. táblázat: Az ICP-MS készülék mérési paramétereit (A *-gal jelölt kifejezéseknek nincs magyar megfelelője)

Paraméterek	
RF kicsatolt teljesítmény	1400 W
Plazmagáz áramlási sebesség	13 dm ³ min ⁻¹
Porlasztógáz áramlási sebesség	0,84 dm ³ min ⁻¹
Segédgáz áramlási sebesség	1,1 dm ³ min ⁻¹
Mintaáramlási sebesség	0,87 cm ³ min ⁻¹
Pole Bias*	-10 V
Hexapole Bias*	-7 V
Extrakció	-149 V
Fókusz	0 V
Analóg detektor	1850 V
PC detektor	2170 V
CCT gáz (H ₂ :He) áramlási sebesség (7% H ₂ +93% He)	7 cm ³ min ⁻¹
Integrációs idő	0,1 s
Stabilizációs idő	40 s
Mintaszállító pumpa típusa	narancssárga

4.2.3.3. A növényminták NO₃-N és NH₄-N tartalmának meghatározása FIAstar Analizátor készülékkel

A NO₃-N és az NH₄-N meghatározáshoz FIAstar 5000 Analizátor készüléket alkalmaztunk. A készülék mérési paramétereit a 12. táblázat tartalmazza.

12. táblázat: A készülék mérési paramétereit

Paraméterek	
Mérés elve	folyamatos áramlású analitikai rendszer
Injektor	hatágú gázbemérő csap
Minta térfogat	20-400 µl
Perisztaltikus pumpa	2x4 csatornás, változtatható sebességű pumpa
Termosztát	beépített termosztát, 30-90°C, ±1°C
Vegyszerigény	0,3-2 cm ³ a reagens fogyása/minta
Detektor	digitális kétsatornás fotométer automata háttérkorrekcióval
Áramlási cella	fényút: 10 mm, térfogat: 18 µl
Hullámhossz tartomány	400-1000 nm különböző interferencia szűrők alkalmazásával, sáv szélesség: 12 nm
Abszorbancia tartomány	0-2,5 AU
Felbontó képesség	0,001 mAU
Reprodukálhatóság	<1% RSD
Software neve	SOFIA Software 1.2
Kalibrációs pontok száma	max. 10.
Kalibrációs görbe illesztés	lineáris vagy másodfokú

4.3. A kísérleti eredmények statisztikai értékelése

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-féle tesztet használtam $P < 0,05$ tekintve szignifikánsnak.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. Tápoldatos kísérlet eredményei

5.1.1. Tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó növények száraz tömegének változása a molibdén kezelések függvényében

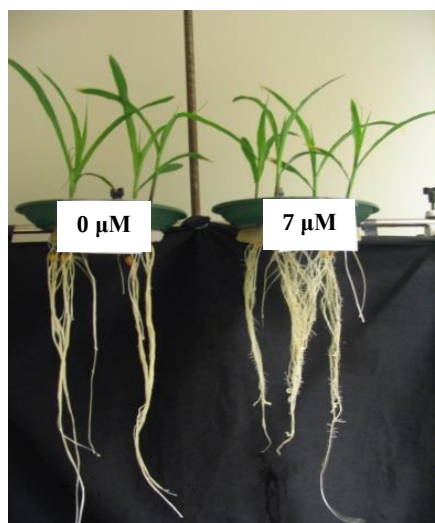
Tápoldaton nevelt kukorica csíranövények hajtásának és gyökerének száraz tömeg értékeit a 13. táblázatban tüntettem fel.

13. táblázat: Tápoldaton nevelt kukorica csíranövény hajtásának és gyökerének száraz tömege (g növény⁻¹) a molibdén kezelések (0; 0,07; 0,7; 7 μ M) függvényében

Mo-kezelés (μ M)	Kukorica száraz tömege (g növény ⁻¹)	
	Hajtás	Gyökér
0	0,2785 $\pm$ 0,0102 ^a	0,1291 $\pm$ 0,0068 ^a
0,07	0,2568 $\pm$ 0,0279 ^{ab}	0,1120 $\pm$ 0,0127 ^{ab}
0,7	0,2429 $\pm$ 0,0169 ^{ab}	0,1238 $\pm$ 0,0025 ^{ab}
7	0,2211 $\pm$ 0,0200 ^b	0,1078 $\pm$ 0,0096 ^b

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm s.e.$

Azt tapasztaltam, hogy sem a 0,07 μ M, sem a 0,7 μ M Mo-kezelés nem volt szignifikáns hatással a növény fejlődésére. Szignifikáns különbség csak a 7 μ M Mo-kezelés esetében volt kimutatható. A hajtás esetében megközelítőleg 20%-os, gyökér esetében közel 17%-os csökkenést mutattam ki a kontroll növények száraz tömegéhez viszonyítva (9. ábra).



9. ábra: Molibdén kezelés hatása a kukorica hajtás és gyökér növekedésére
(Fotó: Bódi, 2008)

A 14. táblázat a napraforgó csíranövények hajtásának és gyökerének száraz tömeg változását mutatja be a növekvő koncentrációjú molibdén kezelések hatására.

14. táblázat: Tápoldaton nevelt napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének száraz tömege (g növény^{-1}) a molibdén kezelések (0; 0,07; 0,7; 7 μM) függvényében

Mo-kezelés (μM)	Napraforgó száraz tömege (g növény^{-1})	
	Hajtás	Gyökér
0	$0,2032 \pm 0,0011^a$	$0,2097 \pm 0,0061^a$
0,07	$0,2621 \pm 0,0059^b$	$0,2120 \pm 0,0167^a$
0,7	$0,2799 \pm 0,0102^b$	$0,2208 \pm 0,0025^a$
7	$0,2619 \pm 0,0100^b$	$0,1707 \pm 0,0218^b$

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

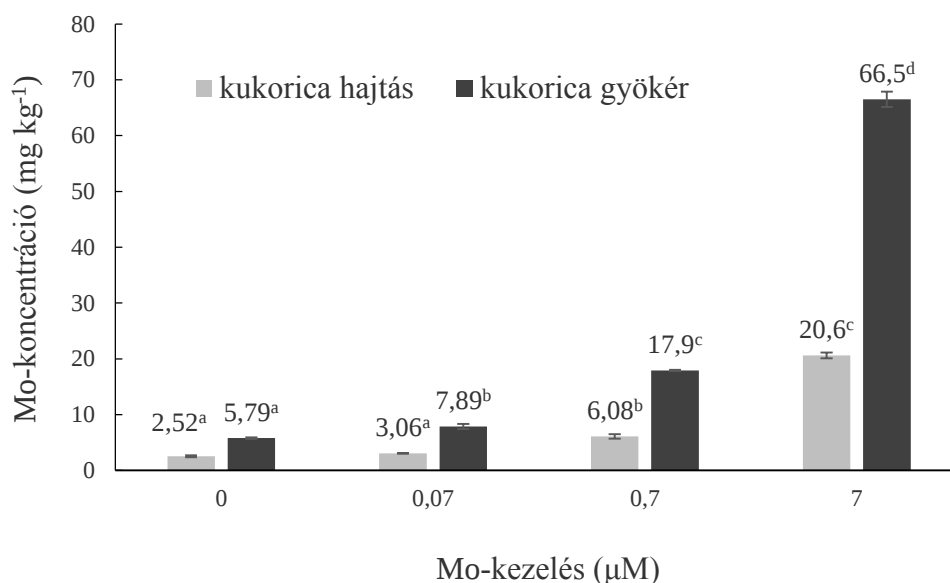
Az eredmények arra mutatnak rá, hogy az alkalmazott molibdén kezelések elősegítették a hajtás fejlődését, amely statisztikailag is igazolható. A növekedést a 10. ábra is jól szemlélteti. A molibdén pozitív hatása a hajtás tömeggyarapodására már a legkisebb molibdén kezelésnél is megmutatkozott, mely megerősíti Liu et al. (2010) eredményeit is. A hajtás száraz tömege már a 0,07 μM Mo-kezelés hatására is közel 30%-kal nőtt a kontrollhoz képest. A napraforgó gyökér esetében azonban azt tapasztaltam, hogy a 0,07 és a 0,7 μM Mo-kezeléseknek nem volt szignifikánsan kimutatható hatása a gyökér száraz anyag tartalmára. A legnagyobb Mo-kezelés azonban már szignifikáns csökkenést eredményezett a gyökér száraz tömegében a kontrollhoz viszonyítva.



10. ábra: Molibdén kezelés hatása a napraforgó hajtás és gyökér növekedésére (Fotó: Bódi, 2008)

5.1.2. Tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó növények molibdén koncentrációja a molibdén kezelések függvényében

A 11. ábra a kukorica csíranövények hajtásának és gyökerének Mo-tartalmát szemlélteti a tápoldatos kísérlet befejezésekor.



11. ábra: Tápoldaton nevelt kukorica csíranövény hajtásának és gyökerének Mo koncentrációja (mg kg⁻¹) a molibdén kezelések (0; 0,07; 0,7; 7 μM) függvényében

Az egyes növényi részekben belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm s.e.$

Az ábra alapján megállapítható, hogy molibdént nem tartalmazó tápoldaton nevelt kukorica növények Mo koncentrációja viszonylag alacsony volt, a csíranövények eredeti molibdén készletét mutatva. A Mo-kezelések hatására azonban a növény molibdén felvétele fokozódott, szignifikáns különbséget csak a hajtásban, a kontroll és a 0,07 μM Mo-kezelések között nem tudtam kimutatni. A legnagyobb Mo akkumulációt a hajtásban és a gyökérben is a 7 μM Mo-kezelés eredményezte. A hajtásban ugyanis több mint nyolcszoros, a gyökérben több mint tizenegyszeres koncentráció növekedést jegyeztem fel a kontroll kezeléshez képest. Továbbá az eredményekből az is kitűnik, hogy a gyökér Mo koncentrációja valamennyi kezelés esetében meghaladta a hajtásban mért értékeket, amely összhangban van Liu et al. (2010) eredményeivel is.

A fenti eredményekből, a növény száraztömegének ismeretében meghatároztam azt is, hogy egy adott növény mennyi μg Mo-t vesz fel a tápoldatból. Az eredményeimet a 15. táblázatban ismertetem.

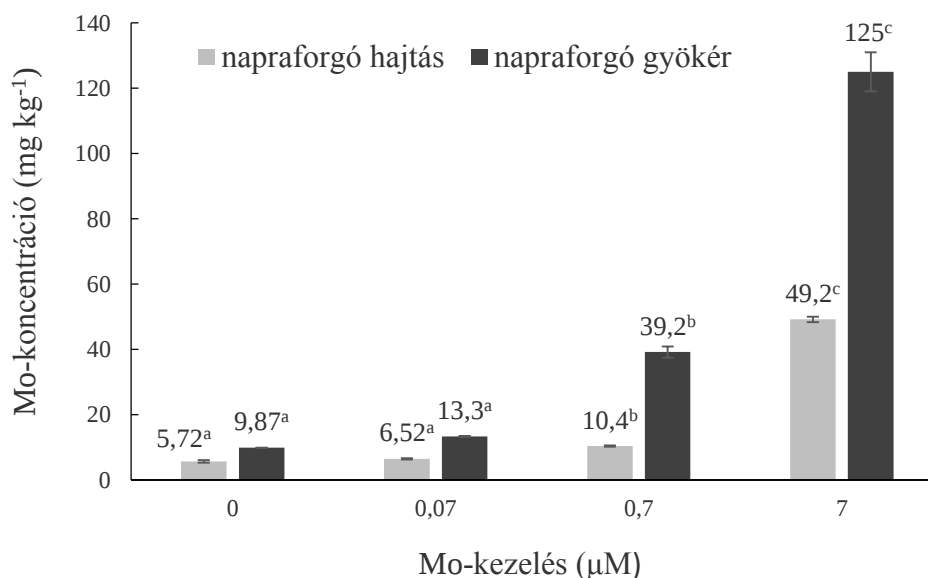
15. táblázat: Tápoldaton nevelt kukorica csíranövény által felvett Mo mennyisége ($\mu\text{g növény}^{-1}$) a molibdén kezelések (0; 0,07; 0,7; 7 μM) függvényében

Mo-kezelés (μM)	Kukorica által felvett Mo ($\mu\text{g növény}^{-1}$)		
	Hajtás	Gyökér	Teljes növény
0	0,702 $\pm$ 0,005 ^a (48)	0,747 $\pm$ 0,002 ^a (52)	1,45
0,07	0,786 $\pm$ 0,002 ^a (47)	0,884 $\pm$ 0,005 ^a (53)	1,67
0,7	1,48 $\pm$ 0,01 ^b (40)	2,21 $\pm$ 0,00 ^b (60)	3,69
7	4,55 $\pm$ 0,01 ^c (39)	7,17 $\pm$ 0,01 ^c (61)	11,7

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. A zárójelben feltüntetett érték az adott növényi rész és a teljes növény által kivont Mo mennyiségének az arányát fejezi ki %-ban. $n=3 \pm \text{s.e.}$

Azt tapasztaltam, hogy a kontroll és a 0,07 μM Mo-kezelések esetén az akkumulált Mo hajtásban és gyökérben történő megoszlása közel azonos volt, azonban a tápoldat Mo koncentrációjának növelésével párhuzamosan a teljes növény által felvett molibdénnek egyre kevesebb százaléka jelent meg a hajtásban.

A napraforgó növények Mo készlete a kukorica csíranövényekhez hasonlóan szintén emelkedett a Mo-kezelés hatására, de a kontroll és a 0,07 μM Mo kezelések között napraforgó esetében sem a hajtásban, sem a gyökérben nem lehetett szignifikáns különbséget kimutatni, ahogyan azt a 12. ábra is szemlélteti.



12. ábra: Tápoldaton nevelt napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének Mo koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0; 0,07; 0,7; 7 μM) függvényében

Az egyes növényi részekben a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

Továbbá az ábrából az is kitűnik, hogy a napraforgó által akkumulált molibdén mindegyik kezelésnél meghaladta a kukoricánál megállapított koncentráció értékeket.

Például a 7 μM Mo-kezelés esetében a napraforgó hajtásában és a gyökerében mért Mo-koncentráció több mint kétszerese volt a kukoricában mért értékeknek.

A napraforgó csíranövény esetében is meghatároztam, hogy egy adott növény mennyi μg Mo-t vont ki a tápoldatból. Az eredményeimet a 16. táblázatban tüntettem fel.

16. táblázat: Tápoldaton nevelt napraforgó csíranövény által felvett Mo mennyisége (μg növény⁻¹) a molibdén kezelések (0; 0,07; 0,7; 7 μM) függvényében

Kezelés (μM)	Napraforgó által felvett Mo (μg növény ⁻¹)		
	Hajtás	Gyökér	Teljes növény
0	1,16 $\pm$ 0,01 ^a (36)	2,07 $\pm$ 0,01 ^a (64)	3,23
0,07	1,71 $\pm$ 0,01 ^b (38)	2,82 $\pm$ 0,01 ^a (62)	4,53
0,7	2,90 $\pm$ 0,01 ^c (25)	8,65 $\pm$ 0,03 ^b (75)	11,6
7	12,9 $\pm$ 0,0 ^d (38)	21,4 $\pm$ 0,1 ^c (62)	34,3

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. A zárójelben feltüntetett érték az adott növényi rész és a teljes növény által kivont Mo mennyiségének az arányát fejezi ki %-ban. $n=3 \pm \text{s.e.}$

Azt tapasztaltam, hogy a gyökér által kivont Mo mennyiség valamennyi kezelés esetében meghaladta a hajtás által kivont Mo mennyiséget. A hajtásban lévő Mo mennyiség ugyanis 25-38%-a, a gyökér által felvett Mo mennyiség 62-75%-a volt a növény teljes Mo-készletének.

5.1.3. Tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó növények foszfor és kén felvétele a molibdén kezelések függvényében

Tápoldatos kísérletben a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések a mért makroelemek közül elsősorban a P és a S felvételét befolyásolták (17-18. táblázatok).

A 17-18. táblázat eredményeiből jól látható, hogy a kijuttatott molibdén hatására a kukorica csíranövények foszfor koncentrációja kismértékben megemelkedett, szignifikáns növekedést a kontrollhoz képest azonban csak a gyökér esetében, a 0,7 μM Mo-kezelés alkalmazásakor jegyeztem fel.

Napraforgó csíranövények esetében szintén a 0,7 μM Mo-kezelés eredményezett statisztikailag is bizonyítható növekedést a P koncentrációjában a kontrollhoz viszonyítva, azonban érdekes különbség a két vizsgálati növény között, hogy a napraforgó hajtásában a legkisebb Mo-kezelésnél a P koncentráció lecsökkent a kontrollhoz képest.

17. táblázat: Tápoldaton nevelt kukorica csíranövény hajtásának és gyökerének foszfor és kén tartalma (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0; 0,07; 0,7; 7 μM) függvényében

Mo-kezelés (μM)	P (mg kg^{-1})	S (mg kg^{-1})
kukorica hajtás		
0	11077 $\pm$ 335 ^a	2049 $\pm$ 148 ^a
0,07	11647 $\pm$ 955 ^a	2152 $\pm$ 210 ^{ab}
0,7	12322 $\pm$ 175 ^a	2359 $\pm$ 84 ^b
7	11567 $\pm$ 1139 ^a	2367 $\pm$ 142 ^b
kukorica gyökér		
0	8588 $\pm$ 341 ^a	4644 $\pm$ 145 ^a
0,07	8868 $\pm$ 284 ^a	4970 $\pm$ 425 ^a
0,7	9970 $\pm$ 210 ^b	5197 $\pm$ 634 ^a
7	9062 $\pm$ 266 ^a	5076 $\pm$ 439 ^a

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

18. táblázat: Tápoldaton nevelt napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének foszfor és kén tartalma (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0; 0,07; 0,7; 7 μM) függvényében

Mo-kezelés (μM)	P (mg kg^{-1})	S (mg kg^{-1})
napraforgó hajtás		
0	5787 $\pm$ 200 ^a	4208 $\pm$ 1070 ^a
0,07	5086 $\pm$ 15 ^b	3419 $\pm$ 898 ^a
0,7	6476 $\pm$ 51 ^c	3522 $\pm$ 80 ^a
7	5959 $\pm$ 183 ^a	3396 $\pm$ 100 ^a
napraforgó gyökér		
0	6739 $\pm$ 45 ^a	3862 $\pm$ 246 ^{ab}
0,07	9101 $\pm$ 2834 ^a	3632 $\pm$ 749 ^a
0,7	15152 $\pm$ 400 ^b	4576 $\pm$ 187 ^b
7	8388 $\pm$ 1241 ^a	3917 $\pm$ 101 ^{ab}

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

Az 17-18. táblázat adataiból továbbá az is kitűnik, hogy a molibdén hatással volt a tesztnövények kénfelvételére, szignifikáns különbséget a kontrollhoz képest azonban csak a kukorica hajtásában mutattam ki. Azt tapasztaltam, hogy a 0,7 és a 7 μM Mo-kezelések hatására a hajtások S tartalma szignifikánsan megemelkedett. Mindez összhangban van Nasreen és Farid (2003) megfigyeléseivel is, miszerint a kijuttatott Mo serkentette a kerti borsó kén felvételét.

5.1.4. Tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó növények mikroelem felvétele a molibdén kezelések függvényében

A teszt növények makroelem tartalmában bekövetkezett változáson kívül nyomon követtem azt is, hogy az egyes kezelések hogyan hatottak a kísérleti növények mikroelem felvételére. Az eredményeimet a 19-20. táblázatokban foglaltam össze.

19. táblázat: Tápoldaton nevelt kukorica csíranövény hajtásának és gyökerének mikroelem tartalma (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0; 0,07; 0,7; 7 μM) függvényében

Mo-kezelés (μM)	Fe (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	B (mg kg^{-1})
kukorica hajtás					
0	60,9±6,4 ^a	14,3±0,7 ^a	75,8±1,7 ^a	65,8±3,8 ^a	6,42±0,30 ^a
0,07	57,0±10,4 ^a	13,2±1,2 ^a	88,7±2,5 ^b	66,6±0,1 ^a	8,71±1,70 ^b
0,7	58,3±1,6 ^a	13,2±0,3 ^a	100±8 ^c	70,2±11,5 ^a	8,70±0,07 ^b
7	72,2±25,5 ^a	13,5±0,3 ^a	91,8±1,8 ^b	93,7±3,8 ^b	9,23±0,15 ^b
kukorica gyökér					
0	167±14 ^a	55,4±10,0 ^a	84,1±6,8 ^a	180±19 ^a	2,85±0,15 ^a
0,07	303±65 ^b	43,0±7,2 ^{ab}	128±1 ^b	173±18 ^a	4,41±0,58 ^b
0,7	331±38 ^b	41,4±1,1 ^b	127±7 ^b	176±5 ^a	3,96±0,69 ^b
7	187±26 ^a	25,5±5,4 ^c	119±6 ^b	151±28 ^a	5,62±0,59 ^c

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól. $n=3\pm\text{s.e.}$

20. táblázat: Tápoldaton nevelt napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének mikroelem tartalma (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0; 0,07; 0,7; 7 μM) függvényében

Mo-kezelés (μM)	Fe (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	B (mg kg^{-1})
napraforgó hajtás					
0	240±16 ^a	18,9±6,8 ^a	48,1±1,6 ^a	36,0±10,6 ^a	15,7±4,2 ^a
0,07	80,1±15,0 ^b	11,9±0,4 ^{ab}	64,0±0,5 ^b	54,7±6,5 ^b	21,6±1,2 ^b
0,7	79,1±22,0 ^b	9,40±3,50 ^b	70,0±6,6 ^b	60,5±6,5 ^b	22,6±2,7 ^b
7	115±2 ^c	9,00±0,80 ^b	53,9±6,2 ^a	53,5±0,5 ^b	23,2±0,6 ^b
napraforgó gyökér					
0	284±76 ^{ab}	17,3±0,4 ^a	39,6±2,4 ^a	32,3±5,0 ^a	13,4±1,3 ^a
0,07	355±39 ^b	16,0±2,1 ^a	44,8±1,4 ^b	28,4±5,1 ^a	13,1±1,1 ^a
0,7	293±45 ^{ab}	24,1±0,2 ^b	67,8±0,3 ^c	31,7±16,9 ^a	13,5±0,1 ^a
7	238±14 ^a	19,6±0,9 ^c	55,1±3,7 ^d	22,2±3,0 ^a	12,6±0,2 ^a

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól. $n=3\pm\text{s.e.}$

A táblázatok alapján általánosságban elmondható, hogy a molibdénnel kezelt kukorica és a napraforgó gyökerének Fe és Cu koncentrációja meghaladta a hajtásban mért értékeket és a csíranövények hajtásában mért B koncentráció valamennyi kezelés esetében nagyobb volt, mint a gyökérben mért érték.

Megállapítottam továbbá, hogy a Zn, a Mn és a B koncentrációjának változásában a két vizsgálati növény hasonlóságot mutat, ugyanis a kezelés hatására ezen elemek koncentrációja mindkét vizsgálati növény hajtásában megemelkedett a kontrollhoz képest és a növekedés a legtöbb esetben statisztikailag is igazolható volt. Különbséget figyeltem meg azonban a csíranövények Fe és Cu tartalmának változásában. Kukorica hajtás esetében például azt tapasztaltam, hogy a tápoldat Mo tartalma sem a Fe, sem a Cu koncentrációjára nem volt statisztikailag igazolható hatással, míg a napraforgó hajtás esetében mindkét mikroelemnél szignifikáns csökkenést mutattam ki a kontrollhoz viszonyítva. Ezenkívül megállapítottam, hogy a 0,07 és a 0,7 μM Mo-kezelések megemelték a Fe koncentrációját a kukorica gyökérben, míg a napraforgó gyökerének Fe tartalmában nem eredményeztek kimutatható eltérést. Továbbá a 0,7 és a 7 μM Mo-kezelések a kukorica gyökérben lecsökkentették, míg a napraforgó esetében megemelték a Cu koncentrációját.

5.1.5. Tápoldaton nevelt kukorica és napraforgó növények $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációjának változása a molibdén kezelések függvényében

Tápoldaton nevelt kukorica csíranövények $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációjának változását a Mo-kezelések függvényében a 21. táblázat szemlélteti.

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.

21. táblázat: Tápoldaton nevelt kukorica csíranövény hajtásának és gyökerének nitrát- ($\text{NO}_3\text{-N}$) és ammónium-nitrogén ($\text{NH}_4\text{-N}$) koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0; 0,07; 0,7; 7 μM) függvényében

Mo-kezelés (μM)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg kg^{-1})	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg kg^{-1})
	kukorica hajtás	
0	2153 $\pm$ 553 ^a	111 ^a $\pm$ 55
0,07	1730 $\pm$ 78 ^a	199 ^a $\pm$ 142
0,7	3939 $\pm$ 1427 ^b	160 ^a $\pm$ 39
7	1772 $\pm$ 1086 ^a	124 ^a $\pm$ 2
	kukorica gyökér	
0	4407 $\pm$ 180 ^a	703 $\pm$ 84 ^a
0,07	4611 $\pm$ 221 ^a	914 $\pm$ 23 ^b
0,7	4934 $\pm$ 820 ^a	534 $\pm$ 6 ^c
7	5055 $\pm$ 1109 ^a	1075 $\pm$ 125 ^d

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n = 3 \pm \text{s.e.}$

A 21. táblázatból viszont az is kitűnik, hogy a 0,07; 0,7 és 7 μM Mo-kezelések nem eredményeztek szignifikáns csökkenést a kukorica csíranövények hajtásának $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációjában és az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációjukra sem voltak statisztikailag igazolható hatással.

Vizsgáltam a napraforgó csíranövények N-formáinak koncentrációit is az eltérő molibdénellátás függvényében, a hajtásban és a gyökérben. Eredményeimet a 22. táblázatban foglaltam össze.

22. táblázat: Tápoldaton nevelt napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének nitrát- $(\text{NO}_3\text{-N})$ és ammónium-nitrogén $(\text{NH}_4\text{-N})$ koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0; 0,07; 0,7; 7 μM) függvényében

Mo-kezelés (μM)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg kg^{-1})	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg kg^{-1})
napraforgó hajtás		
0	2146 $\pm$ 123 ^a	433 $\pm$ 28 ^a
0,07	996 $\pm$ 263 ^b	507 $\pm$ 37 ^a
0,7	1264 $\pm$ 288 ^b	353 $\pm$ 220 ^a
7	1324 $\pm$ 365 ^b	134 $\pm$ 45 ^b
napraforgó gyökér		
0	2575 $\pm$ 175 ^a	424 $\pm$ 117 ^a
0,07	3064 $\pm$ 890 ^a	469 $\pm$ 24 ^a
0,7	3161 $\pm$ 1017 ^a	645 $\pm$ 47 ^b
7	2651 $\pm$ 874 ^a	42,6 $\pm$ 6,7 ^c

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

A táblázat alapján megállapítható, hogy a Mo-kezelések 38-54%-os $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentráció csökkenést eredményeztek a napraforgó hajtásában a kontrollhoz képest, a gyökér $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalmára azonban nem voltak statisztikailag igazolható hatással. A táblázatból továbbá az is kitűnik, hogy a 7 μM Mo-kezelés hatására mind a hajtás, mind a gyökér $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja lecsökkent a kontroll értékhez viszonyítva.

5.2. Rizoboxos kísérlet eredményei

5.2.1. Rizoboxos kísérlet talajeredményei

A rizoboxos kísérlethez alkalmazott Látóképről származó mészlepedékes csernozjom talaj makro- és mikroelem tartalmát a 23. táblázatban foglaltam össze.

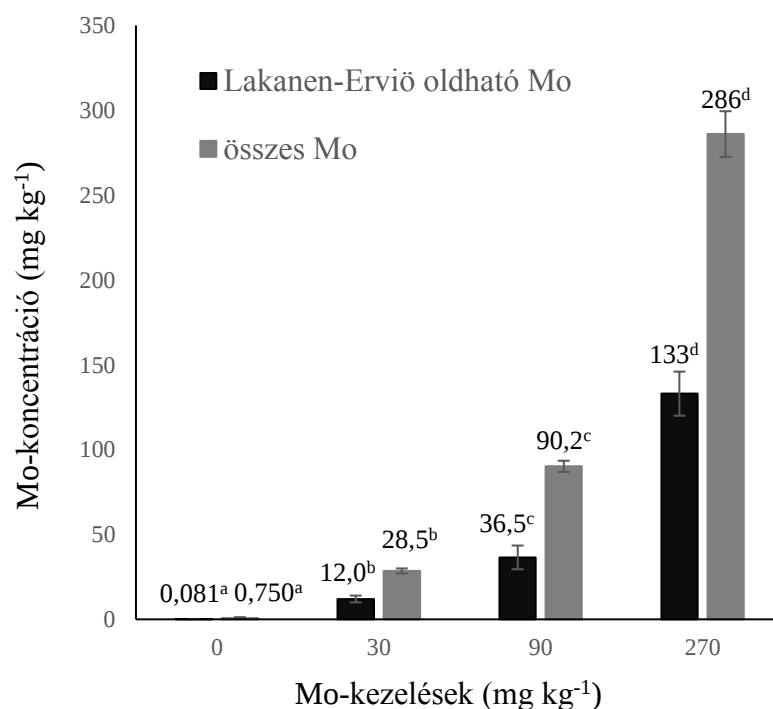
23. táblázat: Rizoboxos kísérletben alkalmazott látóképi talaj elemtartalma (mg kg^{-1})

Elemek (mg kg^{-1})	Látókép (mg kg^{-1})	Elemek (mg kg^{-1})	Látókép (mg kg^{-1})
Al	28837 $\pm$ 672	Mg	5448 $\pm$ 114
B	10,4 $\pm$ 0,3	Mn	913 $\pm$ 20
Ca	4851 $\pm$ 103	Mo	0,750 $\pm$ 0,529
Co	12,7 $\pm$ 0,2	Na	324 $\pm$ 13
Cr	44,7 $\pm$ 2,0	Ni	34,1 $\pm$ 3,2
Cu	28,1 $\pm$ 1,0	P	1036 $\pm$ 22
Fe	13826 $\pm$ 325	Pb	38,6 $\pm$ 0,3
K	8477 $\pm$ 165	S	217 $\pm$ 9
Li	25,2 $\pm$ 0,8	Zn	82,6 $\pm$ 1,4

n=3 $\pm$ s.e.

A táblázat alapján elmondható, hogy a kiindulási talaj elemkészlete átlagosnak tekinthető, nehézfémekkel nem volt szennyezett (Aubert és Pinta, 1977; Kabata-Pendias és Pendias, 2001). A vizsgált mikroelemek közül legkisebb mennyiségben a molibdént tartalmazta. A talaj Mo készlete nem érte el az 1 mg kg^{-1} értéket sem.

Molibdén esetében fontosnak tartottam annak meghatározását is, hogy a talaj összes molibdén tartalmából mennyi a növények számára hasznosítható, felvehető molibdén koncentráció. Erre vonatkozó eredményeimet a 13. ábra tartalmazza.



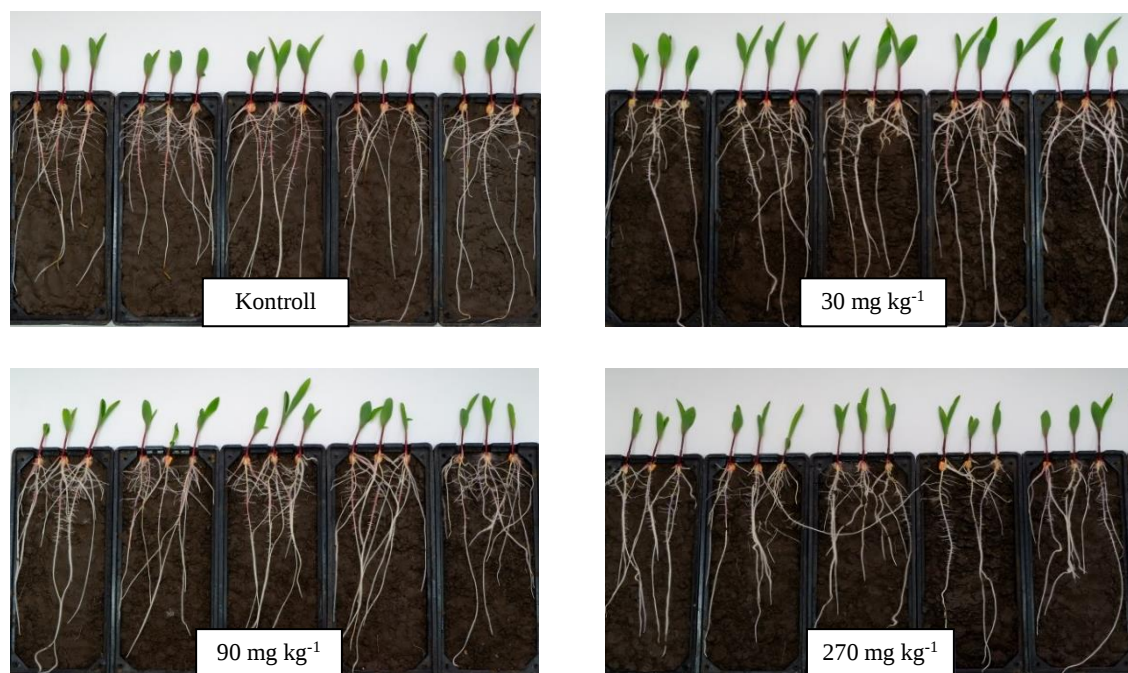
13. ábra: A látóképi talaj összes és Lakanen-Erviö oldható molibdén koncentrációja (mg kg^{-1})

A különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. n=3 $\pm$ s.e.

Az ábrából jól látható, hogy a kontroll talaj $0,750 \text{ mg kg}^{-1}$ molibdént tartalmazott, ennek azonban csak megközelítőleg 10%-a, $0,081 \text{ mg kg}^{-1}$ Mo hozzáférhető a növények számára. Mindez összhangban van Szabó et al. (1987) adataival, miszerint a talajok összes Mo tartalma $0,5$ és $3,0 \text{ mg kg}^{-1}$ között ingadozik és ebből $0,001$ - $0,800 \text{ mg kg}^{-1}$ hasznosítható a növények számára. Az ábrából továbbá az is kitűnik, hogy a kijuttatott Mo mennyiségével arányosan a talaj oldható, azaz felvehető Mo koncentrációja is megemelkedett és a molibdénrel kezelt talajok esetében az összes molibdénnek átlagosan 40%-a volt oldható formában jelen.

5.2.2. Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó növények száraz tömegének változása a molibdén kezelések függvényében

Növekvő koncentrációjú molibdénrel kezelt kukorica csíranövények fejlődését a 14. ábra szemlélteti, hajtásainak és gyökereinek száraz tömegét pedig a 24. táblázatban foglaltam össze.



14. ábra: Molibdén kezelés hatása a kukorica csíranövény fejlődésére
(Fotó: Bódi, 2014)

24. táblázat: Rizoboxban nevelt kukorica csíranövény hajtásának és gyökerének száraz tömege (g növény⁻¹) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	Kukorica száraz tömege (g növény ⁻¹)	
	Hajtás	Gyökér
0	0,0238±0,0034 ^{ab}	0,0400±0,0098 ^a
30	0,0267±0,0046 ^{bc}	0,0394±0,0103 ^a
90	0,0308±0,0083 ^c	0,0374±0,0120 ^a
270	0,0210±0,0049 ^a	0,0305±0,0069 ^b

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. n=3±s.e.

A táblázat eredményei alapján jól látható, hogy a 90 mg kg⁻¹ Mo-kezelés kedvezően hatott a hajtás szárazanyag produktumára, a gyökér száraz tömeg eredményeire azonban nem volt statisztikailag igazolható hatással. A legnagyobb Mo-kezelés azonban már gátolta a gyökér fejlődését. A gyökér száraz tömege 24%-kal csökkent a kontrollhoz viszonyítva. A 14. ábra azonban arra mutat rá, hogy a tesztnövényeken fitotoxicitásra utaló tünetek még a legnagyobb dózis esetén sem jelentkeztek.

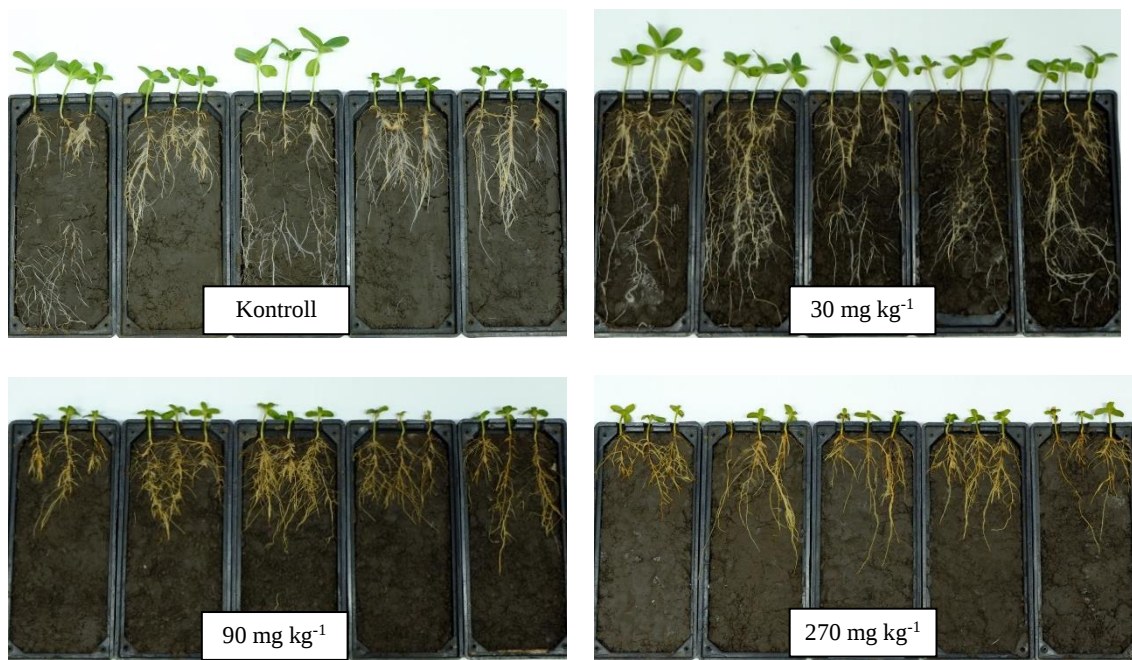
A napraforgó csíranövények hajtásának és gyökerének száraz tömege eredményeit a 25. táblázat tartalmazza.

25. táblázat: Rizoboxban nevelt napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének száraz tömege (g növény⁻¹) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	Napraforgó száraz tömege (g növény ⁻¹)	
	Hajtás	Gyökér
0	0,0531±0,0112 ^a	0,0201±0,0069 ^a
30	0,0608±0,0086 ^b	0,0255±0,0053 ^b
90	0,0379±0,0088 ^c	0,0156±0,0046 ^c
270	0,0347±0,0058 ^c	0,0115±0,0028 ^d

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. n=3±s.e.

Azt tapasztaltam, hogy a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés mind a hajtás mind a gyökér száraz anyag produktumára pozitívan hatott, ahogyan az a 15. ábrán is látható. A hajtás esetében 14,5%-os, a gyökérnél 26%-os növekedést mutattam ki a kontrollhoz képest. Ezzel ellentétben a 90 és 270 mg kg⁻¹ kezelések már gátolták a hajtás és a gyökér tömegének gyarapodását. A legnagyobb kezelésnél hajtás esetében 35%-os, gyökér esetében 43%-os csökkenést jegyeztem fel a kontrollhoz viszonyítva.

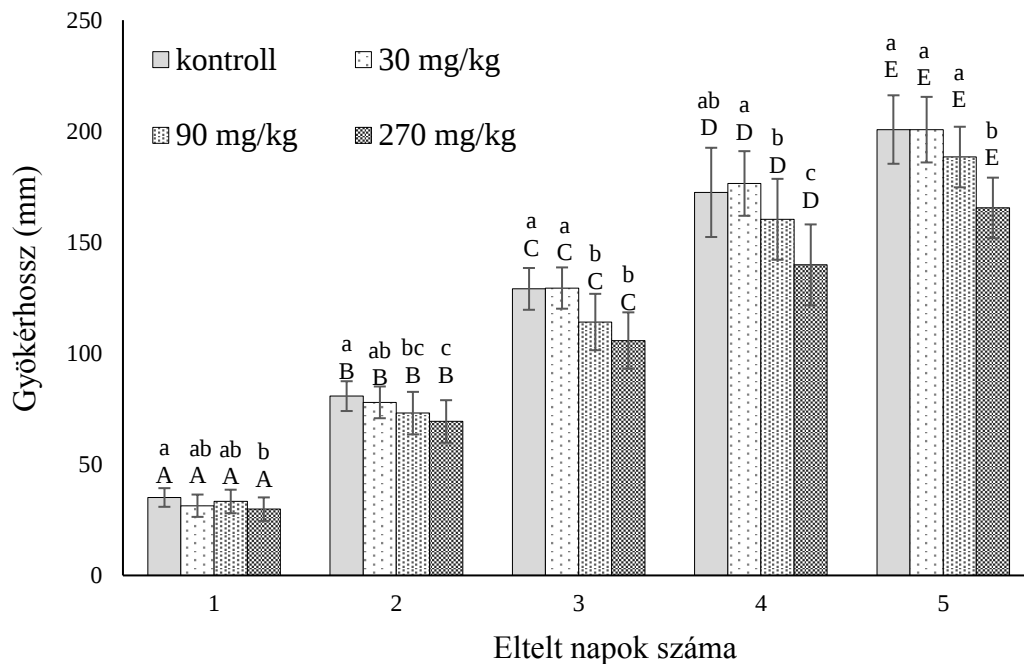


15. ábra: Molibdén kezelés hatása a napraforgó csíranövény fejlődésére
(Fotó: Bódi, 2014)

A 15. ábrát tanulmányozva továbbá az is látható, hogy a 90 és 270 mg kg⁻¹ Mo-dózisok esetében a csíranövényeken már a fitotoxicitási tünetek is jelentkeztek. A molibdénmérgezésben szenvedő növények gyökerei sárgás-barnás színt mutattak, a kisméretű levelei pedig sárgászöld színűek voltak.

5.2.3. Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó növények gyökérnövekedése a molibdén kezelések függvényében

A rizoboxos kísérlet lehetővé tette a kísérleti növények gyökérnövekedésének meghatározását is. A kukorica csíranövények napi gyökérnövekedését a 16. ábra szemlélteti.



16. ábra: Rizoboxban nevelt kukorica csíranövények gyökérhossza (mm) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében

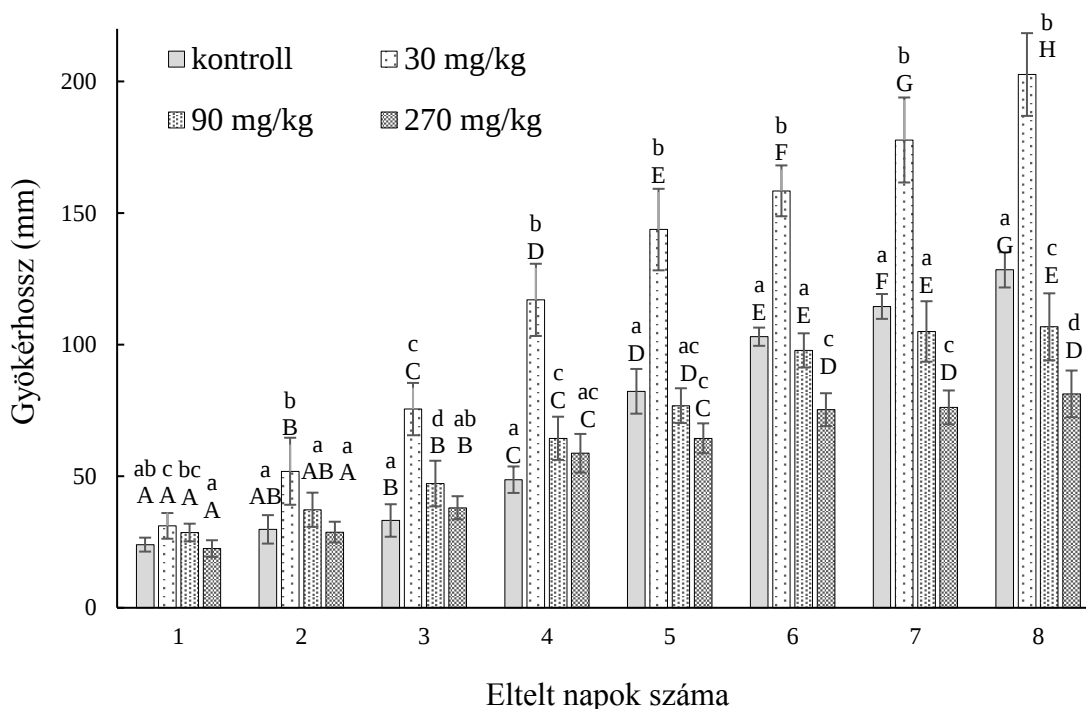
Az eltérő kisbetűk a szignifikáns ($P < 0,05$) különbségeket jelzik a kezelések között a vizsgálat egyes napjain belül. Az eltérő nagybetűk a szignifikáns ($P < 0,05$) különbségeket jelzik egy kezeléson belül, a vizsgálat egyes napjai között. $n=3 \pm s.e.$

A gyökér fejlődését a kísérlet bontásáig, azaz 5 napig követem nyomon és az eltelt napok között valamennyi alkalmazott kezelés esetében szignifikáns növekedést tudtam kimutatni. Azonban az idő függvényében a gyökér növekedésének intenzitása folyamatosan csökkent és ez valamennyi kezelés esetén megfigyelhető volt. Az 1. és 2. nap között ugyanis 121-151%-os, a 2. és 3. nap között 53-65%-os, a 3. és 4. nap között 32-40%-os, a 4. és 5. nap között 14-18%-os növekedést jegyeztem fel.

A 16. ábra alapján ezenkívül az is megállapítható, hogy a talaj Mo koncentrációja is hatással volt a gyökér fejlődésére. A kontroll és a 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelések között a kísérlet bontásáig minden egyes napon szignifikáns különbséget tapasztaltam, továbbá szignifikáns különbséget mutattam ki a kontroll és a 90 mg kg⁻¹ Mo-kezelések között a vizsgálat 2. és 3. napján.

Továbbá az eredmények arra mutatnak rá, hogy a kísérlet befejezésekor a kukorica csíranövények gyökérhossz értékei különböző kezelések esetén szoros összefüggést mutatnak a gyökerek száraz tömeg eredményeivel. Ugyanis a száraz tömeg és a gyökérhossz eredmények esetében is azt tapasztaltam, hogy a 30 és 90 mg kg⁻¹ Mo-kezelések bár kismértékben csökkentették ezen értékeket, szignifikáns csökkenést azonban csak a legnagyobb Mo-dózis eredményezett.

A napraforgó csíranövények gyökerének naponkénti fejlődését a 17. ábra mutatja be.



17. ábra: Rizoboxban nevelt napraforgó csíranövények gyökerhossza (mm) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Az eltérő kisbetűk a szignifikáns ($P < 0,05$) különbségeket jelzik a kezelések között a vizsgálat egyes napjain belül. Az eltérő nagybetűk a szignifikáns ($P < 0,05$) különbségeket jelzik egy kezeléson belül, a vizsgálat egyes napjai között. $n=3 \pm s.e.$

Az eltelt idő függvényében elemezve az eredményeket megállapítottam, hogy a napraforgó gyökérnövekedése eltérést mutat a kukorica fejlődéséhez képest. Napraforgó esetében folyamatos szignifikáns növekedést csak a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés eredményezett. A 90 és a 270 mg kg⁻¹ Mo-dózisok alkalmazásakor viszont azt tapasztaltam, hogy a napraforgó gyökérnövekedésének intenzitása a molibdén terhelés hatására jelentősen mérséklődött. A 90 mg kg⁻¹ Mo-kezelés esetében a kísérlet 1. és 2. napja, 2. és 3. napja, valamint a 6., 7. és 8. napja között már nem lehetett szignifikáns különbségeket kimutatni. A legnagyobb kezelés esetében pedig a kísérlet 1. és 2. napján, 4. és 5. napján, illetve a 6., 7. és 8. napján mért gyökerhossz értékek voltak statisztikai értelemben azonosak.

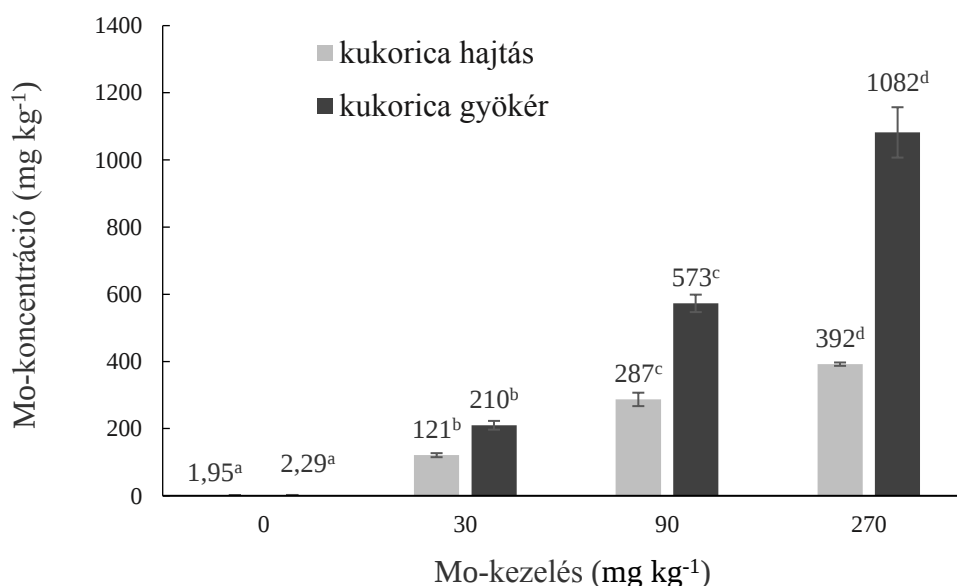
A 17. ábra eredményeit tovább elemezve az is megállapítható, hogy a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés serkentette a gyökér fejlődését a kontrollhoz képest és ez minden egyes mérési napon statisztikailag is igazolható volt. A 90 mg kg⁻¹ Mo-kezelés hatására azonban a gyökér növekedése visszaesett. Az 1. nap kivételével, a 90 mg kg⁻¹ Mo-kezelés

esetében, valamennyi mérési alkalommal szignifikáns csökkenést mutattam ki a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezeléshez viszonyítva. A 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelés esetében, a gyökér hossza a kísérlet 1. és 4. napja között, statisztikailag a kontrollhoz közeli értékeket vett fel, azonban az 5. naptól kezdve a kísérlet befejezéséig már valamennyi mérési napon szignifikáns csökkenést tapasztaltam a kontrollhoz képest.

Az eredményeket értékelve továbbá az is elmondható, hogy a gyökér növekedése és a gyökér száraz tömege közötti kapcsolat, a napraforgó csíranövények esetében is megfigyelhető volt. Ugyanis a száraz tömeg és a gyökérhossz eredmények esetében is azt tapasztaltam, hogy a 30 mg kg⁻¹ kezelés statisztikailag serkentette, míg a 90 és 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelések már szignifikánsan gátolták a gyökér fejlődését a kontrollhoz viszonyítva.

5.2.4. Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó növények molibdén koncentrációja a molibdén kezelések függvényében

A 18. ábra a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések, kukorica csíranövények molibdén koncentrációjára gyakorolt hatását mutatja be.



18. ábra: Rizoboxban nevelt kukorica csíranövények hajtásának és gyökerének Mo koncentrációja (mg kg⁻¹) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében
Az egyes növényi részekben belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm s.e.$

A kontroll talajból, melyben a Mo-tartalom $0,750 \text{ mg kg}^{-1}$ volt, a kukorica csíranövény viszonylag csekély mennyiségű molibdént vett fel. A Mo koncentrációja a hajtásban és a gyökérben is 3 mg kg^{-1} alatt volt. A kísérletnél alkalmazott Mo-kezelések hatására azonban szignifikánsan nőtt a hajtások és gyökerek Mo koncentrációja. A Mo-kezelések intenzív Mo akkumulációt eredményeztek a növényekben, amely azonban ellentétben áll Nayyar et al. (1977) megállapításával, miszerint a kukorica a gyengén akkumuláló növények közé tartozik.

Az eredményeket elemezve továbbá az is megállapítható, hogy a gyökér Mo koncentrációja valamennyi kezelés esetén meghaladta a hajtásban mért értékeket. A gyökér Mo koncentrációja a 30, illetve 90 mg kg^{-1} Mo-kezelések esetében közel kétszerese, a 270 mg kg^{-1} Mo-kezelés esetében megközelítőleg háromszorosa volt a hajtás Mo koncentrációjának.

Hasonló eredményekre jutott Kádár (1995) Nagyhorcsőkön, mészlepedékes csernozjom talajon beállított mikroelemekkel végzett terhelési kísérlete során. Az általa beállított Mo-koncentrációk megegyeztek a kísérletben alkalmazottakkal és a vizsgálati növénye szintén kukorica volt. Azt tapasztalta, 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 föld alatti szervekben, ugyanis a gyökérben és a hajtásban mért Mo-koncentrációk hányadosa a kezeléseknél a következők voltak: 10; 1,30; 1,60; 1,26. A kísérletben ezek az értékek az alábbiak: 1,17; 1,73; 2,00; 2,76. Ezekből az értékekből kitűnik, hogy a kísérletben, a kukorica gyökerében egy intenzívebb koncentrációnövekedés következett be a kezelés hatására.

A rizoboxban nevelt kukorica csíranövények által kivont Mo mennyiségeket a 26. táblázatban rögzítettem.

26. táblázat: Rizoboxban nevelt kukorica csíranövény által felvett Mo mennyisége ($\mu\text{g növény}^{-1}$) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében

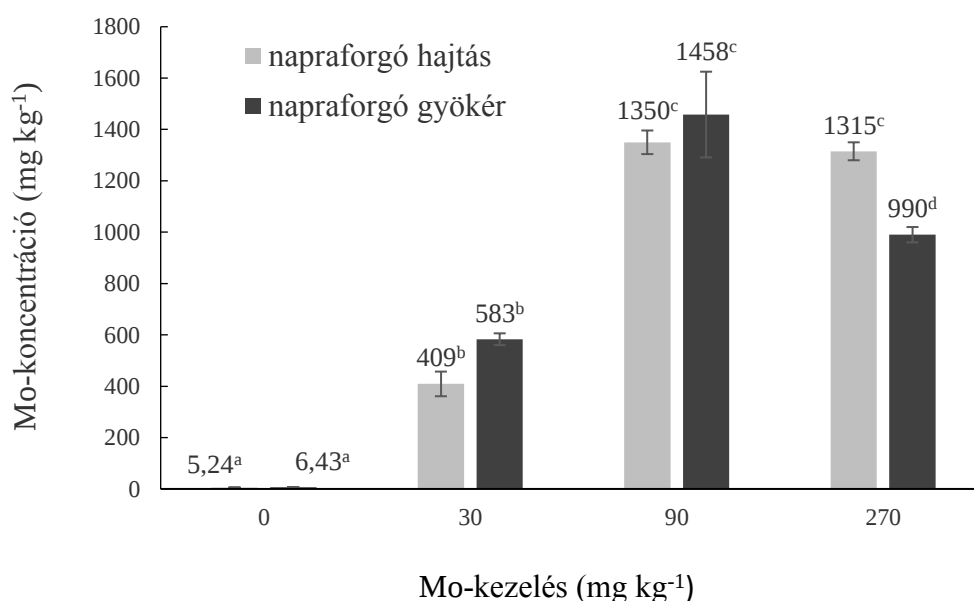
Kezelés (mg kg^{-1})	Kukorica által felvett Mo ($\mu\text{g növény}^{-1}$)		
	Hajtás	Gyökér	Teljes növény
0	$0,046 \pm 0,001^a$ (33)	$0,092 \pm 0,001^a$ (67)	0,138
30	$3,24 \pm 0,02^b$ (28)	$8,29 \pm 0,05^b$ (72)	11,5
90	$8,85 \pm 0,06^c$ (29)	$21,4 \pm 0,1^c$ (71)	30,3
270	$8,23 \pm 0,01^d$ (20)	$33,0 \pm 0,4^d$ (80)	41,2

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. A zárójelben feltüntetett érték az adott növényi rész és a teljes növény által kivont Mo mennyiségének az arányát fejezi ki %-ban. $n=3 \pm \text{s.e.}$

Megállapítottam, hogy a kontroll kezelésű növény által kivont Mo mennyiség rendkívül alacsony volt, $0,138 \mu\text{g növény}^{-1}$ és ennek 67%-a a gyökérben volt jelen. A 30 mg kg^{-1} kezelés azonban, több mint 80-szoros, a 90 mg kg^{-1} kezelés több mint 200-szoros, a legnagyobb kezelés pedig közel 300-szoros növekedést eredményezett a teljes növény által kivont Mo mennyiségben a kontrollhoz viszonyítva.

Továbbá megállapítottam, hogy a tápoldatos kísérleteimhez hasonlóan, a rizoboxban nevelt kukorica növények esetében is a növekvő koncentrációjú Mo-kezeléssel párhuzamosan a hajtásnak a teljes növény Mo tartalmához viszonyított aránya lecsökkent. A kontroll kezelésű növények esetében ugyanis a növény teljes molibdén készletének 33%-a a hajtásban volt jelen, míg a 270 mg kg^{-1} Mo-kezelés esetében ez az érték csupán 20% volt.

A napraforgó csíranövények Mo koncentráció eredményeit a 19. ábra tartalmazza.



19. ábra: Rizoboxban nevelt napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének Mo koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében. Az egyes növényi részekben belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

A táblázatból kitűnik, hogy a napraforgó csíranövények, a kukoricától kissé eltérően reagáltak a Mo-kezelésekre. Szignifikáns növekedést a hajtások és a gyökerek Mo koncentrációjában ugyanis csak a kontroll és a 30 mg kg^{-1} , illetve a 30 és a 90 mg kg^{-1}

kezelések között tudtam kimutatni. Az alkalmazott legnagyobb Mo-kezelés viszont már kismértékben gátolta a molibdén felvételét.

Rizoboxban nevelt napraforgó csíranövény által kivont Mo mennyiségeket a 27. táblázatban foglaltam össze.

27. táblázat: Rizoboxban nevelt napraforgó csíranövény által felvett Mo mennyisége ($\mu\text{g növény}^{-1}$) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Kezelés (mg kg^{-1})	Napraforgó által felvett Mo ($\mu\text{g növény}^{-1}$)		
	Hajtás	Gyökér	Teljes növény
0	0,278 $\pm$ 0,005 ^a (68)	0,129 $\pm$ 0,002 ^a (32)	0,407
30	24,9 $\pm$ 0,3 ^b (63)	14,9 $\pm$ 0,1 ^b (37)	39,8
90	51,2 $\pm$ 0,2 ^c (69)	22,7 $\pm$ 0,3 ^c (31)	73,9
270	45,6 $\pm$ 0,1 ^d (80)	11,4 $\pm$ 0,0 ^d (20)	57,0

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. A zárójelben feltüntetett érték az adott növényi rész és a teljes növény által kivont Mo mennyiségének az arányát fejezi ki %-ban. $n=3 \pm \text{s.e.}$

Megállapítottam, hogy a kontroll kezelésű növény által kivont Mo mennyiség 0,407 $\mu\text{g növény}^{-1}$ volt, amely megközelítőleg háromszorosa a kontroll kukorica által felvett Mo mennyiségnek. A 30 mg kg^{-1} kezelés megközelítőleg 100-szoros, a 90 mg kg^{-1} kezelés több mint 180-szoros növekedést eredményezett a teljes növény által kivont Mo mennyiségében a kontrollhoz képest, a legnagyobb kezelésnél viszont a Mo felvétel intenzitása csökkent.

Azt tapasztaltam továbbá, hogy a hajtás által kivont Mo mennyiség valamennyi kezelés esetében meghaladta a gyökér által kivont Mo mennyiséget. A hajtásban lévő Mo mennyiség ugyanis 63-80%-a, a gyökér által felvett Mo mennyiség 20-37%-a volt a növény teljes Mo-készletének.

5.2.5. Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó növények foszfor és kén felvétele a molibdén kezelések függvényében

A kukorica csíranövények hajtásainak és gyökereinek foszfor és kén tartalmát a 28. táblázatban foglaltam össze.

28. táblázat: Rizoboxban nevelt kukorica csíranövény hajtásának és gyökerének foszfor és kén tartalma (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	S (mg kg^{-1})
kukorica hajtás		
0	9684±242 ^a	3567±38 ^a
30	12210±1025 ^b	3426±127 ^a
90	8619±108 ^{ac}	2830±75 ^b
270	7519±42 ^c	2814±16 ^b
kukorica gyökér		
0	5543±900 ^a	1521±246 ^a
30	8856±247 ^b	2163±105 ^b
90	6045±451 ^a	2263±52 ^b
270	4341±140 ^c	2025±28 ^b

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól. $n=3\pm\text{s.e.}$

Kukorica esetében azt tapasztaltam, hogy a 30 mg kg^{-1} Mo-kezelés szignifikáns növekedést eredményezett a hajtás és a gyökér foszfor koncentrációjában, azonban a legnagyobb kezelés már gátolta a P beépülését. A 28. táblázat alapján továbbá az is megállapítható, hogy a Mo hatással volt a S felvételére is: a kezelés hatására a hajtás S koncentrációja lecsökkent, míg a gyökérben valamennyi Mo-kezelés esetében szignifikáns növekedést tudtam kimutatni a kontrollhoz képest.

A napraforgó csíranövények hajtásának és gyökerének makroelem tartalmát a 29. táblázat szemlélteti.

29. táblázat: Rizoboxban nevelt napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének foszfor és kén tartalma (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	S (mg kg^{-1})
napraforgó hajtás		
0	6862±810 ^a	3708±148 ^a
30	7486±693 ^a	4377±133 ^b
90	9196±302 ^b	4051±81 ^{ab}
270	8999±96 ^b	2975±88 ^c
napraforgó gyökér		
0	5811±101 ^a	2565±25 ^a
30	6023±653 ^a	2532±168 ^a
90	5583±31 ^a	1675±13 ^b
270	1765±282 ^b	1204±14 ^c

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól. $n=3\pm\text{s.e.}$

A hajtásban a P koncentrációja megemelkedett a kontrollhoz képest, a gyökérben azonban a 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelés hatására már visszaesést tapasztaltam a P koncentrációjában, mely statisztikailag is igazolható volt. A kén esetében szignifikáns növekedést mutattam ki a hajtásban a 30 mg kg⁻¹-os Mo-kezelés hatására, azonban a legnagyobb kezelés már mindkét növényi rész S tartalmában szignifikáns csökkenést eredményezett.

5.2.6. Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó növények mikroelem felvétele a molibdén kezelések függvényében

Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó csíranövények mikroelem tartalmát a 30-31. táblázatok tartalmazzák.

A táblázatok alapján megállapítható, hogy a kezelések több esetben fokozták a Fe és Mn felvételét, a Cu és a Zn koncentrációjára azonban csekély hatással voltak. A táblázat eredményeiből ezenkívül az is jól látható, hogy a B koncentrációja a gyökérben a kezelések hatására lecsökkent, amely Ndakidemi et al. (2011) eredményeivel mutat hasonlóságot. Ndakidemi et al. (2011) ugyanis azt tapasztalta, hogy a tenyészedényes és a szabadföldi kísérletükben is a közönséges bab gyökerének B tartalma szignifikáns csökkenést mutatott a molibdén kezelések alkalmazásakor a kontroll növényekéhez viszonyítva.

30. táblázat: Rizoboxban nevelt kukorica csíranövény hajtásának és gyökerének mikroelem tartalma (mg kg⁻¹) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)
kukorica hajtás					
0	66,3±4,3 ^a	5,82±0,33 ^a	78,4±3,5 ^a	47,7±1,7 ^a	11,1±0,6 ^a
30	121±19 ^b	5,93±0,57 ^a	82,7±4,4 ^{ab}	54,3±0,8 ^b	10,8±0,6 ^a
90	146±43 ^{bc}	5,33±0,06 ^a	67,3±2,7 ^c	49,4±0,3 ^a	11,2±0,1 ^a
270	179±22 ^c	5,08±0,08 ^a	87,9±4,9 ^b	42,8±0,2 ^c	11,9±0,5 ^a
kukorica gyökér					
0	1763±53 ^a	4,94±0,54 ^a	24,1±3,9 ^a	41,4±0,3 ^a	6,59±0,43 ^a
30	2143±197 ^b	5,61±0,39 ^a	33,0±1,2 ^a	52,7±0,2 ^b	6,27±1,64 ^a
90	2198±70 ^b	7,27±0,36 ^b	48,9±11,8 ^b	57,3±0,2 ^c	2,33±1,02 ^b
270	1959±146 ^{ab}	7,36±0,83 ^b	35,3±0,8 ^a	62,7±0,8 ^d	1,57±0,35 ^b

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. n=3±s.e.

31. táblázat: Rizoboxban nevelt napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének mikroelem tartalma (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	B (mg kg^{-1})
napraforgó hajtás					
0	31,9±1,1 ^a	26,4±1,5 ^{ab}	109±2 ^{ab}	94,1±0,8 ^a	23,0±0,2 ^a
30	56,3±0,2 ^b	24,0±1,5 ^a	117±5 ^b	100±3 ^b	20,7±0,8 ^a
90	63,1±8,3 ^b	27,8±1,3 ^{bc}	99,1±2,7 ^a	98,8±1,7 ^b	19,8±2,1 ^a
270	33,8±7,6 ^a	30,0±0,4 ^c	88,1±6,7 ^c	50,4±1,3 ^c	14,5±2,1 ^b
napraforgó gyökér					
0	5672±60 ^a	37,2±1,9 ^a	65,9±3,3 ^a	180±18 ^a	13,7±1,4 ^a
30	4917±26 ^a	37,4±3,4 ^a	57,0±3,0 ^{ab}	133±8 ^b	15,0±1,0 ^a
90	5351±105 ^a	35,5±1,9 ^a	52,3±0,6 ^a	158±5 ^{ab}	9,81±2,39 ^b
270	3193±56 ^b	29,1±3,1 ^b	114±9 ^c	83,0±12,0 ^c	10,1±1,0 ^b

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

A 31. táblázat eredményeit elemezve továbbá az is megállapítható, hogy a napraforgó esetében az alkalmazott legnagyobb kezelés a vizsgált mikroelemek koncentrációjában, több esetben statisztikailag is igazolható csökkenést eredményezett. A hajtás esetében ugyanis a Zn, a Mn és a B koncentrációjában mutattam ki szignifikáns csökkenést a kontrollhoz képest, a gyökérben pedig a Fe, a Cu, a Mn és a B koncentrációja is szignifikánsan lecsökkent a 270 mg kg^{-1} Mo-kezelés hatására a kontrollhoz viszonyítva.

5.2.7. Rizoboxban nevelt kukorica és napraforgó növények $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációjának változása a molibdén kezelések függvényében

Kukorica esetében azt tapasztaltam, hogy az alkalmazott Mo-kezelések statisztikailag is igazolhatóan csökkentették a hajtások $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációját (32. táblázat).

Összevetve ezeket az eredményeket Kádár et al. (2000) méréseivel, különbséget fedezhetünk fel. Kísérletükben, hexaammónium-heptamolibdenát terhelésnél egyértelmű $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentráció emelkedés következett be. Feltételezése szerint ennek az az oka, hogy az NH_4 -formában adott N már nitrifikálódott és ezt az emelkedett kínálatot tükrözhatték a levelek.

32. táblázat: Rizoboxban nevelt kukorica csíranövény hajtásának és gyökerének nitrát- ($\text{NO}_3\text{-N}$) és ammónium-nitrogén ($\text{NH}_4\text{-N}$) koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg kg^{-1})	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg kg^{-1})
kukorica hajtás		
0	146±1 ^a	456±2 ^a
30	44,7±1,2 ^b	595±5 ^b
90	74,8±0,8 ^c	490±1 ^c
270	133±2 ^d	539±13 ^d
kukorica gyökér		
0	163±3 ^a	205±1 ^a
30	41,7±1,2 ^b	213±1 ^b
90	76,6±0,7 ^c	245±1 ^c
270	185±3 ^d	206±4 ^a

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól; $n=3\pm\text{s.e.}$

A 32. táblázat eredményei alapján ezenkívül az is megállapítható, hogy az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja szignifikánsan nőtt a hajtásokban a növekvő molibdén koncentrációknak megfelelően a kontroll értékhez viszonyítva.

A gyökerek esetében a 30 és 90 mg kg^{-1} Mo-kezelések csökkentették a gyökerek $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalmát, és növelték az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációját a kontrollhoz képest. A felvett nitrát jelentős része ammóniummá redukálódott, ami viszont glutaminsavhoz kapcsolódva, transzaminálási reakciókon keresztül részt vett az aminosavak és ezáltal a fehérjék szintézisében.

A 270 mg kg^{-1} Mo-kezelés hatására azonban az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja lecsökkent és kontrollhoz közeli értéket vett fel. A rendszer finoman szabályozott, ugyanis az ammónium nem halmozódhat fel a szövetekben. A szabad ammónium magas koncentrációja sejtméreg, ugyanis az energetizáló membránokba (elsősorban mitokondriális) beépülve szétkapcsoló faktorként funkcionál, azaz ATP szintézise nélkül depolarizálja a membránt. Mivel a csíranövények nem mutattak toxikus tüneteket, feltételezésem szerint az ammónium megkötéséhez elegendő glutaminsav állt rendelkezésre. Ebből viszont arra lehet következtetni, hogy a glutaminsav szénvázata adó citromsav-ciklus, azaz a légzés dehidrogenáló fázisának ez a szakasza is aktív volt. Mindez intenzív anyagcserére utal, amiben a molibdén szerepe a kísérleteim által is bizonyított.

A napraforgó csíranövények hajtásainak és gyökereinek $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ eredményeit a 33. táblázat tartalmazza.

33. táblázat: Rizoboxban nevelt napraforgó csíranövény hajtásának és gyökerének nitrát-(NO₃-N) és ammónium-nitrogén (NH₄-N) koncentrációja (mg kg⁻¹) a molibdén kezelések (0, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)
napraforgó hajtás		
0	55,1±3,2 ^a	292±1 ^a
30	62,9±0,8 ^b	181±2 ^b
90	104±2 ^c	806±1 ^c
270	106±6 ^c	1262±4 ^d
napraforgó gyökér		
0	21,4±1,2 ^a	483±2 ^a
30	20,7±1,7 ^a	402±0 ^b
90	53,8±2,8 ^b	773±3 ^c
270	348±3 ^c	1008±13 ^d

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. n=3±s.e.

Megállapítottam, hogy az egyes Mo-kezelések hatására a NO₃-N koncentrációja a hajtásban és a gyökérben is statisztikailag igazolható növekedést mutatott a kontrollhoz képest, szignifikáns különbséget csak a gyökér részben, a kontroll és a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelések között nem lehetett kimutatni. A 33. táblázat alapján továbbá az is megállapítható, hogy a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés kivételével az NH₄-N koncentrációja is szignifikánsan megemelkedett a kezelés hatására a kontroll értékekhez viszonyítva.

5.3. Tenyészedényes kísérlet

5.3.1. Tenyészedényes kísérlet talajvizsgálati eredményei

A tenyészedényes kísérletben alkalmazott talajok elemtartalmát a 34. táblázatban foglaltam össze.

A táblázat eredményei arra mutatnak rá, hogy a Látóképről, Pallagról és Nyíregyházáról származó talajok makro- és mikroelem készletében szignifikáns eltérések vannak. A mért koncentrációk a pallagi talaj esetében voltak a legalacsonyabbak (kivétel: Cd, P), legnagyobb koncentráció értékeket pedig a látóképi talaj esetében jegyeztem fel (kivétel: Na).

34. táblázat: A tenyészedényes kísérletben alkalmazott látóképi, pallagi és nyíregyházi talaj elemtartalma (mg kg^{-1})

Elemek (mg kg^{-1})	Látókép (mg kg^{-1})	Pallag (mg kg^{-1})	Nyíregyháza (mg kg^{-1})
Al	24126±1309	6002±509	12086±525
B	13,3±0,9	5,23±0,75	8,55±0,67
Ca	4735±204	1425±94	1822±29
Cd	<k.h.	0,046±0,017	<k.h.
Co	11,8±0,3	4,26±0,19	9,06±0,09
Cr	40,3±1,8	12,0±0,9	22,4±0,5
Cu	22,2±0,9	11,3±1,2	16,2±0,2
Fe	21699±1083	7157±815	13558±141
K	6829±362	2318±187	2856±151
Li	25,5±0,8	8,33±0,54	15,3±0,3
Mg	6285±286	1947±115	4017±47
Mn	1187±22	177±6	318±4
Mo	<k.h.	<k.h.	<k.h.
Na	199±17	94,1±8,9	201±11
Ni	25,7±0,9	8,99±0,54	13,7±0,2
P	621±19	548±31	357±10
Pb	17,6±0,4	7,32±0,81	9,53±0,96
S	189±9	74,6±9,0	82,8±2,1
Zn	60,2±2,2	31,2±1,1	38,3±0,5

Rövidítések: <k.h.=kimutatási határ alatt. n=3±s.e.

A következő lépésben a kontroll és a kezelt talajok oldható molibdén koncentrációját határoztam meg, amelynek eredményeit a 35. táblázat tartalmazza.

A táblázatból kitűnik, hogy a Mo-kezelések hatására a talajok oldható Mo koncentrációja szignifikánsan megemelkedett, azonban a növények számára hasznosítható Mo koncentrációban eltérést figyeltem meg a különböző talajtípusok között. Azt tapasztaltam, hogy a nyíregyházi talaj esetében az összes molibdénnek csupán 26-29%-a hozzáférhető a növények számára. A látóképi talaj esetében ez az érték nagyobb volt, 44-56%, a pallagi talaj esetében pedig még magasabb, 62-67%.

35. táblázat: A látóképi, pallagi és nyíregyházi kontroll és kezelt talajok összes molibdén, valamint Lakanen-Erviö oldható molibdén tartalma (mg kg⁻¹)

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	Összes Mo (mg kg ⁻¹) (A)	Lakanen-Erviö oldható Mo (mg kg ⁻¹) (B)	B/A
Látókép (pH=6,58)			
0	<k.h.	<k.h.	-
3	2,96±0,05 ^a	1,67±0,06 ^a	0,564
30	27,3±4,2 ^b	12,1±0,2 ^b	0,443
90	87,2±2,2 ^c	43,2±1,0 ^c	0,495
270	265±5 ^d	141±12 ^d	0,532
Pallag (pH=7,14)			
0	<k.h.	<k.h.	-
30	27,4±2,5 ^a	18,4±0,4 ^b	0,672
270	272±2 ^b	169±9 ^c	0,621
Nyíregyháza (pH=5,09)			
0	<k.h.	<k.h.	-
30	30,2±1,0 ^a	8,74±0,20 ^b	0,289
270	281±4 ^b	74,3±2,0 ^c	0,264

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. Rövidítések: k.h.=kimutatási határ. n=3±s.e.

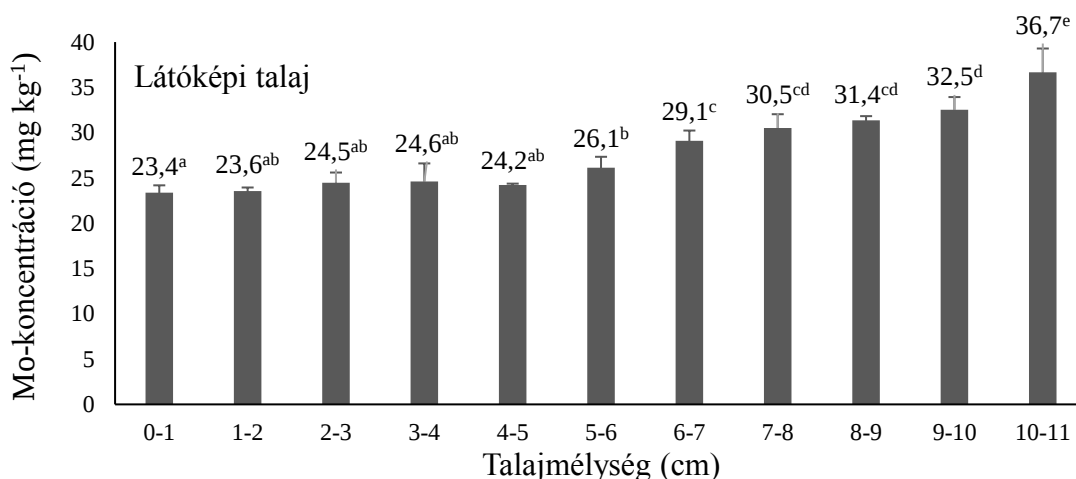
Véleményem szerint ennek az eltérésnek a legfőbb oka a talaj kémhatásában és elemtartalmában (pl.: Fe, Al) keresendő. Savanyú talajok esetében ugyanis a növények számára hozzáférhető molibdén mennyisége csekély, mivel a talaj vas- és alumínium-oxidjai erős kötésben tartják a molibdenát aniont. Mivel az alkalmazott talajok közül legkisebb pH értékkel a nyíregyházi talaj rendelkezett (pH=5,09), Al és Fe tartalma azonban magas volt, ezért feltételezésem szerint a bejuttatott Mo jelentős része vas- és alumínium-oxidokhoz kapcsolódva volt jelen a talajban és ez eredményezte az alacsonyabb oldható Mo tartalmat.

A talaj pH értékének növekedésével párhuzamosan az adszorpció viszont gyengül és a Mo jelentős része a talajoldatba kerül. A pallagi és a látóképi talajban mért magasabb oldható Mo tartalom véleményem szerint ennek az összefüggésnek az eredménye.

Talajvizsgálataim keretében továbbá azt is meghatároztam, hogy a borsó növények naponkénti öntözése okozott-e Mo lemosódást a talajban. A vizsgálathoz a 30 mg kg⁻¹ Mo kezelésű talaj esetében a tenyészedényekből 1 cm-ként rétegmintát vettem a kísérlet befejezésekor. Eredményeimet a 20-22. ábrák szemléltetik.

A látóképi talaj esetében azt tapasztaltam, hogy a talaj összes Mo koncentrációja fokozatosan emelkedett a talajmélység függvényében. Ez a koncentráció növekedés a talaj felső 5 cm-ben kismértékű volt, nem lehetett szignifikáns különbségeket kimutatni a rétegek között, azonban az 5-11 cm-es és a 0-1 cm réteg Mo koncentrációjában a

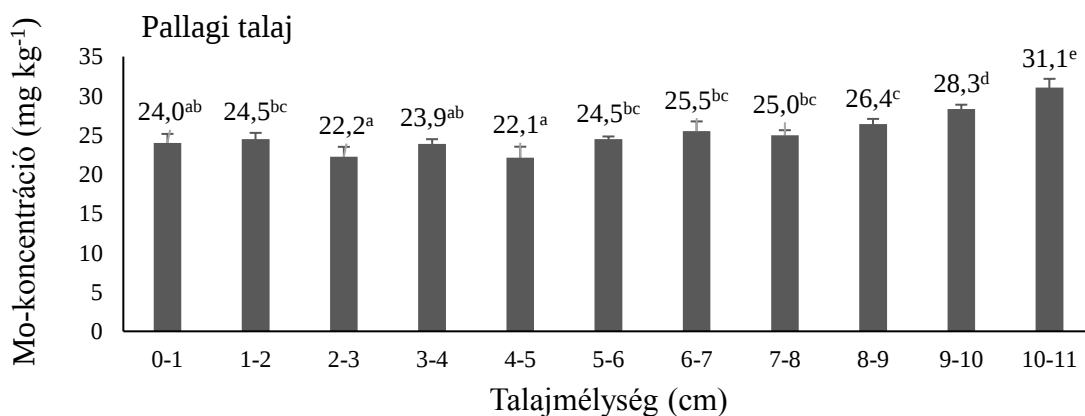
különbség már statisztikailag is igazolható volt, valamint az 5-11 cm-es tartományban is több esetben szignifikáns növekedést tudtam kimutatni a rétegminták Mo-koncentrációjában (20. ábra). Véleményem szerint a molibdén lemosódásnak elsősorban az volt oka, hogy bár a három vizsgált talaj közül a látóképi talajnak volt legmagasabb az Al és Fe koncentrációja, a talaj magas pH értéke (pH=6,58) miatt a Fe-és Al-oxidok nem tudták kötésben tartani a hozzáadott Mo jelentős részét.



20. ábra: A 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelésű látóképi talaj összes molibdén koncentrációjának változása a talajmélység függvényében

A különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm s.e.$

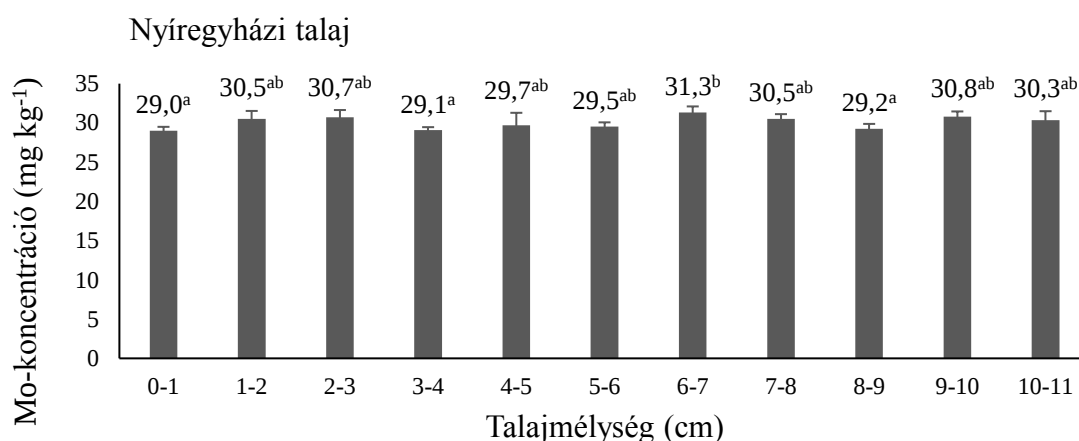
A pallagi talaj esetében szintén tapasztaltam kismértékű Mo lemosódást, ahogyan azt a 21. ábra is mutatja. A talaj Mo koncentrációja 22,1 és 31,1 mg kg⁻¹ értékek között ingadozott a talajmélység függvényében. A Mo lemosódásában feltételezésem szerint fontos szerepet játszott a talaj közel semleges pH értéke (pH=7,14), alacsony Al és Fe koncentrációja és a szerkezetéből adódó nagy vízáteresztő képessége.



21. ábra: A 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelésű pallagi talaj összes molibdén koncentrációjának változása a talajmélység függvényében

A különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm s.e.$

A nyíregyházi talaj esetében viszont azt tapasztaltam, hogy a Mo koncentrációja csak szűk intervallumban változott ($29,0\text{--}31,3 \text{ mg kg}^{-1}$) és a rétegminták között a legtöbb esetben nem lehetett szignifikáns különbséget kimutatni (22. ábra). Szignifikáns Mo koncentráció növekedést csak a 0-1 és 6-7 cm-es, valamint a 3-4 és 6-7 cm-es rétegek között állapítottam meg. Véleményem szerint azért nem tapasztaltam lemosódást a nyíregyházi talaj esetében, mert a talaj Al- és Fe-oxidjai a talaj savanyú kémhatásának ($\text{pH}=5,09$) köszönhetően a Mo jelentős részét kötésben tartották.



22. ábra: A 30 mg kg^{-1} Mo-kezelésű nyíregyházi talaj összes molibdén koncentrációjának változása a talajmélység függvényében

A különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól. $n=3\pm\text{s.e.}$

5.3.2. Tenyészedényekben nevelt borsó növények száraz tömegének változása a molibdén kezelések függvényében

A látóképi mészlepedékes csernozjom talajon termesztett, különböző fejlődési stádiumban lévő zöldborsó növények vegetatív részeinek száraz tömegét a 36. táblázatban foglaltam össze.

36. táblázat: Látóképi mészlepedékes csernozjom talajon termesztett, különböző fejlődési stádiumban lévő zöldborsó növények vegetatív részeinek száraz tömege (g növény⁻¹) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	4 nóduszos állapot	virágzás kezdete	zöldérés	teljesérés
levél száraz tömege (g növény ⁻¹)				
0	0,0825±0,0160 ^{ab}	0,1998±0,0161 ^{ab}	0,2255±0,0408 ^a	0,4640±0,1238 ^a
3	0,0909±0,0216 ^{abc}	0,1984±0,0492 ^{ab}	0,1980±0,0403 ^{ab}	0,5022±0,0776 ^a
30	0,1041±0,0191 ^c	0,2366±0,0101 ^a	0,2698±0,0306 ^a	0,7956±0,0993 ^b
90	0,0964±0,0151 ^{bc}	0,1859±0,0276 ^{bc}	0,2221±0,0415 ^a	0,5193±0,1411 ^a
270	0,0684±0,0142 ^a	0,1488±0,0086 ^c	0,1405±0,0478 ^b	0,3787±0,0861 ^a
szár száraz tömege (g növény ⁻¹)				
0	0,0270±0,0035 ^a	0,2043±0,0168 ^{abc}	0,2241±0,0579 ^{ab}	0,3829±0,0759 ^a
3	0,0378±0,0076 ^b	0,2252±0,0302 ^{bc}	0,2260±0,0797 ^{ab}	0,3948±0,0513 ^a
30	0,0431±0,0090 ^{bc}	0,2403±0,0252 ^c	0,2716±0,0240 ^b	0,7475±0,1335 ^b
90	0,0522±0,0075 ^c	0,1872±0,0407 ^{ab}	0,2113±0,0435 ^{ab}	0,5490±0,2454 ^{ab}
270	0,0340±0,0046 ^{ab}	0,1584±0,0075 ^a	0,1485±0,0322 ^a	0,3118±0,1202 ^a
gyökér száraz tömege (g növény ⁻¹)				
0	0,0193±0,0026 ^{ab}	0,0381±0,0135 ^a	0,0305±0,0076 ^{ab}	0,0687±0,0023 ^{ab}
3	0,0256±0,0056 ^b	0,0364±0,0121 ^a	0,0365±0,0106 ^b	0,0806±0,0064 ^{bc}
30	0,0219±0,0011 ^{ab}	0,0289±0,0042 ^{ab}	0,0368±0,0026 ^b	0,0898±0,0108 ^c
90	0,0242±0,0020 ^b	0,0269±0,0091 ^{ab}	0,0289±0,0030 ^{ab}	0,0519±0,0137 ^a
270	0,0171±0,0031 ^a	0,0210±0,0051 ^b	0,0246±0,0058 ^a	0,0537±0,0172 ^a

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. n=3±s.e.

Borsó levél esetében azt tapasztaltam, hogy a 3 mg kg⁻¹ Mo-kezelés egyetlen vizsgált fenofázis esetében sem volt szignifikáns hatással a növény száraz tömeg produktumára. A 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés azonban már előnyösen hatott a teljesérés fenofázisban lévő növény fejlődésére, ugyanis teljesérés fenofázisban 71%-os tömegnövekedést jegyeztem fel a kontroll levelek száraz tömegéhez viszonyítva. Az alkalmazott legnagyobb Mo-kezelés viszont már gátolta a levél tömeg gyarapodását. A 270 mg kg⁻¹ molibdénnel kezelt borsó növények leveleinek száraz tömege ugyanis egyetlen fenofázis esetében sem érte el a kontroll értéket, szignifikáns különbséget azonban a kontrollhoz viszonyítva csak a virágzás kezdete és a zöldérés fenofázisban tudtam kimutatni.

A szár és gyökér esetében hasonló tendencia figyelhető meg a száraz tömeg gyarapodásban, mint a borsó levél esetében. Szintén megállapítottam, hogy a 3 mg kg⁻¹ Mo kezelésnek a növény fejlődésre kifejtett hatása csekélynek tekinthető, ugyanis szignifikáns különbséget a kontroll és a 3 mg kg⁻¹ Mo-kezelés között csak a négy nóduszos fejlődési stádiumban lévő szár esetében mutattam ki. A 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés hatására azonban a szár és a gyökér átlagos száraz tömege a borsó leveléhez hasonlóan valamennyi fejlődési stádiumban növekedést mutatott.

Továbbá megállapítottam, hogy 270 mg kg^{-1} Mo kijuttatása bár a kontroll kezeléshez képest nem eredményezett statisztikailag is kimutatható csökkenést a szár és a gyökér száraz tömegében, azonban szignifikáns különbséget figyeltem meg a 30 és a 270 mg kg^{-1} Mo- kezelések között a virágzás kezdete fenofázisban szár esetén, illetve a zöldérés és a teljesérés fenofázisban.

A zöldborsó növények termésének száraz tömeg értékeit a 37. táblázatban foglaltam össze.

37. táblázat: Látóképi mészlepedékes csernozjom talajon termesztett zöldborsó növények termésének száraz tömege (g növény^{-1}) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	termés száraz tömege (g növény^{-1})		
	borsóhüvely (zöldérés)	borsóhüvely (teljesérés)	borsószem (teljesérés)
0	$0,1321 \pm 0,0575^{\text{ab}}$	$0,2326 \pm 0,0697^{\text{a}}$	$0,2092 \pm 0,0190^{\text{a}}$
3	$0,1324 \pm 0,0211^{\text{ab}}$	$0,2489 \pm 0,0306^{\text{a}}$	$0,2123 \pm 0,0505^{\text{a}}$
30	$0,2509 \pm 0,0682^{\text{c}}$	$0,3259 \pm 0,0373^{\text{a}}$	$0,2333 \pm 0,0557^{\text{a}}$
90	$0,1964 \pm 0,0544^{\text{bc}}$	$0,2501 \pm 0,0563^{\text{a}}$	$0,1895 \pm 0,0595^{\text{a}}$
270	$0,0991 \pm 0,0022^{\text{a}}$	$0,2370 \pm 0,0453^{\text{a}}$	$0,1737 \pm 0,0430^{\text{a}}$

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a teljesérésben lévő borsóhüvely és borsószem száraz tömeg produktumára egyetlen Mo-kezelés sem volt statisztikailag igazolható hatással. Szignifikáns növekedést csak a zöldérés fenofázisban lévő borsóhüvely száraz tömeg értékeiben, a 30 mg kg^{-1} Mo-dózis esetében lehetett kimutatni a kontrollhoz képest.

A pallagi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó növények száraz tömeg értékei a Mo-kezelések függvényében jelentős eltéréseket mutatnak a látóképi talajon nevelt növényekhez képest (38. táblázat).

38. táblázat: Pallagi humuszos homoktalajon termesztett, különböző fejlődési stádiumban lévő zöldborsó növények vegetatív részeinek száraz tömege (g növény⁻¹) a molibdén kezelések (0, 30, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	4 nóduszos állapot	virágzás kezdete	zöldérés	teljesérés
		levél száraz tömege (g növény ⁻¹)		
0	0,1158±0,0213 ^a	0,3013±0,0534 ^a	0,3744±0,0845 ^a	0,3290±0,0644 ^a
30	0,0578±0,0058 ^b	0,1568±0,0388 ^b	0,2043±0,0348 ^b	0,2121±0,0702 ^b
270	0,0178±0,0041 ^c	-	-	-
		szár száraz tömege (g növény ⁻¹)		
0	0,0549±0,1007 ^a	0,2869±0,0649 ^a	0,3848±0,1003 ^a	0,4526±0,1084 ^a
30	0,0340±0,0067 ^b	0,1590±0,0236 ^b	0,2431±0,0335 ^b	0,2373±0,0935 ^b
270	0,0221±0,0043 ^c	-	-	-
		gyökér száraz tömege (g növény ⁻¹)		
0	0,0313±0,0094 ^a	0,0555±0,0141 ^a	0,0608±0,0037 ^a	0,0613±0,0074 ^a
30	0,0158±0,0034 ^b	0,0353±0,0004 ^b	0,0275±0,0022 ^b	0,0396±0,0137 ^b
270	0,0149±0,0034 ^b	-	-	-

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm s.e.$

Alapvető különbségként emelhető ki például, hogy a pallagi talajon nevelt növényeknél egyetlen fenofázis esetében sem eredményezett az alkalmazott Mo-kezelés növekedést a száraz anyag produktumban. Megállapítottam, hogy 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés alkalmazásakor a vizsgált fenofázisokban a levél száraz tömege 36-50%-kal, a száré 37-48%-kal, a gyökéré 35-55%-kal csökkent a kontrollhoz képest. Továbbá azt tapasztaltam, hogy az alkalmazott legnagyobb kezelés nemcsak gátolta a növény fejlődését, hanem a négy nóduszos állapotot követően már a növény pusztulását eredményezte (23. ábra).



23. ábra: Pallagi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó növények a teljesérés fenofázisban (Fotó: Bódi, 2015)

Véleményem szerint ezeknek a szembetűnő különbségeknek elsősorban az az oka, hogy a pallagi humuszos homoktalaj pH értéke (pH=7,14) meghaladta a Látóképről származó talaj értékét (pH=6,58). A talaj magasabb pH értékének eredményeként a talajba juttatott molibdén jelentős része feltételezésem szerint molibdenát anionként, jól felvehető formában volt jelen a talajoldatban, ami extrém magas molibdén akkumulációt tett lehetővé. Az elemanalitikai vizsgálataim ugyanis arra mutattak rá (45-46. táblázatok), hogy a 30 mg kg⁻¹ Mo dózissal kezelt, pallagi talajon termesztett borsó növények Mo koncentrációja 1-2 nagyságrenddel meghaladta a látóképi talajon nevelt borsó növényeknél mért értékeket.

Az alkalmazott Mo-kezelések hatással voltak a termés száraz anyag produktumára is, ahogyan azt a 39. táblázat is alátámasztja.

39. táblázat: Pallagi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó növények termésének száraz tömege (g növény⁻¹) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	termés száraz tömege (g növény ⁻¹)		
	borsóhüvely (zöldérés)	borsóhüvely (teljesérés)	borsószem (teljesérés)
0	0,2698±0,0819 ^a	0,3077±0,0126 ^a	0,2263±0,0334 ^a
30	0,1436±0,0464 ^b	0,2363±0,0344 ^b	0,1487±0,0238 ^b
270	-	-	-

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. n=3±s.e.

A zöldérés fenofázisban, a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés esetén a borsóhüvely száraz tömege 47%-kal, a teljesérés fenofázisban 24%-kal csökkent, míg a borsószemek esetében 35%-os csökkenést állapítottam meg a kontrollhoz képest.

A nyíregyházi humuszos homoktalajon termesztett, különböző fejlődési stádiumban lévő zöldborsó növények száraz tömeg értékeit a 40. táblázatban foglaltam össze.

40. táblázat: Nyíregyházi humuszos homoktalajon termesztett, különböző fejlődési stádiumban lévő zöldborsó növények vegetatív részeinek száraz tömege (g növény⁻¹) a molibdén kezelések (0, 30, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	4 nóduszos állapot	virágzás kezdete	zöldérés	teljesérés
		levél száraz tömege (g növény ⁻¹)		
0	0,0813±0,0064 ^a	0,1410±0,0396 ^a	0,2261±0,0402 ^a	0,1938±0,0030 ^a
30	0,1335±0,0363 ^b	0,2226±0,0436 ^b	0,3036±0,0021 ^b	0,2440±0,0185 ^b
270	0,1037±0,0104 ^{ab}	0,1330±0,0034 ^{ab}	0,1961±0,0478 ^a	0,1961±0,0289 ^a
		szár száraz tömege (g növény ⁻¹)		
0	0,0408±0,0036 ^a	0,1028±0,0417 ^a	0,2189±0,0401 ^a	0,2202±0,0543 ^a
30	0,0559±0,0084 ^b	0,2190±0,0371 ^b	0,3357±0,0191 ^b	0,3218±0,0421 ^b
270	0,0405±0,0069 ^a	0,1891±0,0198 ^{ab}	0,2004±0,0458 ^a	0,2194±0,0261 ^a
		gyökér száraz tömege (g növény ⁻¹)		
0	0,0335±0,0048 ^a	0,0555±0,0035 ^a	0,0527±0,0065 ^{ab}	0,0409±0,0096 ^a
30	0,0309±0,0034 ^{ab}	0,0465±0,0067 ^{ab}	0,0526±0,0020 ^a	0,0587±0,0042 ^b
270	0,0230±0,0050 ^b	0,0422±0,0026 ^b	0,0392±0,0008 ^b	0,0480±0,0113 ^{ab}

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm s.e.$

Az tapasztaltam, hogy talaj savanyú kémhatásának ($pH=5,09$) köszönhetően, az egyes növényi részek Mo koncentrációja szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a pallagi, illetve a látóképi talajon nevelt növények Mo tartalma (48-49. táblázatok) és ez az eltérés a száraz tömeg értékekben is megmutatkozott. Megállapítottam, hogy 30 mg kg⁻¹ Mo talajba történő kijuttatása valamennyi vizsgált fenofázisban elősegítette a levél és a szár tömeggyarapodását, és az alkalmazott Mo kezelésnek ez a kedvező hatása statisztikailag is kimutatható volt. Négy nóduszos fejlődési stádiumban lévő borsó leveleknél 64%-os, virágzás kezdete fejlődési stádiumban lévőknél 57%-os, zöldérés fenofázisban 34%-os, míg teljesérés fenofázisban 26%-os növekedést jegyeztem fel a kontroll levelekhez viszonyítva. A szár esetében ezek az értékek fenofázisonként a következők voltak: 37%, 113%, 53% és 46%. Gyökér esetében viszont azt tapasztaltam, hogy a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés szignifikáns különbséget csak a teljesérés fenofázisban eredményezett a kontrollhoz képest. Továbbá megállapítottam, hogy a 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelés hatására a növények fejlődése visszaesett a 30 mg kg⁻¹ molibdénnel kezelt növényekhez képest és száraz tömegük a kontrollhoz közeli értékeket vett fel. Szignifikáns különbséget a kontrollhoz viszonyítva csak a gyökér esetében a négy nóduszos és a virágzás kezdete fejlődési fázisban tudtam kimutatni.

A zöldborsó növények termésének száraz tömeg eredményeit a 41. táblázat tartalmazza.

41. táblázat: Nyíregyházi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó növények termésének száraz tömege (g növény⁻¹) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	termés száraz tömeg (g növény ⁻¹)		
	borsóhüvely (zöldérés)	borsóhüvely (teljesérés)	borsószem (teljesérés)
0	0,1960±0,0297 ^a	0,1968±0,0038 ^a	0,2343±0,0769 ^a
30	0,2475±0,0239 ^a	0,2451±0,0128 ^b	0,2706±0,0285 ^a
270	0,1913±0,0376 ^a	0,2067±0,0099 ^{ab}	0,2384±0,0500 ^a

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. n=3±s.e.

A táblázatból kitűnik, hogy legnagyobb száraz tömeg értéket a borsóhüvely és a borsószem esetében is a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés eredményezte, bár szignifikáns különbséget csak a teljesérés fenofázisban lévő borsóhüvely esetében mutattam ki. A kezelés hatására a zöldérés fenofázisban a borsóhüvely száraztömege 26%-kal, a teljesérés fenofázisban 25%-kal nőtt, míg a borsószemek esetében 15%-os növekedést állapítottam meg a kontrollhoz képest.

5.3.3. Tenyészedényekben nevelt borsó növények molibdén koncentrációja a molibdén kezelések függvényében

5.3.3.1. Látóképi mészeledékes csernozjom talajon nevelt borsó növények molibdén koncentrációja a molibdén kezelések függvényében

Látóképi talajon termesztett zöldborsó növények Mo-koncentrációját a 42-43. táblázatokban foglaltam össze. A 42. táblázat a vegetatív részek, a 43. táblázat a termés Mo koncentrációjának változását mutatja be a kezelések függvényében.

A mérési eredmények összevetése után általánosságban elmondható, hogy a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések fokozták a borsó Mo akkumulációját és a kezelés hatása a borsó valamennyi növényi részében statisztikailag is igazolható volt. Szignifikáns növekedést csak a vegetatív szervekben, a kontroll és a 3 mg kg⁻¹ Mo-kezelések között nem lehetett kimutatni.

42. táblázat: Látóképi mészlepedékes csernozjom talajon termesztett különböző fejlődési stádiumban lévő zöldborsó növények vegetatív részeinek Mo-koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	4 nóduszos állapot	virágzás kezdete	zöldérés	teljesérés
levél Mo koncentrációja (mg kg^{-1})				
0	1,98±0,08 ^a	1,97±0,01 ^a	1,78±0,01 ^a	2,85±0,10 ^a
3	4,29±0,25 ^a	2,98±0,28 ^a	5,13±0,53 ^a	7,21±1,73 ^a
30	79,9±0,8 ^b	35,1±0,8 ^b	42,6±1,1 ^b	119±3 ^b
90	223±3 ^c	382±3 ^c	425±23 ^c	483±33 ^c
270	585±15 ^d	912±16 ^d	1213±13 ^d	1050±41 ^d
szár Mo koncentrációja (mg kg^{-1})				
0	9,60±0,66 ^a	3,97±1,50 ^a	3,58±0,78 ^a	4,01±0,42 ^a
3	12,2±1,8 ^a	7,28±0,36 ^a	10,8±0,4 ^a	12,0±0,1 ^a
30	162±05 ^b	54,9±0,9 ^b	77,7±4,4 ^b	187±15 ^b
90	285±32 ^c	260±8 ^c	279±12 ^c	431±17 ^c
270	779±30 ^d	540±25 ^d	735±36 ^d	822±2 ^d
gyökér Mo koncentrációja (mg kg^{-1})				
0	10,4±0,3 ^a	5,36±0,40 ^a	8,40±0,20 ^a	10,0±0,9 ^a
3	19,7±0,4 ^a	14,3±0,2 ^a	19,6±0,2 ^a	11,0±0,3 ^a
30	212±1 ^b	241±36 ^b	207±23 ^b	337±40 ^b
90	964±67 ^c	1117±148 ^c	1280±12 ^c	964±27 ^c
270	1917±8 ^d	2206±58 ^d	2069±109 ^d	1322±132 ^d

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól. $n=3\pm s.e.$

43. táblázat: Látóképi mészlepedékes csernozjom talajon termesztett zöldborsó növények termésének Mo-koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	borsóhévely (zöldérés)	borsóhévely (teljesérés)	borsószem (teljesérés)
Mo koncentrációja (mg kg^{-1})			
0	1,69±0,09 ^a	2,61±0,14 ^a	4,82±0,52 ^a
3	6,83±0,19 ^b	15,5±4,0 ^b	5,62±0,38 ^a
30	30,0±0,8 ^c	48,3±5,9 ^c	42,6±1 ^b
90	120±2 ^d	134±7 ^d	131±3 ^c
270	238±4 ^e	165±9 ^e	200±6 ^d

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól. $n=3\pm s.e.$

A táblázatból továbbá megállapítható, hogy a vizsgált növényi részek közül a gyökér Mo koncentrációja volt a legmagasabb. A vizsgált fenofázisokban a legnagyobb kezelés esetén ugyanis 1322-2206 mg kg^{-1} Mo koncentrációkat jegyeztem fel. Az első vizsgált fenofázisban a szár Mo koncentrációja valamennyi kezelés esetén meghaladta a levélben

mért értékeket, azonban a virágzás kezdete, a zöldérés és a teljesérés fenofázisokban, a 90 és 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelések esetében a levél és a szár Mo koncentrációjának aránya megváltozott. Az eredmények arra mutatnak rá, hogy a növény fejlődése során a szárból a levélbe jelentős mennyiségű molibdén szállítódott, így a virágzás kezdete és zöldérés fenofázisban a levél Mo koncentrációja megközelítőleg másfélszerese volt a szárban mért értékeknek. A 42-43. táblázatok eredményeiből ezenkívül az is jól látható, hogy a borsóhüvely és a borsószem az összes felvett molibdénnek csak kis hányadát tartalmazta. Az eredmények értékelése során fontosnak tartottam annak meghatározását is, hogy egy adott borsó növény mennyi µg Mo-t von ki a talajból és ez a Mo mennyiség hogyan oszlik meg a növényben, figyelembe véve az egyes növényi részek száraz tömegét. Az erre vonatkozó eredményeimet a 44. táblázatban ismertetem.

44. táblázat: Látóképi mészlepedékes csernozjom talajon termesztett, teljesérés fenofázisban lévő zöldborsó növények által felvett Mo mennyisége (µg növény⁻¹) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Zöldborsó által felvett Mo a teljesérés fenofázisban (µg növény ⁻¹)						
Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	Látóképi talajon nevelt zöldborsó növények					Összes Mo- mennyiség
	levél	szár	gyökér	borsóhüvely	borsószem	
0	1,31±0,05 ^a (25)	1,53±0,16 ^a (30)	0,689±0,059 ^a (13)	0,607±0,033 ^a (12)	1,01±0,11 ^a (20)	5,15
3	3,62±0,87 ^a (25)	4,72±0,03 ^a (33)	0,885±0,023 ^a (6)	3,85±1,00 ^b (27)	1,19±0,08 ^a (8)	14,3
30	94,3±2,4 ^b (33)	140±12 ^b (48)	30,3±3,6 ^b (10)	15,7±1,9 ^c (5)	9,94±0,24 ^b (3)	290
90	251±17 ^c (42)	237±9 ^c (40)	50,0±1,4 ^c (8)	33,5±1,7 ^d (6)	24,9±0,5 ^c (4)	596
270	398±16 ^d (50)	256±1 ^d (32)	71,0±7,1 ^d (9)	39,2±2,1 ^e (5)	34,8±1,0 ^d (4)	799

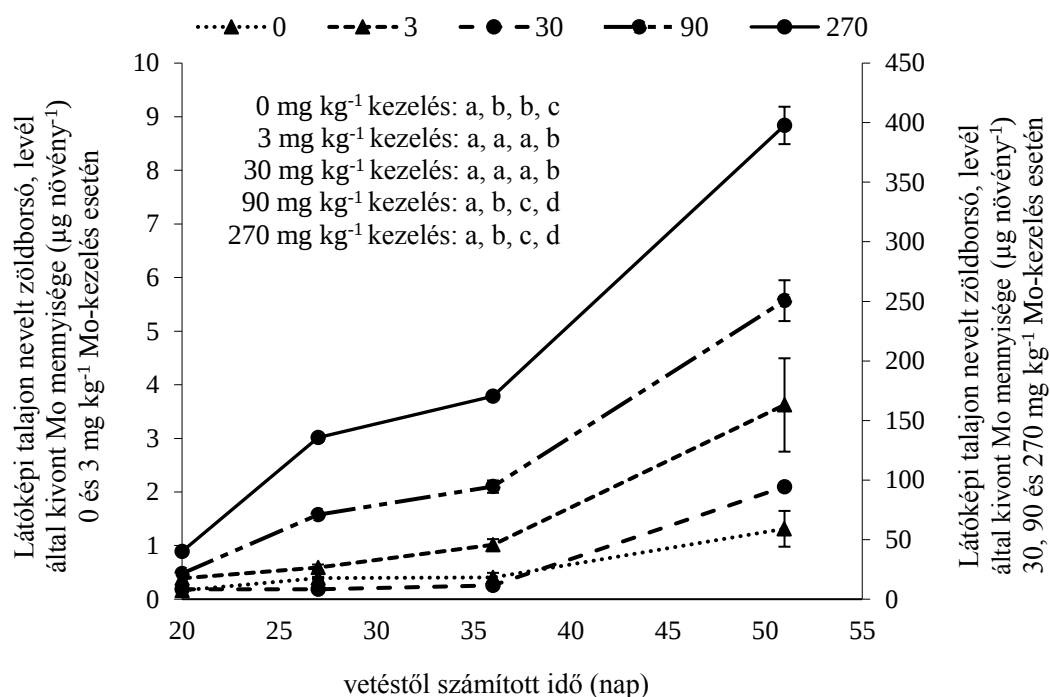
Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. A zárójelben feltüntetett érték az adott növényi rész és a teljes növény által kivont Mo mennyiségének az arányát fejezi ki %-ban. n=3±s.e.

A táblázat alapján elmondható, hogy a Mo növényen belüli eloszlását meghatározza a talajban lévő Mo mennyisége. Azt tapasztaltam, hogy a kontroll, a 3 és a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelések esetén a felvett Mo legnagyobb mennyiségben a szárban volt jelen, azonban a 90 és 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelések során a levél Mo mennyisége már meghaladta a szárban mért értékeket. Az adatokból ezenkívül az is megállapítható, hogy a Mo legkisebb mennyiségben a vegetatív részek közül a gyökérben volt jelen. A gyökér által kivont Mo mennyiség csupán 6-13%-a volt a növény teljes Mo készletének.

A 44. táblázat eredményei továbbá arra hívják fel a figyelmünket, hogyha a talaj a molibdént nagy koncentrációban tartalmazza (30-270 mg kg⁻¹ Mo-kezelések), akkor a felvett molibdén jelentős része a zöldborsó vegetatív szerveiben halmozódik fel. Kontroll kezelés során ugyanis a vegetatív részek által kivont Mo mennyiség 68%-a volt a növény

teljes Mo készletének, a 30, 90 és 270 mg kg⁻¹ Mo-dózisok alkalmazásakor azonban ez az érték elérte a 90-91%-ot.

A kísérlet során azt is nyomon követtem, hogy hogyan változott a zöldborsó növények által felvett Mo mennyisége az egyes fenofázisokban. A látóképi talajon nevelt zöldborsó vegetatív részei által kivont Mo mennyiségeket a fenofázisok függvényében a 24-26. ábrák szemléltetik. Az ábrák alapján általánosságban elmondható, hogy az egyes növényi részek által kivont Mo mennyisége folyamatosan emelkedett a borsó fejlődése során és a fenofázisok között több esetben szignifikáns növekedést is tapasztaltam. Levél esetében szignifikáns különbségeket csak a kontroll kezelésnél a virágzás kezdete és a zöldérés fenofázis között, valamint a 3 és 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés alkalmazásakor a 4 nóduszos állapot, a virágzás kezdete és a zöldérés fenofázis között nem lehetett kimutatni (24. ábra).

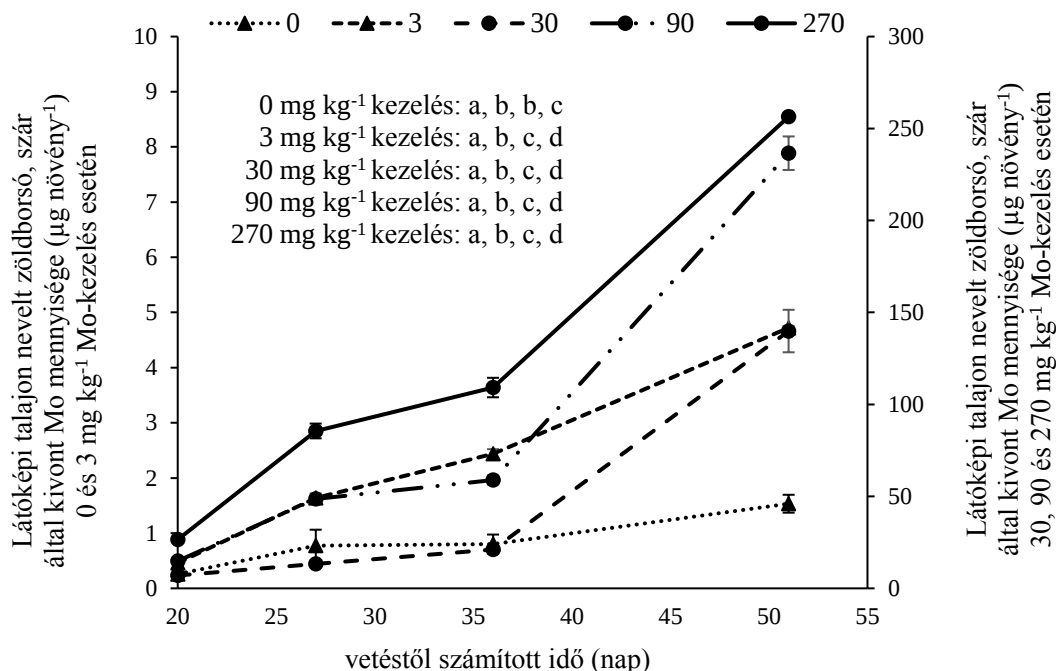


24. ábra: Látóképi mészlepedékes csernozjom talajon termesztett zöldborsó, levél által kivont Mo mennyisége (µg növény⁻¹) az egyes fenofázisok függvényében (20. nap: 4 nóduszos állapot; 27. nap: virágzás kezdete; 36. nap: zöldérés; 51. nap: teljesérés), különböző Mo-kezelések esetén (0, 3, 30, 90, 270 mg kg⁻¹)

Az egyes molibdén kezeléseken belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm s.e.$

A 25. ábra arra mutat rá, hogy a zöldborsó szár által kivont Mo mennyiségének a változása hasonló tendenciát mutat az egyes kezelések során. A 3, 30, 90 és 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelések hatására a szár által kivont Mo mennyiség statisztikailag is igazolhatóan

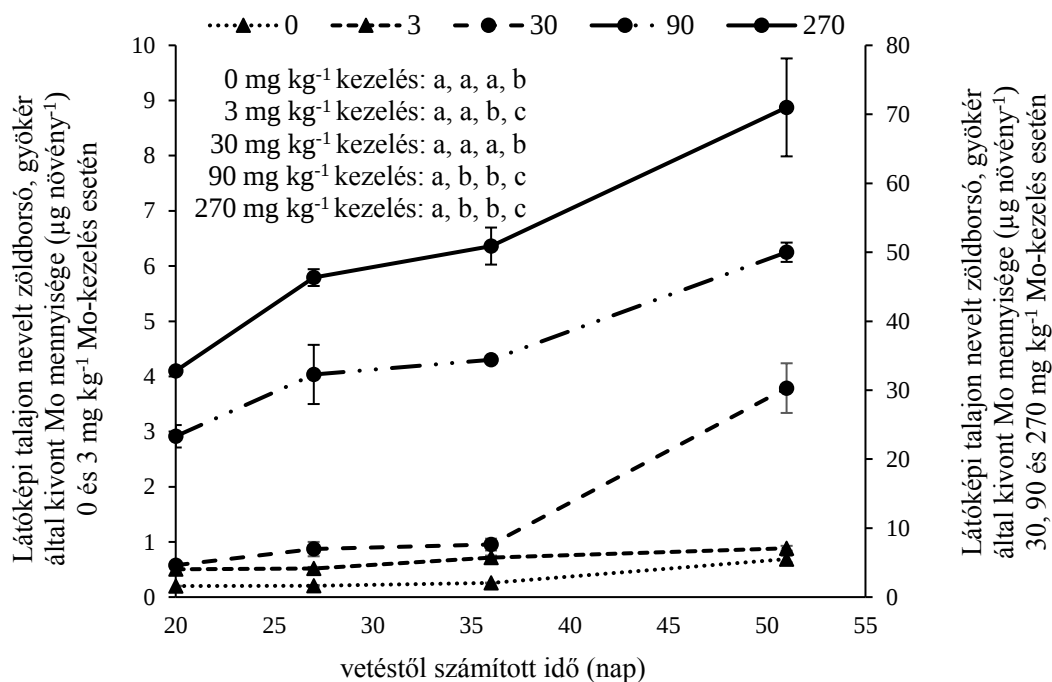
emelkedett az egyes fenofázisokban, szignifikáns különbséget csak a kontroll kezelés során a virágzás kezdete és a zöldérés fenofázisok között nem lehetett kimutatni.



25. ábra: Látóképi mészlepedékes csernozjom talajon termesztett zöldborsó, szár által kivont Mo mennyisége ($\mu\text{g növény}^{-1}$) az egyes fenofázisok függvényében (20. nap: 4 nóduszos állapot; 27. nap: virágzás kezdete; 36. nap: zöldérés; 51. nap: teljesérés), különböző Mo-kezelések esetén (0, 3, 30, 90, 270 mg kg⁻¹)

Az egyes molibdén kezelésekben belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

A 26. ábra eredményei alapján megállapítottam, hogy a 0, 3 és 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelések alkalmazásakor, a vizsgált 1. és 2. fenofázisban a gyökér által kivont Mo mennyisége csak csekély mértékben emelkedett, a 0, 30, 90 és 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelések során pedig a virágzás kezdete és a zöldérés fenofázis között nem lehetett statisztikailag szignifikáns különbséget kimutatni.



26. ábra: Látóképi mésztepedékes csernozjom talajon termesztett zöldborsó, gyökér által kivont Mo mennyisége ($\mu\text{g növény}^{-1}$) az egyes fenofázisok függvényében (20. nap: 4 nódusos állapot; 27. nap: virágzás kezdete; 36. nap: zöldérés; 51. nap: teljesérés), különböző Mo-kezelések esetén (0, 3, 30, 90, 270 mg kg⁻¹)

Az egyes molibdén kezelésekben belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

5.3.3.2. Pallagi humuszos homoktalajon nevelt borsó növények molibdén koncentrációja a molibdén kezelések függvényében

A pallagi talajon termesztett zöldborsó növények Mo-koncentráció értékei jelentős eltéréseket mutatnak a látóképi talajon nevelt növényekéhez képest (45-46. táblázatok).

A talaj magas pH értékének ($\text{pH}=7,14$) köszönhetően a pallagi talaj esetében egy intenzívebb Mo akkumulációt tapasztaltam. A 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés alkalmazásakor ugyanis a teljesérés fenofázisban a levél Mo-koncentrációja több mint 15-szöröse, a száré több mint 6-szorosa, a gyökéré 10-szerese, a hüvely és a szem Mo-koncentrációja 6-szorosa volt a látóképi talajon nevelt borsó növényekben mért értékeknek. A legnagyobb kezelés esetében pedig az akkumuláció már olyan mértékű volt, hogy a négy nódusos fenológiai fázist követően a növény pusztulását eredményezte.

45. táblázat: Pallagi humuszos homoktalajon termesztett, különböző fejlődési stádiumban lévő zöldborsó növények vegetatív részeinek Mo-koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 30, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	4 nódusos állapot	virágzás kezdete	zöldérés	teljesérés
levél Mo koncentrációja (mg kg^{-1})				
0	1,26±0,10 ^a	2,01±0,13 ^a	1,73±0,02 ^a	2,39±0,02 ^a
30	738±20 ^b	846±101 ^b	1712±50 ^b	1886±85 ^b
270	3660±63 ^c	-	-	-
szár Mo koncentrációja (mg kg^{-1})				
0	8,44±0,68 ^a	7,88±0,15 ^a	6,59±0,12 ^a	6,45±0,21 ^a
30	681±50 ^b	708±10 ^b	1001±62 ^b	1183±57 ^b
270	2997±278 ^c	-	-	-
gyökér Mo koncentrációja (mg kg^{-1})				
0	10,9±3,0 ^a	6,75±0,54 ^a	5,89±0,04 ^a	34,5±4,9 ^a
30	1255±33 ^b	2950±1 ^b	2704±11 ^b	3473±146 ^b
270	3523±173 ^c	-	-	-

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól. $n=3\pm s.e.$

46. táblázat: Pallagi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó növények termésének Mo-koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 30, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	borsóhévely (zöldérés)	borsóhévely (teljesérés)	borsószem (teljesérés)
Mo koncentrációja (mg kg^{-1})			
0	2,21±0,37 ^a	8,47±2,45 ^a	5,19±0,54 ^a
30	234±4 ^b	305±5 ^b	253±6 ^b
270	-	-	-

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól. $n=3\pm s.e.$

A molibdén növényen belüli eloszlását elemezve megállapítottam, hogy a négy nódusos állapot kivételével a kijuttatott molibdént legnagyobb koncentrációban a gyökér akkumulálta és valamennyi fenofázis esetében a levél Mo koncentrációja meghaladta a szárban mért értékeket. A termés Mo koncentrációja azonban csak töredéke volt a vegetatív szervek Mo koncentrációjának.

A 47. táblázat a zöldborsó növények egyes növényi részei által kivont Mo mennyiségek változását mutatja be a kezelések függvényében.

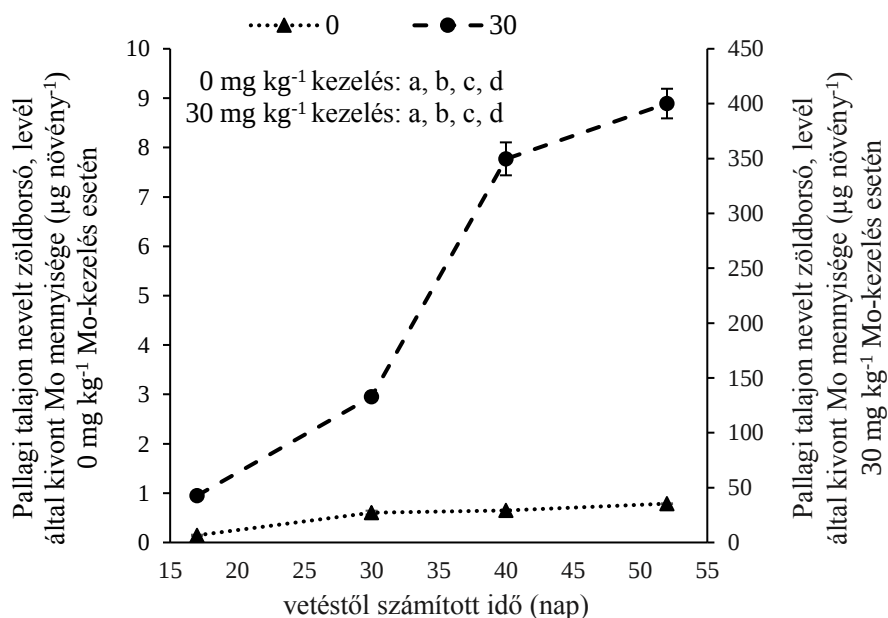
47. táblázat: Pallagi humuszos homoktalajon termesztett, teljesérés fenofázisban lévő zöldborsó növények által felvett Mo mennyisége ($\mu\text{g növény}^{-1}$) a molibdén kezelések (0, 30, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Zöldborsó által felvett Mo a teljesérés fenofázisban ($\mu\text{g növény}^{-1}$)						
Mo-kezelés (mg kg^{-1})	Pallagi talajon nevelt zöldborsó növények					Összes Mo- mennyiség
	levél	szár	gyökér	borsóhévely	borsószem	
0	$0,786 \pm 0,007^a(8)$	$2,92 \pm 0,10^a(31)$	$2,11 \pm 0,30^a(22)$	$2,61 \pm 0,75^a(27)$	$1,17 \pm 0,12^a(12)$	9,60
30	$400 \pm 18^b(43)$	$281 \pm 14^b(30)$	$138 \pm 6^b(15)$	$72,0 \pm 1,2^b(8)$	$37,6 \pm 0,9^b(4)$	928
270	-	-	-	-	-	-

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. A zárójelben feltüntetett érték az adott növényi rész és a teljes növény által kivont Mo mennyiségének az arányát fejezi ki %-ban. $n=3 \pm \text{s.e.}$

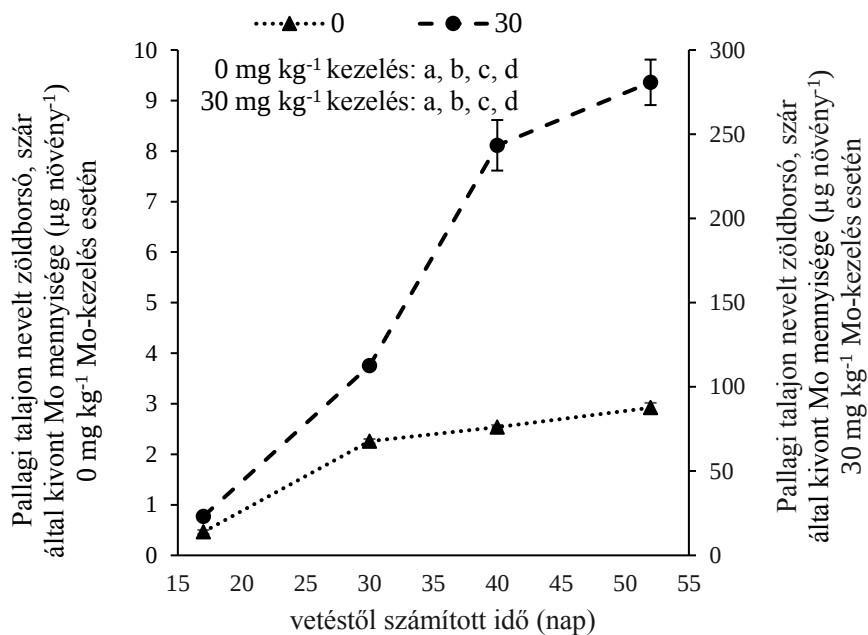
A kontroll és a 30 mg kg^{-1} Mo-kezelések között szembetűnő eltérést figyeltem meg a vegetatív és a generatív részek által kivont Mo mennyiségek arányában. Azt tapasztaltam, hogy a kontroll kezelés esetében, a borsók által felvett molibdénnek közel 40%-a a termésben volt jelen, míg a 30 mg kg^{-1} Mo-kezelés alkalmazásakor a generatív részek által kivont Mo mennyiség csupán 12%-a volt a növény teljes Mo készletének.

A 27-29. ábrák a vizsgált fenofázisok függvényében mutatja be a zöldborsók vegetatív részei által kivont Mo mennyiségeket.



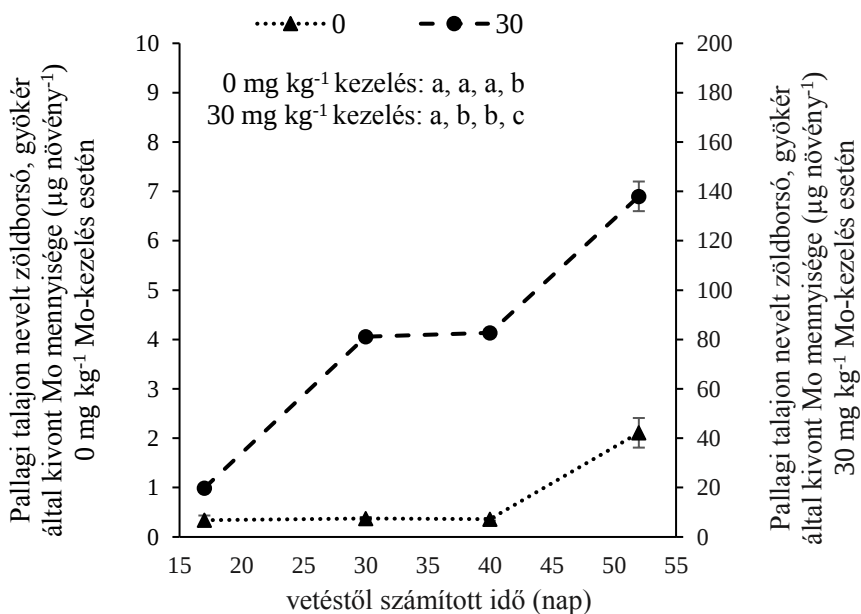
27. ábra: Pallagi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó, levél által kivont Mo mennyisége ($\mu\text{g növény}^{-1}$) az egyes fenofázisok függvényében (17. nap: 4 nóduszos állapot; 30. nap: virágzás kezdete; 40. nap: zöldérés; 52. nap: teljesérés), különböző Mo-kezelések esetén (0, 30, 270 mg kg^{-1})

Az egyes molibdén kezelésekben belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$



28. ábra: Pallagi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó, szár által kivont Mo mennyisége ($\mu\text{g növény}^{-1}$) az egyes fenofázisok függvényében (17. nap: 4 nódusos állapot; 30. nap: virágzás kezdete; 40. nap: zöldérés; 52. nap: teljesérés), különböző Mo-kezelések esetén (0, 30, 270 mg kg^{-1})

Az egyes molibdén kezelésekben belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$



29. ábra: Pallagi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó, gyökér által kivont Mo mennyisége ($\mu\text{g növény}^{-1}$) az egyes fenofázisok függvényében (17. nap: 4 nódusos állapot; 30. nap: virágzás kezdete; 40. nap: zöldérés; 52. nap: teljesérés), különböző Mo-kezelések esetén (0, 30, 270 mg kg^{-1})

Az egyes molibdén kezelésekben belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

A 27-28. ábrák alapján megállapítható, hogy a szár és a levél által kivont Mo mennyiségek értékei folyamatosan emelkedtek a borsó fejlődése során és ez a növekedés statisztikailag is igazolható volt. A gyökér esetében azonban nem lehetett szignifikáns különbséget kimutatni a kontroll kezelés esetén az 1., 2. és 3. fenofázis között, a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés esetében pedig a virágzás kezdete és a zöldérés fenofázis között (29. ábra).

5.3.3.3. Nyíregyházi humuszos homoktalajon nevelt borsó növények molibdén koncentrációja a molibdén kezelések függvényében

A nyíregyházi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó növények Mo-koncentráció értékeit a 48-49. táblázatokban foglaltam össze. A 48. táblázat a vegetatív részek, a 49. táblázat a termés Mo koncentrációjának változását ismerteti a kezelések függvényében.

48. táblázat: Nyíregyházi humuszos homoktalajon termesztett, különböző fejlődési stádiumban lévő zöldborsó növények vegetatív részeinek Mo-koncentrációja (mg kg⁻¹) a molibdén kezelések (0, 30, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	4 nódusos állapot	virágzás kezdete	zöldérés	teljesérés
levél Mo koncentrációja (mg kg ⁻¹)				
0	2,24±0,14 ^a	1,36±0,21 ^a	0,911±0,211 ^a	1,79±0,04 ^a
30	12,9±0,2 ^b	27,9±1,9 ^b	30,2±0,6 ^b	61,3±1,2 ^b
270	199±2 ^c	722±6 ^c	493±2 ^c	711±13 ^c
szár Mo koncentrációja (mg kg ⁻¹)				
0	8,56±0,96 ^a	7,40±0,18 ^a	2,97±0,12 ^a	3,15±0,38 ^a
30	42,7±6,6 ^b	41,8±3,7 ^b	53,6±4,1 ^b	74,8±4,5 ^b
270	241±6 ^c	419±23 ^c	377±24 ^c	449±20 ^c
gyökér Mo koncentrációja (mg kg ⁻¹)				
0	8,98±1,05 ^a	7,67±2,44 ^a	4,60±0,31 ^a	5,61±0,58 ^a
30	165±12 ^b	175±12 ^b	207±10 ^b	294±2 ^b
270	1445±52 ^c	1151±159 ^c	1739±185 ^c	2558±23 ^c

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. n=3±s.e.

49. táblázat: Nyíregyházi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó növények termésének Mo-koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 30, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	borsóhüvely (zöldérés)	borsóhüvely (teljesérés)	borsószem (teljesérés)
	Mo koncentráció (mg kg^{-1})		
0	2,28±0,16 ^a	1,93±0,19 ^a	6,25±0,96 ^a
30	13,5±0,5 ^b	26,1±6,2 ^b	32,5±0,1 ^b
270	80,3±3,1 ^c	140±7 ^c	170±5 ^c

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

A mérési eredményeket statisztikailag elemezve megállapítottam, hogy a kezelések hatására valamennyi növényi rész Mo-koncentrációja szignifikáns növekedést mutatott. A táblázatból továbbá kitűnik, hogy a vizsgált növényi részek közül a gyökér Mo koncentrációja volt a legmagasabb. A vizsgált fenofázisokban a legnagyobb kezelés esetén ugyanis 1151-2558 mg kg^{-1} Mo koncentrációkat jegyeztem fel. Továbbá a szár és a levél Mo koncentráció értékeit összehasonlítva azt tapasztaltam, hogy a négy nóduszos állapotban a szár Mo koncentrációja valamennyi kezelés esetén meghaladta a levélben mért értékeket, azonban a virágzás kezdete, a zöldérés és a teljesérés fenofázisokban, a 270 mg kg^{-1} Mo-kezelés esetében a levél és a szár Mo koncentrációjának aránya megváltozott, hasonlóan a látóképi talajon végzett kísérleteimhez.

Az 50. táblázat a teljesérés fenofázisban lévő zöldborsó növények által kivont Mo mennyiségeket mutatja be a molibdén kezelések függvényében.

50. táblázat: Nyíregyházi humuszos homoktalajon termesztett, teljesérés fenofázisban lévő zöldborsó növények által felvett Mo mennyisége ($\mu\text{g növény}^{-1}$) a molibdén kezelések (0, 30, 270 mg kg^{-1}) függvényében

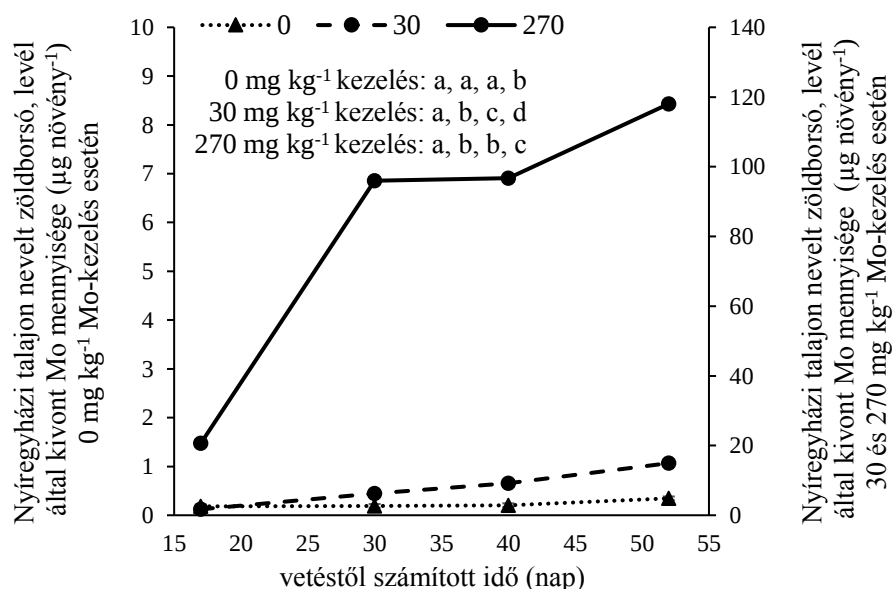
Zöldborsó által felvett Mo a teljesérés fenofázisban ($\mu\text{g növény}^{-1}$)						
Mo-kezelés (mg kg^{-1})	Nyíregyházi talajon nevelt zöldborsó növények					Összes Mo-mennyiség
	levél	szár	gyökér	borsóhüvely	borsószem	
0	0,346±0,007 ^a (11)	0,693±0,085 ^a (22)	0,230±0,024 ^a (7)	0,381±0,036 ^a (12)	1,46±0,22 ^a (47)	3,11
30	14,9±0,3 ^b (21)	24,1±1,4 ^b (34)	17,3±0,1 ^b (24)	6,39±1,51 ^b (9)	8,80±0,04 ^b (12)	71,5
270	118±2 ^c (29)	98,6±4,4 ^c (24)	123±1 ^c (30)	28,9±1,5 ^c (7)	40,6±1,2 ^c (10)	398

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. A zárójelben feltüntetett érték az adott növényi rész és a teljes növény által kivont Mo mennyiségének az arányát fejezi ki %-ban. $n=3 \pm \text{s.e.}$

A látóképi és a pallagi talajon végzett kísérleteimhez hasonlóan, a nyíregyházi talajon nevelt zöldborsók esetében is azt tapasztaltam, hogy a növekvő koncentrációjú Mo

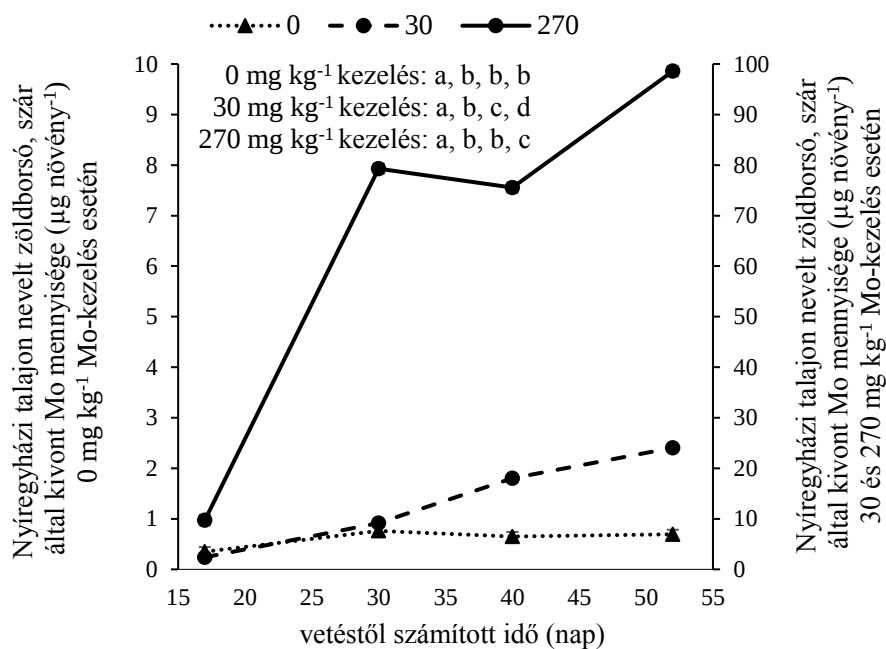
kezeléssel párhuzamosan a termés Mo mennyiségének, a teljes növény által kivont Mo mennyiségéhez viszonyított aránya lecsökkent. A kontroll kezelésű borsók esetében ugyanis a növény teljes molibdén készletének közel 60%-a a borsóhévelyben és a borsószemben volt jelen, míg a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés esetében ez az érték csupán 21% volt, a legnagyobb kezelés esetében pedig még kevesebb, 17%.

A nyíregyházi talajon termesztett zöldborsó vegetatív részei által kivont Mo mennyiségek változását a fenofázisok függvényében a 30-32. ábrák szemléltetik. Azt tapasztaltam, hogy a kontroll kezelésű borsók által felvett Mo mennyisége csak csekély mértékben emelkedett a növény fejlődése során. A levél esetében az 1-3., a szár esetében a 2-4. fenofázisok között, a gyökér esetében pedig egyetlenegy fenofázis esetében sem lehetett szignifikáns különbséget kimutatni a növényi rész által kivont Mo mennyiségében. A 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés hatására azonban egy intenzívebb növekedést tapasztaltam, amely statisztikailag is igazolható volt. A 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelés esetében a levél és a szár által kivont Mo mennyiség a virágzás kezdete és a zöldérés fenofázisban statisztikailag azonosnak tekinthető, azonban a gyökér által kivont Mo mennyiség valamennyi fenofázisban szignifikáns növekedést mutatott.



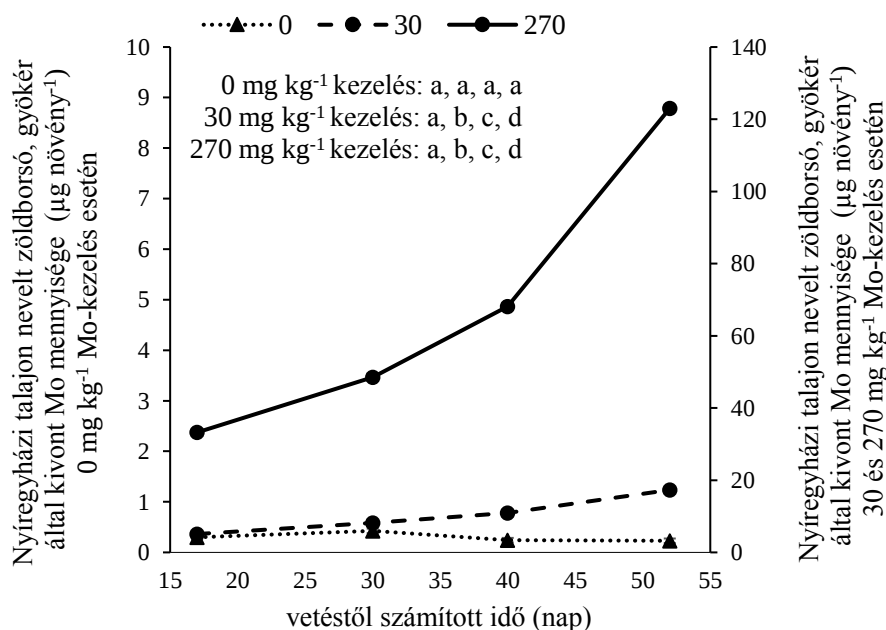
30. ábra: Nyíregyházi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó, levél által kivont Mo mennyisége (µg növény⁻¹) az egyes fenofázisok függvényében (17. nap: 4 nódusos állapot; 30. nap: virágzás kezdete; 40. nap: zöldérés; 52. nap: teljesérés), különböző Mo-kezelések esetén (0, 30, 270 mg kg⁻¹)

Az egyes molibdén kezeléseken belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm s.e.$



31. ábra: Nírégyházi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó, szár által kivont Mo mennyisége ($\mu\text{g növény}^{-1}$) az egyes fenofázisok függvényében (17. nap: 4 nódusos állapot; 30. nap: virágzás kezdete; 40. nap: zöldérés; 52. nap: teljesérés), különböző Mo-kezelések esetén (0, 30, 270 mg kg⁻¹)

Az egyes molibdén kezelésekben belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$



32. ábra: Nírégyházi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó, gyökér által kivont Mo mennyisége ($\mu\text{g növény}^{-1}$) az egyes fenofázisok függvényében (17. nap: 4 nódusos állapot; 30. nap: virágzás kezdete; 40. nap: zöldérés; 52. nap: teljesérés), különböző Mo-kezelések esetén (0, 30, 270 mg kg⁻¹)

Az egyes molibdén kezelésekben belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

5.3.4. Tenyészedényekben nevelt zöldborsó növények foszfor és kén felvétele a molibdén kezelések függvényében

Az 51. táblázat a molibdénnek a zöldborsó foszfor felvételére gyakorolt hatását szemlélteti.

51. táblázat: Teljesérés fenofázisban lévő zöldborsó növények foszfor koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	levél	szár	gyökér	borsóhüvely	borsószem
	P koncentráció (mg kg^{-1})				
	Látókép				
0	2661±156 ^a	2158±159 ^a	1601±102 ^a	1416±85 ^a	5956±67 ^a
3	3133±201 ^b	1624±233 ^b	3139±62 ^b	1949±25 ^b	5258±89 ^b
30	3296±300 ^b	2510±298 ^a	2724±23 ^{cd}	2187±188 ^c	6156±130 ^c
90	3167±231 ^b	2307±97 ^a	2885±98 ^c	2039±81 ^{bc}	6080±48 ^{bc}
270	2712±58 ^a	1690±52 ^b	2625±262 ^d	1103±110 ^d	4675±49 ^d
	Pallag				
0	1635±21 ^a	961±27 ^a	2839±160 ^a	2042±94 ^a	8243±38 ^a
30	1492±76 ^b	1031±14 ^b	3332±278 ^b	1811±46 ^b	7832±14 ^b
270	-	-	-	-	-
	Nyíregyháza				
0	740±27 ^a	535±41 ^a	945±40 ^a	374±26 ^a	2922±18 ^a
30	682±28 ^b	529±18 ^a	1548±82 ^b	495±84 ^b	3127±49 ^b
270	882±30 ^c	540±17 ^a	1857±61 ^c	537±26 ^b	3830±27 ^c

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

Számos kutató a molibdén és a foszfor között szinergista kapcsolatot feltételez, amelyet mérési eredményeim is több esetben igazolnak (Singh és Kumar, 1979; Basak et al., 1982; Škarpa et al., 2013; Hossain et al., 2001; Aziz és Aly, 2012). Látóképi talajon nevelt zöldborsó esetében például már a 3 mg kg^{-1} Mo-kezelés is szignifikáns mértékben fokozta a levél, a gyökér és a hüvely foszfor koncentrációját. A 30, illetve a 90 mg kg^{-1} Mo-kezelés hatására a foszfor koncentrációja valamennyi vizsgált növényi részben megnőtt a kontrollhoz képest, bár a szár esetében ez a növekedés statisztikailag nem volt szignifikáns mértékű. Továbbá a pallagi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó esetében szinergista kapcsolatot tapasztaltam a Mo és P között a szárban és a gyökérben, valamint nyíregyházi humuszos homoktalajon nevelt borsóknál a 30 mg kg^{-1} -os kezelés esetén a gyökérben, a hüvelyben és a szemtermésben, a 270 mg kg^{-1} -os kezelésnél pedig valamennyi növényi részben.

Az 51. táblázatból ezenkívül az is jól látható, hogy a foszfor jelentős része a szemtermésben akkumulálódott, ugyanis valamennyi Mo kezelésnél, mindhárom alkalmazott talaj esetében a borsószem foszforkoncentrációja szignifikánsan meghaladta a többi növényi részben mért értékeket.

Az 52. táblázat arra mutat rá, hogy az alkalmazott molibdén milyen hatást gyakorol a zöldborsó egyes növényi részeinek kén tartalmára.

52. táblázat: Teljesérés fenofázisban lévő zöldborsó növények kén koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	levél	szár	gyökér	borsóhévely	borsószem
	S koncentráció (mg kg^{-1})				
	Látókép				
0	3962±20 ^a	3333±128 ^a	7071±111 ^a	1292±74 ^a	2036±23 ^a
3	3922±50 ^a	3170±30 ^b	6294±377 ^{ab}	1734±33 ^b	1962±10 ^{ab}
30	3823±53 ^b	3066±83 ^b	5625±332 ^b	1760±38 ^b	1792±80 ^c
90	3962±50 ^a	2777±42 ^c	5237±742 ^b	1747±91 ^b	1864±74 ^{bc}
270	3493±13 ^c	2740±57 ^c	5225±732 ^b	1376±96 ^a	1798±19 ^c
	Pallag				
0	2757±1 ^a	1394±39 ^a	6444±480 ^a	1094±1 ^a	2521±80 ^a
30	2778±28 ^a	1476±69 ^a	4011±118 ^b	1239±50 ^b	2569±62 ^a
270	-	-	-	-	-
	Nyíregyháza				
0	2512±16 ^a	1123±124 ^a	9416±1012 ^a	1015±108 ^a	1834±42 ^a
30	2793±45 ^b	1307±17 ^b	7361±433 ^b	1355±54 ^b	1956±102 ^{ab}
270	2765±19 ^b	1347±16 ^b	7981±390 ^b	1391±69 ^b	1977±12 ^b

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

A táblázatból egyrészt kitűnik, hogy a gyökér kén tartalma szignifikánsan meghaladta a borsó többi növényi részeinek kén tartalmát, illetve az is jól látható, hogy a kezelés hatására a gyökerek kén tartalma szignifikánsan kevesebb, mint a kontroll növényeké. Látóképi talaj esetében ugyanis 11-26%-os csökkenést mutattam ki a kén tartalomban a kezelés hatására a kontrollhoz képest, pallagi talajon termesztett növények esetében 38%-os, nyíregyházi talajon nevelt növények esetében 15-22%-os csökkenést jegyeztem fel. A Mo és a S antagonizmusa jól ismert jelenség a növényekben (Pasricha és Randhawa, 1972), amely azzal magyarázható, hogy a molibdenátion és a szulfátion is anionos formában adszorbeálódik, így a két ion között verseny alakul ki a gyökér abszorpciója során (Hamlin, 2007). A két elem között lévő antagonizmus ezenkívül a látóképi talajon nevelt növények levelében, szárában és a szemtermésében is megmutatkozott.

5.3.5. Tenyészedényekben nevelt zöldborsó növények mikroelem felvétele a molibdén kezelések függvényében

Tenyészedényes kísérletben a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések a mért mikroelemek közül a Mn, Fe, Cu, Zn és B felvételére voltak hatással.

Növényekben a molibdén és a vas között fennálló antagonista kapcsolatról már számos publikáció látott napvilágot (Kabata-Pendias, 2011; Gerloff et al., 1959; Zakikhani et al., 2014b; Pessoa et al., 2000; Patrick et al., 2011), melyet az 53. táblázatban ismertetett eredmények is több esetben alátámasztanak.

53. táblázat: Teljesérés fenofázisban lévő zöldborsó növények vas koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	levél	szár	gyökér	borsóhévely	borsószem
	Fe koncentráció (mg kg^{-1})				
	Látókép				
0	142±17 ^a	72,5±10,7 ^a	6238±1920 ^a	24,2±3,1 ^{ab}	46,4±6,8 ^a
3	128±13 ^a	94,1±9,0 ^b	2010±391 ^b	36,9±6,0 ^c	54,4±5,2 ^{ab}
30	112±1 ^a	96,2±1,2 ^b	1576±199 ^b	32,4±6,0 ^{bc}	64,4±7,6 ^b
90	119±8 ^a	82,5±10,3 ^{ab}	1282±98 ^b	26,1±2,7 ^{ab}	48,0±3,8 ^a
270	225±40 ^b	71,3±9,6 ^a	2787±334 ^b	19,0±5,6 ^a	48,9±6,9 ^a
	Pallag				
0	180±15 ^a	70,9±1,6 ^a	2210±180 ^a	54,3±9,9 ^a	75,8±16,5 ^a
30	156±6 ^b	53,8±2,8 ^b	2088±149 ^a	25,2±3,6 ^b	54,1±7,8 ^b
270	-	-	-	-	-
	Nyíregyháza				
0	173±39 ^a	54,2±5,6 ^a	4167±455 ^a	24,2±1,0 ^a	82,9±2,9 ^a
30	168±10 ^a	51,1±17,3 ^a	2898±300 ^b	20,7±0,1 ^a	52,2±3,9 ^b
270	149±5 ^a	55,8±19,6 ^a	2428±51 ^b	35,3±2,8 ^b	44,4±1,1 ^c

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

Megállapítottam, hogy a pallagi talajon termesztett tesztnövények esetében a 30 mg kg^{-1} Mo-kezelés a zöldborsó vegetatív és generatív szerveiben is gátolta a vas felhalmozódását. Továbbá a nyíregyházi talaj alkalmazása esetében szignifikáns csökkenést mutattam ki a növények gyökerében és szemtermésében a kontrollhoz képest, valamint a látóképi talajon nevelt zöldborsók esetében a gyökérben.

Az 53. táblázatból ezenkívül az is megállapítható, hogy a vas szignifikáns mennyiségben a gyökérben halmozódott fel, legkisebb mennyiségben pedig a borsóhévely tartalmazta.

Az alkalmazott Mo dózisonak a zöldborsó rézfelvételére gyakorolt hatását az 54. táblázatban foglaltam össze.

54. táblázat: Teljesérés fenofázisban lévő zöldborsó növények réz koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	levél	szár	gyökér	borsóhévely	borsószem
Cu koncentráció (mg kg^{-1})					
Látókép					
0	4,36±0,12 ^a	2,76±0,18 ^{ab}	48,3±4,9 ^a	2,87±0,12 ^a	4,31±0,14 ^a
3	4,00±0,21 ^b	2,41±0,22 ^a	40,4±2,6 ^b	2,75±0,06 ^a	4,36±0,04 ^{ab}
30	4,36±0,04 ^a	2,93±0,18 ^{bc}	33,9±3,3 ^c	2,54±0,09 ^b	5,25±0,05 ^c
90	4,41±0,10 ^a	3,17±0,05 ^c	25,5±2,0 ^d	2,49±0,07 ^b	5,29±0,07 ^c
270	4,30±0,02 ^a	3,17±0,24 ^c	23,0±2,3 ^d	1,95±0,04 ^c	4,48±0,01 ^b
Pallag					
0	4,08±0,13 ^a	2,74±0,12 ^a	20,0±2,2 ^a	3,39±0,51 ^a	4,48±0,02 ^a
30	3,83±0,11 ^b	2,47±0,03 ^b	17,3±1,3 ^a	2,15±0,07 ^b	3,28±0,19 ^b
270	-	-	-	-	-
Nyíregyháza					
0	4,30±0,43 ^a	2,77±0,18 ^a	29,4±4,1 ^a	2,79±0,03 ^a	5,32±0,16 ^a
30	4,04±0,16 ^a	2,68±0,21 ^a	21,5±0,7 ^b	3,35±0,27 ^b	5,25±0,08 ^a
270	4,01±0,03 ^a	2,19±0,08 ^b	24,9±1,2 ^b	3,09±0,17 ^{ab}	4,98±0,04 ^b

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

Megállapítottam, hogy látóképi talaj esetében a gyökér és a borsóhévely Cu koncentrációja folyamatos csökkenést mutatott a növekvő koncentrációjú Mo kezelés hatására, a szár és szem Cu koncentrációja azonban megemelkedett. A szár esetében a 90 és 270 mg kg^{-1} -os, a borsószem esetében már a 30 mg kg^{-1} -os Mo-kezelés is növekedést eredményezett a Cu tartalomban a kontrollhoz képest. Mindez összhangban van Gad (2012), illetve Gad és Kandil (2013) eredményeivel, akik molibdénnel kezelt földimogyoró és homoki bab termésének esetében jegyezték fel Cu koncentráció emelkedést. A pallagi talajon nevelt zöldborsók esetében viszont azt tapasztaltam, hogy a Cu tartalmukban bekövetkező változás jelentős eltérést mutatott az előbbieken ismertetett eredményektől. Megállapítottam, hogy a 30 mg kg^{-1} Mo-kezelés hatására a borsó Cu koncentrációja a gyökér kivételével valamennyi növényi részben szignifikánsan lecsökkent.

Az 54. táblázat eredményeiből ezenkívül az is kitűnik, hogy a Mo-kezelések a nyíregyházi talajon nevelt zöldborsók Cu felvételére is hatással voltak. A szár és a borsószem Cu koncentrációja folyamatosan csökkent a növekvő koncentrációjú Mo terhelés hatására, szignifikáns csökkenést azonban csak a legnagyobb kezelés

eredményezett. A gyökér esetében azt tapasztaltuk, hogy a 30 és 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelések statisztikailag is igazolható módon gátolták a Cu felvételét, továbbá megállapítottam, hogy a levél esetében szintén megfigyelhető a csökkenés, bár statisztikailag nem szignifikáns mértékben, a borsóhüvely esetében azonban a molibdén már Cu koncentráció növekedést eredményezett.

Mindezek megerősítik Pessoa et al. (2000), hasonló megfigyeléseit, viszont csak részben erősíti meg Ndakidemi et al. (2011) eredményeit. Utóbbi esetben a molibdénrel kezelt közönséges bab gyökerének Cu tartalma szignifikánsan lecsökkent, azonban a hajtás és a hüvely Cu tartalmára a kezelés nem volt statisztikailag kimutatható hatással. A zöldborsó növények cinktartalmát a molibdén kezelések függvényében az 55. táblázat tartalmazza.

55. táblázat: Teljesérés fenofázisban lévő zöldborsó növények cink koncentrációja (mg kg⁻¹) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	levél	szár	gyökér	borsóhüvely	borsószem
Zn koncentráció (mg kg ⁻¹)					
Látókép					
0	45,0±5,3 ^a	86,1±3,3 ^a	52,4±3,4 ^{ab}	25,6±2,5 ^a	44,9±1,2 ^{ab}
3	42,5±1,5 ^a	95,1±0,4 ^b	65,2±8,3 ^c	42,9±0,2 ^b	44,6±0,5 ^a
30	51,8±0,4 ^b	90,0±0,8 ^{ab}	61,9±5,0 ^{bc}	44,3±3,5 ^b	46,8±1,2 ^b
90	52,6±1,9 ^b	93,9±3,0 ^b	46,7±4,6 ^a	49,8±8,6 ^b	49,9±0,7 ^c
270	36,3±1,2 ^c	80,6±7,7 ^a	51,9±5,2 ^{ab}	32,0±2,0 ^a	54,7±1,1 ^d
Pallag					
0	8,16±0,22 ^a	17,3±0,8 ^a	61,4±5,0 ^a	16,0±0,5 ^a	50,4±0,7 ^a
30	8,59±1,05 ^a	21,8±0,2 ^b	66,5±5,8 ^a	19,3±1,3 ^b	54,0±1,1 ^b
270	-	-	-	-	-
Nyíregyháza					
0	37,6±2,7 ^a	58,2±1,4 ^a	55,9±1,7 ^a	23,8±0,4 ^a	42,9±0,4 ^a
30	35,7±1,0 ^a	60,3±1,4 ^a	64,5±3,5 ^{ab}	30,1±0,5 ^b	46,4±0,8 ^b
270	23,3±1,4 ^b	45,2±2,9 ^b	70,2±6,7 ^b	32,7±1,6 ^b	47,5±0,2 ^b

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. n=3±s.e.

Az eredmények arra mutatnak rá, hogy a borsóhüvely és -szem cinktartalma mindhárom alkalmazott talaj esetében megemelkedett a kezelés hatására és a legtöbb esetben a Zn tartalom növekedés statisztikailag is igazolható volt. Ezen eredmények összhangban vannak más kutatók eredményeivel is: Gad és Kandil (2013) homoki bab, Mohamed et al. (2011) földimogyoró, valamint Hossain et al. (2001) rizs esetében számolt be a termés cinktartalmának növekedéséről. A zöldborsó vegetatív részeinél szintén megfigyelhető több esetben, hogy a Mo serkentette a Zn felvételt. Látóképi talaj

esetében a 3 mg kg⁻¹-os kezelés a szár és a gyökér, a 30 mg kg⁻¹-os a levél, a 90 mg kg⁻¹-os a levél és a szár, a 270 mg kg⁻¹-os a szár Zn koncentrációját emelte meg statisztikailag igazolhatóan. A pallagi talaj esetében a 30 mg kg⁻¹ Mo kijuttatása valamennyi vegetatív részben fokozta a Zn akkumulációt, bár statisztikailag csak a szár esetében mutatható ki szignifikáns különbség a kezelések között. A nyíregyházi talaj esetében viszont azt tapasztaltam, hogy a levélben és a szárban a 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelés hatására a Zn koncentráció lecsökkent.

A szakirodalmak arra mutatnak rá, hogy a Mo-kezelés a növények mangánkészletét is befolyásolja. Kabata-Pendias (2011) feljegyzése szerint a hajtásban a Mo és Mn között szinergista és antagonistá kölcsönhatás egyaránt jelentkezhethet, amely összhangban van a kísérleti eredményeinkkel (56. táblázat).

56. táblázat: Teljesérés fenofázisban lévő zöldborsó növények mangán koncentrációja (mg kg⁻¹) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	levél	szár	gyökér	borsóhévely	borsószem
Mn koncentráció (mg kg ⁻¹)					
Látókép					
0	96,3±6,9 ^a	33,8±3,7 ^a	80,7±15,7 ^a	24,4±0,3 ^a	21,2±0,6 ^a
3	108±8 ^a	48,8±3,6 ^b	86,9±24,0 ^a	27,8±0,7 ^{ab}	19,5±0,3 ^b
30	108±8 ^a	48,7±1,6 ^b	90,9±8,5 ^a	29,5±3,5 ^{ab}	20,0±0,4 ^b
90	163±2 ^b	53,1±7,7 ^b	107±19 ^a	37,8±2,4 ^c	23,2±0,5 ^c
270	194±12 ^b	59,1±5,6 ^c	167±25 ^b	32,4±5,3 ^{bc}	21,5±0,3 ^a
Pallag					
0	72,5±2,5 ^a	18,8±2,9 ^a	214±17 ^a	23,4±0,1 ^a	17,9±0,4 ^a
30	133±10 ^b	36,1±11,7 ^b	117±11 ^b	24,0±1,2 ^a	22,4±0,5 ^b
270	-	-	-	-	-
Nyíregyháza					
0	1236±87 ^a	280±62 ^a	302±89 ^a	183±4 ^a	77,1±1,1 ^a
30	1310±63 ^a	319±44 ^a	603±31 ^b	248±28 ^b	66,7±0,7 ^b
270	1043±10 ^b	201±10 ^b	879±77 ^c	219±35 ^{ab}	60,2±0,4 ^c

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. n=3±s.e.

Szinergista kapcsolatot mutattam ki a két mikroelem között a látóképi és pallagi talajon nevelt zöldborsók esetében a szárban és a levélben, ugyanis a levélben a 3 és 30 mg kg⁻¹-os kezelés kivételével, a Mn koncentrációk szignifikánsan meghaladták a kontroll értékeket. Továbbá a kezelés hatására a legtöbb esetben a borsóhévely és -szem mangán tartalma is szignifikáns növekedést mutatott. Azonban az eredményeim között a Mo és Mn közötti antagonizmusra is találunk példát. A nyíregyházi talajon nevelt borsók esetében ugyanis a 270 mg kg⁻¹-os kezelés hatására a levélben és a szárban szignifikáns

csökkenést mutattam ki a kontrollhoz képest, valamint a borsószemben már a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés is szignifikánsan gátolta a Mn akkumulációját.

Az 56. táblázat eredményeiből ezenkívül az is jól látható, hogy a látóképi és nyíregyházi talaj alkalmazása esetében a gyökér Mn koncentrációja a növekvő Mo dózis hatására folyamatosan emelkedett és ez több esetben statisztikailag is igazolható volt. Látóképi talaj esetében a 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelés eredményezett szignifikáns különbséget a kontrollhoz képest, nyíregyházi talaj alkalmazásakor pedig már a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés hatására is szignifikáns növekedést tapasztaltam. A pallagi talajon termesztett zöldborsók gyökerében azonban a Mn koncentráció szignifikánsan lecsökkent, amely összhangban van Ndakidemi et al. (2011) eredményeivel.

A kijuttatott molibdén a fent említett mikroelemeken kívül a zöldborsó bór felvételére is hatással volt, amelyet az 57. táblázatban feljegyzett eredmények is igazolnak.

57. táblázat: Teljesérés fenofázisban lévő zöldborsó növények bór koncentrációja (mg kg⁻¹) a molibdén kezelések (0, 3, 30, 90, 270 mg kg⁻¹) függvényében

Mo-kezelés (mg kg ⁻¹)	levél	szár	gyökér	borsóhévely	borsószem
	B koncentráció (mg kg ⁻¹)				
	Látókép				
0	154±9 ^a	37,8±2,4 ^a	16,6±1,1 ^a	37,5±0,3 ^a	18,5±0,9 ^a
3	223±9 ^b	59,1±2,1 ^b	21,7±1,0 ^b	40,0±3,3 ^a	21,9±1,4 ^{ab}
30	187±2 ^c	60,0±7,0 ^b	44,7±20,4 ^b	37,4±0,7 ^a	28,4±7,4 ^{ab}
90	225±28 ^b	57,7±3,2 ^b	43,7±3,5 ^b	51,8±11,2 ^b	29,8±6 ^{ab}
270	191±15 ^c	57,0±2,0 ^b	40,1±5,2 ^b	35,9±4,7 ^a	28,0±7,7 ^b
Pallag					
0	101±7 ^a	18,8±3,6 ^a	15,9±0,2 ^a	18,6±1,6 ^a	11,1±0,7 ^a
30	52,3±1,7 ^b	18,2±5,5 ^a	75,6±10,3 ^b	19,0±0,6 ^a	15,6±0,7 ^b
270	-	-	-	-	-
Nyíregyháza					
0	78,0±3,7 ^a	19,2±4,5 ^a	11,1±0,6 ^a	21,7±0,2 ^a	20,8±0,4 ^a
30	79,6±3,5 ^a	16,7±2,6 ^a	27,6±10,6 ^b	24,4±1,9 ^a	17,7±0,6 ^b
270	83,1±0,1 ^a	18,0±1,0 ^a	51,6±6,4 ^c	23,4±1,0 ^a	16,5±0,3 ^b

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan (P<0,05) különböznek egymástól. n=3±s.e.

Kabata-Pendias (2011) arra mutatott rá, hogy a bór és a Mo között szinergista és antagonistá kapcsolat egyaránt fennállhat, hasonlóan a mangánhoz. Azonban az eredményeim arra mutatnak rá, hogy a molibdén a legtöbb esetben szinergista hatással volt a zöldborsó bór felvételére. Látóképi talaj alkalmazása során a vegetatív szervekben ugyanis valamennyi Mo-kezelés esetében szignifikáns növekedést mutattam ki a kontrollhoz képest, továbbá a borsóhévelyben a 90 mg kg⁻¹-os, a borsószemben a

270 mg kg⁻¹-os Mo-kezelés eredményezett statisztikailag is igazolható növekedést a kontrollhoz viszonyítva.

Ezen eredmények összhangban vannak Hossain et al. (2001) megállapításával is, miszerint rizs esetében a kijuttatott Mo serkentette a szárban és a termésben a bór akkumulálását.

Továbbá a Mo és B között fennálló szinergista kapcsolat a pallagi és nyíregyházi talaj felhasználása során is kimutatható volt: a pallagi talaj esetében a levélben, a gyökérben és a borsószemben, a nyíregyházi talaj alkalmazása során a gyökérben mutattam ki szignifikáns növekedést a kontrollhoz képest.

5.3.6. Tenyészedényekben nevelt borsó növények NO₃-N és NH₄-N koncentrációjának változása a molibdén kezelések függvényében

Kutatómunkám során célul tűztük ki annak meghatározását is, hogy a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések hogyan befolyásolják a zöldborsó növények egyes növényi részeinek NO₃-N és NH₄-N koncentrációját.

A látóképi mészlepedékes csernozjom talajon termesztett zöldborsó növények NO₃-N és NH₄-N tartalmát az 58. táblázatban foglaltam össze. A táblázat alapján jól látható, hogy a NO₃-N jelentős része a zöldborsó vegetatív szerveiben akkumulálódott és a generatív szervek csak kis hányadát tartalmazták, amely humánélelmezési szempontból rendkívül kedvező.

A levél és a szár esetében azt tapasztaltam, hogy a legkisebb Mo-kezelés fokozta a nitrát felvételét és redukcióját, ugyanis a NO₃-N és NH₄-N koncentrációja mindkét növényi részben szignifikáns növekedést mutatott. A 30 és 90 mg kg⁻¹ Mo-kezelések hatására azonban a NO₃-N tartalma szignifikánsan lecsökkent a 3 mg kg⁻¹ kezeléshez viszonyítva és ezzel párhuzamosan az NH₄-N koncentrációjában is csökkenést mutattam ki. A 270 mg kg⁻¹ kezelés esetében viszont jelentős mennyiségű NO₃-N koncentrációt mértem, amit nem követett hasonló mértékben az NH₄-N koncentrációjának növekedése. Véleményem szerint ez arra utal, hogy a nitrát-reduktáz rendszer kapacitása nem korlátlan, telítődött, amely a nitrát felhalmozódásához vezetett. 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. Humánegészségügyi szempontból veszélyes lehet a nitrát ilyen típusú felhalmozása, a már korábban említett, methemoglobinémiát okozó hatása miatt.

A gyökér esetében azt tapasztaltam, hogy a növekvő koncentrációjú Mo terhelés hatására a $\text{NO}_3\text{-N}$ szignifikánsan lecsökkent, az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja pedig a 270 mg kg^{-1} kezelésnél érte el a legmagasabb értéket.

58. táblázat: Látóképi mészlepedékes csernozjom talajon termesztett zöldborsó növények nitrát- $(\text{NO}_3\text{-N})$ és ammónium-nitrogén $(\text{NH}_4\text{-N})$ koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések $(0, 30, 270 \text{ mg kg}^{-1})$ függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg kg^{-1})	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg kg^{-1})
	levél	
0	326 ± 15^a	229 ± 3^a
3	1214 ± 15^b	239 ± 1^b
30	288 ± 7^c	215 ± 0^c
90	491 ± 2^d	208 ± 0^d
270	2450 ± 17^e	213 ± 1^c
szár		
0	1447 ± 27^a	165 ± 1^a
3	1745 ± 8^b	278 ± 1^b
30	1378 ± 18^c	170 ± 1^c
90	1345 ± 9^c	170 ± 1^c
270	2231 ± 26^d	197 ± 1^d
gyökér		
0	4202 ± 7^a	992 ± 1^a
3	4104 ± 12^b	767 ± 8^b
30	3196 ± 2^c	653 ± 7^c
90	3053 ± 1^d	643 ± 6^d
270	2705 ± 7^e	1008 ± 5^e
borsóhévely		
0	$25,7 \pm 0,4^a$	402 ± 4^a
3	$24,7 \pm 0,1^b$	524 ± 2^b
30	$20,5 \pm 0,2^c$	774 ± 6^c
90	$24,0 \pm 0,3^d$	898 ± 3^d
270	$17,6 \pm 0,2^e$	774 ± 1^c
borsószem		
0	$34,6 \pm 0,6^a$	476 ± 4^a
3	$15,0 \pm 0,2^b$	504 ± 1^b
30	$23,0 \pm 0,4^c$	887 ± 4^c
90	$14,2 \pm 0,4^d$	791 ± 3^d
270	$11,6 \pm 0,3^e$	589 ± 4^e

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P < 0,05$) különböznek egymástól. $n=3 \pm \text{s.e.}$

Az 58. táblázat alapján továbbá az is megállapítható, hogy a borsóhüvelyben és a borsószemben mért $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációk valamennyi Mo-kezelés esetében kontroll alatti értékek voltak, amelynek humánegészségügyi vonatkozásai lényegesek.

A pallagi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsók egyes növényi részeinek $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ eredményeit az 59. táblázatban foglaltam össze.

59. táblázat: Pallagi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó növények nitrát- ($\text{NO}_3\text{-N}$) és ammónium-nitrogén ($\text{NH}_4\text{-N}$) koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 30, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg kg^{-1})	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg kg^{-1})
	levél	
0	658±1 ^a	219±6 ^a
30	258±4 ^b	257±4 ^b
270	-	-
szár		
0	1280±9 ^a	207±3 ^a
30	1316±6 ^b	241±4 ^b
270	-	-
gyökér		
0	4352±23 ^a	252±2 ^a
30	3760±32 ^b	262±2 ^b
270	-	-
borsóhüvely		
0	30,4±0,1 ^a	585±6 ^a
30	74,8±0,1 ^b	887±7 ^b
270	-	-
borsószem		
0	17,3±0,2 ^a	297±1 ^a
30	12,7±0,1 ^b	276±5 ^b
270	-	-

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól. $n=3\pm\text{s.e.}$

A vegetatív szervek közül a levél és a gyökér esetében azt tapasztaltam, hogy a 30 mg kg^{-1} Mo-kezelés hatására a $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyisége csökkent, az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja pedig szignifikánsan megemelkedett a kontrollhoz viszonyítva. A szár esetében továbbá megállapítottam, hogy a Mo-kezelés eredményeként a $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyisége kismértékben nőtt, de növekedett a szár $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja is. A borsóhüvely esetében szintén intenzív nitrát felvételt és redukciót feltételezek, ugyanis a $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációja több mint kétszeresére, az $\text{NH}_4\text{-N}$ mennyisége közel másfélszeresére emelkedett a 30 mg kg^{-1} Mo-dózis hatására. A borsószem esetében viszont azt tapasztaltam, hogy a kezelés hatására a $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja is szignifikánsan csökkent.

Továbbá az 59. táblázat alapján az is megállapítható, hogy a vegetatív és generatív szervek $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációja között nagyságrendnyi eltérés van. A $\text{NO}_3\text{-N}$ jelentős részét a vegetatív szervek tartalmazzák, ahogyan azt látóképi talajon termesztett zöldborsók esetében is tapasztaltam.

A 60. táblázat a nyíregyházi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó növények $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ eredményeit mutatja be.

60. táblázat: Nyíregyházi humuszos homoktalajon termesztett zöldborsó növények nitrát- ($\text{NO}_3\text{-N}$) és ammónium-nitrogén ($\text{NH}_4\text{-N}$) koncentrációja (mg kg^{-1}) a molibdén kezelések (0, 30, 270 mg kg^{-1}) függvényében

Mo-kezelés (mg kg^{-1})	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg kg^{-1})	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg kg^{-1})
	levél	
0	334±3 ^a	513±2 ^a
30	685±2 ^b	510±1 ^a
270	176±0 ^c	497±3 ^b
szár		
0	1278±3 ^a	509±1 ^a
30	2935±7 ^b	561±1 ^b
270	1561±6 ^c	468±2 ^c
gyökér		
0	4679±32 ^a	946±42 ^a
30	4820±262 ^b	720±52 ^b
270	2784±72 ^c	619±52 ^c
borsóhévely		
0	199±1 ^a	1181±3 ^a
30	213±1 ^b	1280±3 ^b
270	207±2 ^c	1154±4 ^c
borsószem		
0	68,6±0,8 ^a	389±2 ^a
30	17,2±0,1 ^b	401±1 ^b
270	15,1±0,1 ^c	356±3 ^c

Az oszlopokon belül a különböző betűindexet kapott értékek szignifikánsan ($P<0,05$) különböznek egymástól. $n=3\pm s.e.$

A táblázat alapján jól látható, hogy a 30 mg kg^{-1} kezelés a vegetatív szervekben fokozta a $\text{NO}_3\text{-N}$ felvételét, de a legnagyobb kezelés hatására $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyiségében jelentős visszaesést tapasztaltam. A levél esetében közel 70%-os, a szár és a gyökér esetében közel 50%-os csökkenést mutattam ki a 30 mg kg^{-1} Mo-kezeléshez viszonyítva. Továbbá azt is megállapítottam, hogy a 270 mg kg^{-1} kezelés hatására a $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációjában is csökkenés következett be, amely statisztikailag is igazolható volt. A borsóhévely $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációjában csak kismértékű ingadozást tapasztaltam a kezelések hatására, a borsószem $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációja azonban jelentősen lecsökkent.

A 30 mg kg^{-1} Mo-kezelés 75%-os, a 270 mg kg^{-1} Mo-kezelés 78%-os csökkenést eredményezett a kontrollhoz képest.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

6.1. Talajminták vizsgálati eredményeiből levont következtetések

Talajvizsgálataim keretében meghatároztam a talaj összes és a Lakanen-Erviö oldható Mo tartalmát, valamint a tenyészedényes kísérletben a talaj Mo koncentrációjának változását is nyomon követtem a talajmélység függvényében.

Megállapítottam, hogy a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések hatására a talajok összes és a növények által hasznosítható Mo koncentrációja is szignifikáns növekedést mutatott, azonban a különböző talajtípusok oldható Mo koncentrációjában eltérést tapasztaltam. Nyíregyházi talaj esetében az összes molibdénnek 26-29%-a, látóképi talaj esetében 44-56%-a, a pallagi talaj esetében 62-67%-a volt hozzáférhető a növények számára. Feltételezésem szerint a fenti eltérések legfőbb oka a talaj kémhatásában és elemtartalmában (pl.: Fe, Al) keresendő. Goldberg és Forster (1998) megállapítása szerint ugyanis savanyú talajok esetében a molibdén jelentős része vas- és alumínium-oxidokhoz kapcsolódva van jelen a talajban, így felvétele akadályozott. Mivel a felhasznált talajok közül legkisebb pH értékkel a nyíregyházi talaj rendelkezett (pH=5,09), Al és Fe tartalma azonban kiemelkedően magas volt (Al=12086 mg kg⁻¹; Fe=13558 mg kg⁻¹), ezért véleményem szerint a Mo jelentős mennyisége adszorbeált állapotban, vas- és alumínium-oxidokhoz kötődve volt jelen a talajban és ez eredményezte az alacsonyabb oldható Mo tartalmat. Legmagasabb pH értékkel (pH=7,14), legkisebb Al és Fe koncentrációval (Al=6002 mg kg⁻¹; Fe=7157 mg kg⁻¹) viszont a pallagi talaj rendelkezett, amelynek eredményeként kiemelkedően magas oldható Mo tartalmat állapítottam meg.

Tenyészedényes kísérletben az egyes talajrétegek (1-1 cm) molibdén koncentrációját vizsgálva azt tapasztaltam, hogy a pallagi és látóképi talaj Mo koncentrációja széles intervallumban változott a talajmélység függvényében és több esetben szignifikáns növekedést mutattam ki az egyes rétegminták között. A pallagi talaj rétegenkénti Mo koncentrációja azonban csak kismértékű ingadozást (29,0-31,3 mg kg⁻¹) mutatott és az értékek között a legtöbb esetben nem volt statisztikailag is igazolható szignifikáns különbség. Feltételezésem szerint a látóképi és pallagi talajok esetében tapasztalt molibdén lemosódásban fontos szerepet játszott a talajok viszonylag magas pH értéke, amelynek következtében a Fe- és Al-oxidok nem tudták kötésben tartani a hozzáadott Mo jelentős részét. A nyíregyházi talaj esetében viszont a talaj savanyú kémhatása megakadályozta a Mo függőleges irányú mozgását.

6.2. Növényminták vizsgálati eredményeiből levont következtetések

A száraz anyag produktumot értékelve megállapítottam, hogy a kukorica és napraforgó csíranövények fejlődésében a Mo-kezelések jelentős eltéréseket eredményeztek.

Tápoldatos kísérletben azt tapasztaltam, hogy a napraforgó, mint kérszikű növény érzékenyebben reagál a Mo hiányra, mint a kukorica. A kukorica esetében ugyanis a kontroll és a $0,07 \mu\text{M}$ (fiziológiai Mo-igény) Mo-t tartalmazó tápoldaton nevelt növények száraz tömeg produktumában nem lehetett szignifikáns különbséget kimutatni, napraforgó esetében viszont a molibdénrel nem kezelt tápoldaton nevelt növény hajtásának száraz tömege több mint 20%-kal kevesebb volt, mint a $0,07 \mu\text{M}$ molibdénrel kezelt növényé.

A rizoboxos kísérleti eredmények száraz tömeg eredményei pedig arra hívják fel a figyelmünket, hogy a napraforgó, mint kétszikű növény érzékenyebben reagál a talaj magas Mo tartalmára. Napraforgó esetében már a 90 mg kg^{-1} Mo-dózis is szignifikáns mértékben gátolja a száraz tömeg gyarapodást a kontrollhoz képest, a kukorica esetében azonban csak a 270 mg kg^{-1} Mo-kezelés hatására mutatható ki szignifikáns csökkenés a száraz tömeg produktumban.

A molibdénrel kezelt kukorica és napraforgó fejlődésében tapasztalt különbségeket, a rizoboxos kísérlet gyökérnövekedési eredményei is alátámasztják. Megállapítottam, hogy a kísérlet bontásakor a kukorica gyökérhossz esetében szignifikáns csökkenést csak a legnagyobb Mo-dózis eredményezett. Napraforgó esetében viszont azt tapasztaltam, hogy a 90 és a 270 mg kg^{-1} Mo-dózisok alkalmazásakor a gyökérnövekedés intenzitása szignifikáns mértékben visszaesett.

A tenyészedényes kísérlet száraz tömeg eredményei pedig arra mutattak rá, hogy a molibdénrel kezelt zöldborsók fejlődését jelentősen meghatározza a kísérletben felhasznált talaj típusa, kémhatása és az egyéb talajtulajdonságok. Látóképi és nyíregyházi talaj esetében a 30 mg kg^{-1} Mo-kezelés a legtöbb esetben szignifikáns mértékben fokozta a növény vegetatív részeinek száraz anyag produkcióját, a 270 mg kg^{-1} Mo kijuttatása azonban már gátolta a borsó fejlődését. A pallagi talajon termesztett zöldborsók esetében azonban egyetlen fenofázis esetében sem eredményezett a Mo-kezelés növekedést a száraz tömeg produktumban, amely véleményem szerint a talaj közel semleges pH értékéből adódó, extrém magas molibdén akkumuláció következménye. Továbbá azt tapasztaltam, hogy a 270 mg kg^{-1} Mo-dózis

alkalmazása nemcsak gátolta a borsó fejlődését, hanem a négy nóduszos fenofázist követően a növény pusztulását eredményezte.

A kísérleti növények molibdén akkumulációját értékelve megállapítottam, hogy a tápoldatos és a rizoboxos kísérletben is a napraforgó által felvett Mo mennyiség jelentősen meghaladta a kukoricánál mért értékeket. Kivételként csak a rizoboxos kísérlet, legnagyobb Mo-kezelése említhető, ahol az alkalmazott Mo-dózis már kismértékben gátolta a napraforgó gyökér molibdén akkumulációját.

Az eredmények értékelése során továbbá fontosnak tartottam annak meghatározását is, hogy egy adott növény mennyi μg Mo-t von ki a tápoldatból/talajból és ez a Mo mennyiség hogyan oszlik meg a növényben, figyelembe véve az egyes növényi részek száraz tömegét. Kukorica esetében a tápoldatos és a rizoboxos kísérlet során is azt tapasztaltam, hogy a gyökér által kivont Mo mennyiség meghaladta a hajtásban mért értékeket és a növekvő koncentrációjú Mo kezeléssel párhuzamosan a gyökérnek a teljes növény Mo tartalmához viszonyított aránya megnőtt. Rizoboxban nevelt napraforgó csíranövények esetében viszont, a növény által kivont Mo jelentős része (63-80%) a hajtásnál volt nagyobb, ami összefüggésben lehet azzal, hogy a gyökér száraz tömege megközelítőleg harmada volt a hajtás tömegének.

Tenyészedényes kísérleti eredményeimet értékelve megállapítottam, hogy a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések fokozták a borsó Mo akkumulációját és a kezelés hatása a borsó valamennyi növényi részében statisztikailag is igazolható volt. Szignifikáns növekedést csak a vegetatív szervekben, a kontroll és a 3 mg kg^{-1} kezelések között nem lehetett kimutatni. Továbbá összevetve a Látóképről, Pallagról és Nyíregyházáról származó talajokon nevelt növények Mo koncentráció értékeit, általánosságban elmondható, hogy a Mo-t a kezelt növények legnagyobb mennyiségben a pallagi talajból akkumulálták, legkisebb mennyiségben pedig a nyíregyházi talajból, vagyis az eredmények szoros összefüggést mutatnak a Lakanen-Erviö-féle oldható Mo tartalom értékekkel.

A borsó növények által felvett Mo mennyiséget meghatározva kimutattam, hogy a molibdén növényen belüli eloszlását jelentősen meghatározza a talaj Mo koncentrációja. Azt tapasztaltam, hogyha a molibdén nagy koncentrációban van jelen a talajban ($30\text{-}270 \text{ mg kg}^{-1}$ Mo-kezelések), akkor elsősorban a növény vegetatív szerveiben dúsul fel.

Kutatómunkám keretében meghatároztam azt is, hogy a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések hogyan hatnak a kísérleti növények makro- és mikroelem készletére.

Számos kutató a molibdén és a foszfor között szinergista kapcsolatot feltételez, amelyet mérési eredményeim is több esetben alátámasztottak. Tápoldatos kísérletben szignifikáns növekedést mutattam ki a kukorica gyökerében, illetve a napraforgó hajtásában és gyökerében a 0,1 μM Mo-kezelés alkalmazásakor a kontroll foszfor koncentrációjához viszonyítva, rizoboxos kísérletben a kukorica hajtás és gyökér esetében a 30 mg kg^{-1} Mo-kezelés, valamint a napraforgó hajtás esetében a 90 és 270 mg kg^{-1} Mo-dózis kijuttatásakor. Tenyészedényes kísérletben az alábbi esetekben tapasztaltam szinergista kapcsolatot a Mo és a P között: a látóképi talajon nevelt borsók esetében a 30 és 90 mg kg^{-1} Mo-kezelés alkalmazásakor valamennyi növényi részben, a pallagi talajon nevelt borsók esetében a 30 mg kg^{-1} Mo-dózis kijuttatásakor a szárban és a gyökérben, valamint a nyíregyházi talajon termesztett borsók esetében a 30 mg kg^{-1} Mo-kezeléskor a gyökérben, a hüvelyben és a szemtermésben, a 270 mg kg^{-1} -os kezelésnél pedig valamennyi növényi részben.

A vizsgált makroelemek közül a molibdén a kén felvételét is befolyásolta. A szakirodalom szerint a molibdén és a kén között antagonista kapcsolat van, ugyanis a molibdenátion és a szulfátion is anionos formában adszorbeálódik, így a két ion között verseny alakul ki a gyökér abszorpciója során. Tápoldatos kísérletben a napraforgó hajtásában tapasztaltam S koncentráció csökkenést a kezelés hatására, bár nem szignifikáns módon, rizoboxos kísérletben pedig a kukorica hajtásában a 90 és 270 mg kg^{-1} Mo-kezeléskor, a napraforgó hajtásában a 270 mg kg^{-1} Mo-kezeléskor, valamint a napraforgó gyökerében a 90 és 270 mg kg^{-1} Mo-kezelés során mutattam ki statisztikailag is igazolható csökkenést a kontroll S tartalmához képest. A Mo és S közötti antagonista kapcsolatot a tenyészedényes kísérleteim eredményei is alátámasztják. Például S koncentráció csökkenést mutattam ki a látóképi, pallagi és nyíregyházi talajon nevelt zöldborsó gyökerében, valamennyi Mo-kezelés esetében a kontrollhoz viszonyítva.

Kutatómunkám során megállapítottam, hogy a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések a mért mikroelemek közül a Fe, Cu, Zn, Mn, és B felvételére voltak hatással.

Kabata-Pendias, (2011) feljegyzése szerint a molibdén és a réz, illetve a molibdén és a vas között kölcsönös antagonizmus áll fenn, amelyet azonban a tápoldatos és a rizoboxos kísérleteim nem támasztottak alá minden esetben. Hidropónikus körülmények között végzett kísérleteimben ugyanis, réz esetében csak a kukorica gyökerében és a napraforgó hajtásában, a Fe esetében pedig csak a napraforgó hajtásában tudtam statisztikailag is igazolható csökkenést kimutatni. Rizoboxos kísérleteimben a Mo-

kezelés több esetben megemelte a tesztnövények Fe és Cu koncentrációját, szignifikáns csökkenést a két mikroelem koncentrációjában csak a 270 mg kg⁻¹-os kezelésű napraforgó gyökerében tapasztaltam. A tenyészedényes kísérletben azonban számos esetben mutattam ki antagonista viszonyt a fent említett mikroelemek esetében. Látóképi talajon nevelt zöldborsók esetében például a Mo-kezelés hatására a gyökér Cu és Fe koncentrációja szignifikánsan lecsökkent a kontrollhoz képest, továbbá a borsóhüvely esetében a Cu tartalomban jegyeztem fel statisztikailag is igazolható csökkenést a kontrollhoz viszonyítva. Pallagi talaj alkalmazása esetében azt tapasztaltam, hogy a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés gátolta a zöldborsó Cu és Fe felvételét és a gyökér kivételével ez a csökkenés valamennyi növényi részben statisztikailag is igazolható volt. A nyíregyházi talajon termesztett borsó elemanalitikai vizsgálatánál pedig szignifikáns csökkenést mutattam ki a gyökér és borsószem Fe koncentrációjában, illetve a 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelésnél a szár, a gyökér és a borsószem Cu koncentrációjában.

A növényminták Zn, Mn és B tartalmát elemezve megállapítottam, hogy a Mo-kezelés több esetben fokozta a felvételüket a talajból. Tápoldatos kísérletben a kukorica és a napraforgó esetében is azt tapasztaltam, hogy a Mo-kezelés hatására ezen elemek koncentrációja nőtt a hajtásban és ez a legtöbb kezelésnél statisztikailag is kimutatható volt. Rizoboxos kísérletben a kukorica gyökerében jegyeztem fel Zn és Mn koncentráció növekedést a kontrollhoz képest, továbbá kimutattam, hogy a kukorica és a napraforgó hajtásában a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés eredményeként a Zn és a Mn koncentráció megemelkedett.

Tenyészedényes kísérletben szintén megfigyelhető volt, hogy a Mo kijuttatása serkentette a borsó növények Zn, Mn és B felvételét. Például a borsóhüvely és borsószem cinktartalma mindhárom alkalmazott talaj esetében megemelkedett a kezelés hatására és a legtöbb esetben a növekedés statisztikailag is igazolható volt. Ezenkívül szignifikáns növekedést mutattam ki a vegetatív részek Zn tartalmában látóképi talaj esetében, a 3 mg kg⁻¹-os kezelésnél a szárban és a gyökérben, a 30 mg kg⁻¹-os kezelésnél a levélben és a gyökérben, a 90 mg kg⁻¹-os kezelésnél a levélben és a szárban. Továbbá megfigyeltem, hogy a pallagi talajon nevelt zöldborsók esetében a 30 mg kg⁻¹-os Mo kijuttatása valamennyi vegetatív részben fokozta a Zn felvételt, a nyíregyházi talaj alkalmazásakor pedig a gyökérben jegyeztem fel Zn koncentráció növekedést.

A tenyészedényes kísérletben a Mo és a Mn között szinergista viszonyt mutattam ki az alábbi esetekben: látóképi és pallagi talajon nevelt zöldborsók esetében a szárban, a levélben és a borsóhévelyben, a pallagi talaj esetében ezenkívül a borsószemben, illetve a nyíregyházi talaj felhasználásakor a gyökérben és a borsóhévelyben.

A Mo és a B között szinergista kapcsolatot pedig a következő esetekben jegyeztem fel: látóképi talaj esetében a levélben, szárban, gyökérben és a borsószemben, a pallagi talaj esetében a gyökérben és a borsószemben, a nyíregyházi talaj esetében pedig a gyökérben.

Kutatómunkám keretében nyomon követtem azt is, hogy a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések hogyan befolyásolják a kísérleti növények egyes növényi részeinek $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációját. Hidropónikus kísérleteim során megállapítottam, hogy egyetlen Mo-kezelés esetében sem lehetett kimutatni statisztikailag is igazolható csökkenést a kukorica csíranövények hajtásának és gyökerének $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációjában a kontrollhoz képest, napraforgó esetében viszont a Mo-kezelések 38-54%-os csökkenést eredményeztek a hajtás $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalmában a kontrollhoz viszonyítva.

Rizoboxos kísérleteim során azt tapasztaltam, hogy a kukorica hajtások esetében valamennyi Mo-kezelés, a gyökérben pedig a 30 és a 90 mg kg^{-1} Mo-kezelések statisztikailag is igazolhatóan csökkentették a $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációját, és növelték az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációját a kontrollhoz képest.

Tenyészedényes kísérleti eredményeim arra mutattak rá, hogy a $\text{NO}_3\text{-N}$ jelentős része a zöldborsó vegetatív szerveiben volt jelen és a generatív szervek csak kis hányadát tartalmazták, amely humánélelmezési szempontból rendkívül kedvező. A kísérleti eredményeimet kiértékelve továbbá megállapítottam, hogy a molibdén az alábbi esetekben statisztikailag is igazolhatóan csökkentette a nitrát koncentrációját a kontrollhoz képest: látóképi talaj alkalmazása esetében a levélben a 30 mg kg^{-1} Mo-kezelésnél, a szárban a 30 és 90 mg kg^{-1} Mo-kezelésnél, a gyökérben a 30, 90 és 270 mg kg^{-1} Mo-kezelésnél, a generatív részekben pedig valamennyi kezelés esetén. A pallagi talaj esetében a levélben, a gyökérben és a borsószemben, a nyíregyházi talajon termesztett borsók esetében pedig a levélben, szárban és a gyökérben a 270 mg kg^{-1} Mo-kezelés során, illetve a borsószemben valamennyi kezelés esetében szignifikáns mértékű $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentráció csökkenést mutattam ki a kontrollhoz képest.

A látóképi talajon nevelt zöldborsók esetében azt tapasztaltam, hogy a legnagyobb kezelés hatására jelentősen megnőtt a levél és a szár $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációja a kontrollhoz képest, de ezt nem követte az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációjának növekedése. Ebben

az esetben a $\text{NO}_3\text{-N}$ felhalmozódás véleményem szerint a növény védekező mechanizmusának eredménye. A növény ugyanis így módon megakadályozza a mérgező ammónia felhalmozódását, miközben a növény számára nem mérgező nitrátot kiválasztja a vakuolumaiba, kirekeszve ideiglenesen az anyagcseréből. Ez a jelenség azonban komoly veszélyre hívja fel a figyelmünket. Bár a felhalmozódott $\text{NO}_3\text{-N}$ a növény számára nem jelent veszélyt, humánegészségügyi szempontból azonban veszélyes lehet a nitrát ilyen típusú felhalmozása.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A molibdén egyike azon hét mikroelemnek, amelyek a növények számára esszenciálisnak tekinthetők. Növényélettani jelentősége elsősorban abban rejlik, hogy a nitrogén-anyagcserében részt vevő enzimek nélkülözhetetlen fémkomponense. Egyrészt a nitrogenáz enzim kofaktoraként meghatározó szerepe van a pillangósvirágú növények nitrogénnel való ellátásában, másrészt a nitrát-reduktáz alkotójaként kiemelt szerepet játszik a nitrát redukció folyamatában, ugyanis a nitrát-reduktáz optimális működéséhez a molibdén jelenléte nélkülözhetetlen. Hiányában a nitrát redukció folyamata lelassul, amely gyakran káros mértékű nitrát felhalmozódást eredményezhet a növényekben. Mivel a molibdén a nitrát-reduktáz enzim részeként kulcsszerepet tölt be a nitrát redukcióban, ezért kutatómunkám egyik fontos célkitűzése volt annak igazolása, hogy megfelelő molibdénellátással csökkenthető az egészségre káros magas nitrátszint. A nitrát redukció folyamatának nyomonkövetéséhez meghatároztam a kísérleti növényeim (kukorica, napraforgó, zöldborsó) nitrát-nitrogén, valamint ammónium-nitrogén koncentrációját valamennyi növényi részben. Kutatásom további célja volt annak feltárása, hogy a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések milyen hatással vannak a teszt növények egyes növényi részeinek száraztömeg produktumára, a kezdeti gyökérnövekedés intenzitására, valamint az alkalmazott kezelések hogyan befolyásolják a növények makroelem, illetve mikroelem készletét. Továbbá fontosnak tartottam, hogy a kísérletben felhasznált, molibdénrel kezelt talajok elemanalitikai vizsgálatát is elvégezzem. Talajvizsgálataim során célkitűzésem volt annak meghatározása, hogy a talaj összes molibdéntartalmának hány százaléka hozzáférhető a teszt növények számára (oldható elemtartalom), illetve annak megállapítása, hogy a kísérleti növények (zöldborsó) naponkénti öntözése okoz-e lemosódást a talajban, különböző talajtípusok esetén. A fenti kérdések megválaszolásához kísérleteket állítottam be, amelyek három fő csoportba sorolhatók: 1. tápoldatos kísérletek, 2. rizoboxos kísérletek, 3. tenyészedényes kísérletek.

Tápoldatos és rizoboxos kísérleteimbe egy egyszikű (kukorica, *Zea mays* L. cv. Norma SC) és egy kétszikű növényt (napraforgó, *Helianthus annuus* L. cv Arena PR) vontam be, amelyek közvetve vagy közvetetten, de jelentős szerepet játszanak a humánélelmezésben, ugyanakkor gazdasági szerepük is igen kiemelt. A tenyészedényes kísérlethez pedig teszt növényként a zöldborsót (*Pisum sativum* L.) választottam, mivel

molibdén igénye kiemelkedő és Magyarországon egyike a legnagyobb területen termesztett zöldségféléknek.

Rizoboxos és tápoldatos kísérleteim során a növények nevelésére a Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növényteni és Növényélettani Tanszékcsoport Klímaszobájában került sor, tenyészedenyes kísérleteimet pedig 2015 tavaszán a Debreceni Egyetem, Agrokémiai és Talajtani Intézetének Tenyészházában állítottam be. A növéyminták elemanalitikai vizsgálatát induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel (ICP-OES) és induktív csatolású plazma tömegspektrométerrel (ICP-MS) végeztük el. A minták feltárásához $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ -os nedves-roncsolásos mintaelőkészítési módszert alkalmaztunk. A növéyminták nitrát-nitrogén, valamint ammónium-nitrogén koncentrációjának meghatározásához szükséges mintaelőkészítés eltért a fent említett módszertől. A különböző nitrogén formákat az egyes növényi mintákból desztillált vizes kioldás és ultrahangos rázatást követően, folyadékáramlásos (CONTIFLOW) módszer alapján határoztuk meg, FIAstar Analizátor készülék segítségével.

A talajminták elemanalitikai vizsgálata két fő részre bontható, melyek a következők: 1. A minták össz-elem tartalmának meghatározása atmoszférikus nedves roncsolással, tömény salétromsav és hidrogén-peroxid felhasználásával. 2. A minták oldható, vagyis a növények számára hozzáférhető Mo-tartalmának meghatározása a Lakanen-Erviö-féle extrahálószer alkalmazásával. Ezt követően a megfelelően előkészített minták elemtartalmának mérését a fent említett ICP-OES készülék segítségével végeztük el.

Talajvizsgálataim során megállapítottam, hogy a különböző talajtípusok oldható Mo koncentráció értékei szoros összefüggést mutatnak a talajok kémhatásával és elemtartalmával (pl.: Fe, Al). Legkisebb oldható Mo koncentráció értéket a legkisebb pH értékkel rendelkező nyíregyházi talaj esetében jegyeztem fel, amely azzal magyarázható, hogy a savanyú talajok esetében a vas- és alumínium-oxidok erős kötésben tartják a növények számára hasznosítható molibdenát aniont. A talaj pH értékének növekedésével párhuzamosan viszont az adszorpció gyengül, ahogyan az a látóképi és pallagi talajok oldható Mo koncentrációjában is megmutatkozott.

A tenyészedenyes kísérletekben, az egyes talajrétegek (1-1 cm) molibdén koncentráció értékeit elemezve megállapítottam, hogy a növények rendszeres öntözése Mo lemosódást eredményezett a Pallagról és a Látóképről származó talajokban. A pallagi talaj oldható Mo koncentrációja ugyanis 22,1 és 31,1 mg kg^{-1} , a látóképi talaj Mo koncentrációja 23,4 és 36,7 mg kg^{-1} értékek között ingadozott a 30 mg kg^{-1} Mo-kezelésű

talajban, a talajmélység függvényében. A nyíregyházi talaj savanyú kémhatása azonban megakadályozta a Mo függőleges irányú mozgását.

A tápoldatos és rizoboxos kísérleteimben a kukorica és a napraforgó növények vizsgálati eredményei arra mutattak rá, hogy a két növénytípus Mo akkumulációs képességében jelentős különbség figyelhető meg. A tápoldatos és a rizoboxos kísérletekben is azt tapasztaltam, hogy a napraforgó által felvett Mo mennyiség jelentősen meghaladta a kukoricánál mért értékeket. Tápoldatos kísérletben például a legnagyobb kezelés esetében a kukorica csíranövény 11,7 μg Mo-t vont ki a talajból, a napraforgó csíranövény pedig ennek közel háromszorosát, 34,3 μg molibdént. A rizoboxos kísérletben, ugyanennél a kezelésnél kukorica esetében 41,2 μg , napraforgó esetében 57 μg Mo értéket jegyeztem fel.

Ezenkívül kimutattam, hogy a teszt növények Mo akkumulációs képessége és száraz tömeg gyarapodása, valamint kezdeti gyökérnövekedése között szoros összefüggés van. A kukorica csíranövények esetében ugyanis az alkalmazott legkisebb kezelések nem voltak szignifikáns hatással a kukorica száraz tömeg értékeire, azonban napraforgó esetében, az intenzívebb Mo-felvételüknek köszönhetően ezen kezelések már fokozták a növények száraz tömeg gyarapodását a kontrollhoz képest. Továbbá megállapítottam, hogy a rizoboxos kísérletben, már a 90 mg kg^{-1} Mo kezelés is szignifikáns mértékben gátolta a napraforgó fejlődését az extrém magas Mo akkumulációjuknak köszönhetően (1350-1458 mg kg^{-1}), a kukorica esetében azonban csak a 270 mg kg^{-1} kezelés esetében mérséklődött a hajtás és a gyökér fejlődése. A gyökérnövekedés tanulmányozása során szintén azt tapasztaltam, kukorica gyökérhossz esetében szignifikáns csökkenést csak a legnagyobb Mo-dózis eredményezett, napraforgó esetében azonban már a 90 mg kg^{-1} Mo-kezelés is szignifikánsan csökkentette a gyökér növekedés intenzitását.

A molibdénnel kezelt kukorica és napraforgó csíranövények makroelem készletét összehasonlítva kimutattam, hogy a molibdén a legtöbb esetben serkentette a foszfor felvételét és gátolta a kén akkumulációját, amely eredmények összhangban vannak a szakirodalommal. Mikroelem összetételüket vizsgálva pedig megállapítottam, hogy a Zn, a Mn és a B koncentráció tekintetében a két vizsgálati növény hasonlóságot mutat, ugyanis a kezelés hatására ezen elemek koncentrációja mindkét vizsgálati növény hajtásában megemelkedett hidropónikus körülmények között.

A csíranövények $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentráció eredményeit elemezve megállapítottam, hogy a tápoldatos kísérletben egyetlen Mo-kezelés esetében sem lehetett kimutatni statisztikailag is igazolható csökkenést a kukorica csíranövények

NO₃-N koncentrációjában a kontrollhoz képest, napraforgó esetében viszont a 0,07, 0,7 és 7 µM Mo-kezelések szignifikáns csökkenést eredményeztek a hajtás NO₃-N tartalmában a kontrollhoz viszonyítva. Rizoboxos kísérleteim során továbbá azt tapasztaltam, hogy a kukorica hajtások esetében valamennyi Mo-kezelés, a gyökérben pedig a 30 és a 90 mg kg⁻¹ Mo-kezelések statisztikailag is igazolhatóan csökkentették a NO₃-N koncentrációját, és növelték az NH₄-N koncentrációját a kontrollhoz képest.

Tenyészedényes kísérletben, a különböző talajtípusokon nevelt zöldborsók eredményei megerősítették azt a tényt, hogy a Mo felvehetőségét elsősorban a talaj kémhatása határozza meg. A növények a molibdént ugyanis molibdenát anion (MoO₄²⁻) formájában hasznosítják, melynek a hozzáférhetősége pH függő, felvétele lúgos kémhatású talajokból sokkal nagyobb mértékű. Kísérletem során ezzel összhangban megállapítottam, hogy a molibdént a kezelt növények legnagyobb mennyiségben a legmagasabb pH értékkel bíró talajból akkumulálták (Pallag; pH=7,14), legkisebb mennyiségben pedig a nyíregyházi talajból, amelynek a pH értéke a legalacsonyabb volt (pH=5,09). Továbbá kimutattam, hogy a különböző talajok esetében, a növények molibdén akkumulációjában megnyilvánuló eltérések a száraz tömeg eredményekre is hatással voltak. Látóképi és nyíregyházi talaj alkalmazása során például azt tapasztaltam, hogy a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés a legtöbb esetben szignifikáns mértékben fokozta a növény száraz tömeg gyarapodását és csak a 270 mg kg⁻¹ Mo-dózis gátolta a borsó fejlődését. A pallagi talajon termesztett zöldborsók esetében azonban már a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés is statisztikailag igazolhatóan gátolta a borsó növekedését, a 270 mg kg⁻¹ Mo-kezelés pedig az 1. vizsgált fenofázist követően a növény pusztulását eredményezte.

A borsók mikro- és makroelem készletét tanulmányozva megállapítottam, hogy az eredményeim a legtöbb esetben alátámasztják a Mo és a P közötti szinergista, valamint a Mo és S közötti antagonista kapcsolatot. Azonban néhány esetben azt tapasztaltam, hogy a Mo-kezelés hatására egyes növényi részek S tartalma növekedést mutatott a kontrollhoz viszonyítva. Továbbá kimutattam, hogy a Mo terhelés hatására a Zn, Mn és B koncentrációja megemelkedett az egyes növényi részekben, a Fe és Cu koncentrációjában pedig a legtöbb esetben csökkenést figyeltem meg a kontrollhoz képest.

A Mo-kezelések hatottak a különböző N-formákra is. A kísérletek eredményei alapján egyértelmű bizonyítékot találtam arra vonatkozóan, hogy megfelelő molibdénellátással csökkenthető a növények egészségre káros magas nitrátszintje. A vegetatív részek NO₃-

N koncentráció értékeit elemezve megállapítottam, hogy a látóképi talaj esetében a 30 mg kg⁻¹ Mo-kezelés valamennyi növényi részben, a pallagi talaj esetében pedig a levélben és a gyökérben statisztikailag is igazolhatóan csökkentette a NO₃-N koncentrációját a kontrollhoz képest. A nyíregyházi talaj esetében azonban csak a 270 mg kg⁻¹ kezelés eredményezett NO₃-N koncentráció csökkenést a levélben, valamint a gyökérben. A generatív részek NO₃-N koncentrációját vizsgálva ezenkívül kimutattam, hogy az alkalmazott Mo-kezelések a látóképi, pallagi és a nyíregyházi talaj esetében is statisztikailag igazolhatóan gátolták a NO₃-N felhalmozódását a borsószemben a kontrollhoz képest. Továbbá megállapítottam, hogy a látóképi talaj felhasználása során a molibdénnek ez a kedvező hatása már a legkisebb kezelésnél, a 3 mg kg⁻¹ Mo kijuttatásakor is kimutatható volt.

8. SUMMARY

Molybdenum is one of the seven microelements which is essential for the plants. Its relevance of plant physiology primarily lies in the fact that it is a necessary metal component of enzymes participating in nitrogen-metabolism. On the one hand, it has a decisive role in the nitrogen supply of *Fabaceae* as the co-factor of the nitrogenase enzyme, on the other hand, it has an essential role in the process of nitrate reduction, since the presence of molybdenum is essential in order that the nitrate reductase could function optimally. With no molybdenum, the process of nitrate reduction slows down which can often cause harmful nitrate accumulation in the plants. Since the molybdenum has a key role in the nitrate reduction as part of the nitrate reductase enzyme, one of the important objectives of my research work was to verify that the high level of nitrate harmful to health can be reduced with appropriate molybdenum supply. In order to investigate the process of nitrate reduction, I determined the nitrate-nitrogen as well as the ammonium-nitrogen concentration of my experimental plants (maize, sunflower, green pea) in all parts of the plants. Another aim of my research was to determine what effect the Mo-treatments with increasing concentration have on the dry mass product of the test plants' certain parts, the intensity of original root growth as well as how the applied treatments influence the macroelement and microelement contents of plants. In addition, I felt it was important to carry out the element analysis of soils treated with molybdenum and used during the experiment. During the examination of soil my objective was to determine how much percent of the soil's total molybdenum content is available to the test plants (soluble element content) and to determine whether the daily watering of plants of examination (green pea) causes denudation in the soil in case of different types of soil. In order to answer to the above questions I set up experiments which can be listed into three main groups: 1. hydroponic experiments, 2. rhizobox experiments, 3. pot experiments.

I involved a monocotyledon (maize, *Zea mays* L. cv. Norma SC) and a dicotyledon plant (sunflower, *Helianthus annuus* L. cv Arena PR) in my hydroponic and rhizobox experiments which directly or indirectly play an important role in human analysis while their economic role is also essential. In my pot experiment I chose green peas (*Pisum sativum* L.) as test plant since its molybdenum need is significant and it is one of the vegetables grown in the largest area in Hungary.

My examinations deal with the hydroponic and rhizobox experiment set in the Climate Chamber of Department of Agriculture and Botany Plant in the Institute of Plant Sciences as well as the plant and soil samples of the pot experimentation set in the Greenhouse of Institute of Agricultural Chemistry and Soil Science.

During my research work I carried out the element analysis of plant samples with inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Wet digestion with nitric acid and hydrogen peroxide was applied during sample preparation of these plants. The sample preparation method necessary for the determination of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen concentration of the plant samples is different from the method mentioned above. The various nitrogen forms of the certain plant samples were determined by fluid flow (CONTIFLOW) method, using FIAstar Analyzer, after its dissolution in distilled water and ultrasonic shaking.

The elemental analysis of soil samples can be divided to two main components which are the following: 1. The determination of the total element content of the samples with atmospheric wet digestion using concentrated nitric acid and hydrogen peroxide. 2. The determination of the samples' soluble Mo content easily available for plants using the extraction tool by Lakanen-Erviö. Afterwards, we measured the element content of the appropriately prepared samples using the abovementioned ICP-OES equipment.

During my examinations of soil I established that the soluble Mo concentration values of different types of soil show close connection with the acidity and element content of the soils (e.g. Fe, Al). I noted the smallest soluble Mo concentration value in the case of Nyíregyháza soil with the smallest pH value which is explained by the fact that in the case of acidic soils the iron and aluminium oxides keeps the molybdate anion utilizable for the plants in strong bond. In parallel with the increase of the soil's pH value, the adsorption weakens which became visible also in the soluble Mo concentration of Látókép and Pallag soils.

In the pot experiments analysing the molybdenum concentration values of certain layers (1-1 cm) I established that the periodical watering of plants resulted in Mo denudation in soils from Pallag and Látókép. The soluble Mo concentration of the soil of Pallag was between 22.1 and 31.1 mg kg⁻¹, the Mo concentration of the soil of Látókép was between 23.4 and 36.7 mg kg⁻¹ in case of 30 mg kg Mo-treatments depending on the soil depth. However, the acidic pH of the soil of Nyíregyháza prevented the vertical movement of Mo.

In my hydroponic and rhizobox experiments the experimental results of maize and sunflower plants showed that there is a significant difference in the Mo accumulation capability of the two types of plant. I also found in the hydroponic and rhizobox experiments that the Mo quantity absorbed by the sunflower considerably exceeded the values measured in maize. In my hydroponic experiment in the case of the largest treatment the maize seedling subtracted 11.7 μg Mo from the soil, while the sunflower seedling subtracted the treble of this, namely, 34.3 μg molybdenum. In my rhizobox experiment with the same treatment I noted 41.2 μg in the maize and 57 μg Mo value in the case of sunflower.

In addition, I showed that there is a close connection between the Mo accumulation capability of test plants and their dry mass growth as well as their initial root growth.

In the case of maize seedlings the applied smallest treatments had no significant effect on the maize's dry mass values but in the case of sunflower these treatments increased the plants' dry mass growth due to their more intensive Mo uptake compared to the control. Besides, I established that in my rhizobox experiment the 90 mg kg^{-1} Mo-treatment significantly hindered the sunflower's growth due to their extremely high Mo accumulation (1350-1458 mg kg^{-1}), but in the case of the maize only the 270 mg kg^{-1} Mo-treatment slowed down the growth of shoot and root. During studying the root growth I also found that in the case of the maize's root length, only the largest Mo-treatment caused a significant decrease, but in the case of sunflower the 90 mg kg^{-1} Mo-treatment significantly reduced the intensity of root growth.

By comparing the macroelement reserves of maize and sunflower seedlings treated with molybdenum I showed that in most cases the molybdenum encouraged the uptake of phosphorus and hindered the accumulation of sulphur which are in harmony with the scientific literature. Examining their microelement composition I established that the Zn, Mn and B concentration of the two plants of examination similarly change as the concentration of these elements due to the treatments increased in the plant's shoot in hydroponic circumstances.

The $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration results of seedlings showed no statistically verifiable reduction in $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration could have detected in case of Mo-treatments of maize seedlings compared to the control in case of hydroponic experiment; while 0.07, 0.7 and 7 μM Mo-treatments resulted in significantly decreased $\text{NO}_3\text{-N}$ content in shoots compared to the control in case of sunflower. Furthermore I established in case of rhizoboxes experiment that in the case of maize shoots all Mo-treatments, while in the

case of root the 30 and 90 mg kg⁻¹ Mo-treatments decreased the NO₃-N concentration in a statistically verifiable way and increased the NH₄-N concentration compared to the control.

In the pot experiment the results of green peas cultivated in different types of soil affirm the fact that the capability to uptake Mo is primarily determined by the soil's acidity. Since the utilizable Mo form for the plants is the molybdate anion (MoO₄²⁻) which is available depending on pH and can be absorbed in a much larger quantity from alkaline soils. Accordingly, during my experiment I established that the treated plants accumulated the largest amount of molybdenum from the soil with the largest pH value (Pallag; pH=7.14), while the smallest amount from the Nyíregyháza soil with the smallest pH value (pH=5.09). In addition, I showed that in the case of different soils the obvious differences of the plants' molybdenum accumulation had an effect on the dry mass results too. During the application of the soil of Látókép and Nyíregyháza, the 30 mg kg⁻¹ Mo-treatment increased significantly the dry mass growth of the plant in most cases, but the 270 mg kg⁻¹ Mo-dose hindered the growth of peas. In the case of green peas grown in Pallag soil, however, the 30 mg kg⁻¹ Mo-treatment also verifiably hindered the growth of peas, and the 270 mg kg⁻¹ Mo-treatment resulted in the destruction of plant after the 1st phenological state.

Studying the micro- and macroelement reserves of peas I established that my results sustain the synergistic relationship between Mo and P, and the antagonistic relationship between Mo and S in most cases. However, I found in some cases that as the result of the Mo-treatment, the sulphur content of some plant's parts increased compared to the control. In addition, I showed that due to the Mo loading, the Zn, Mn and B concentration of certain parts of the plant is increased, but I noticed a decrease in the Fe and Cu concentration in most cases compared to the control.

The Mo-treatments had an effect on the different N-forms too. Based on the results of the experiments I found an unequivocal evidence that the high nitrate level of plants with adverse health effects can be decreased with appropriate molybdenum supply. Analysing the NO₃-N concentration values of the vegetative parts I established that in the case of the soil of Látókép the 30 mg kg⁻¹ Mo-treatment verifiably decreased the NO₃-N concentration in all parts of the plant, while in the case of the soil of Pallag it decreased it in the leaf and the root. In the case of the soil of Nyíregyháza, however, the 270 mg kg⁻¹ treatment resulted in a decrease of NO₃-N concentration in the leaf and the root. Analysing the NO₃-N concentration of the generative parts I showed that the

applied Mo-treatments verifiably hindered the $\text{NO}_3\text{-N}$ accumulation in the pea in the case of the soil of Látókép, Pallag and Nyíregyháza compared to the control.

In addition, I established that during the use of the soil of Látókép this favourable effect of the molybdenum could be shown in the smallest, 3 mg kg^{-1} Mo-treatment.

9. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A tápoldatos kísérletben igazoltam, hogy száraz tömeg eredményeim szerint a napraforgó, mint kétszikű növény érzékenyebben reagál a Mo-hiányra mint a kukorica (egyszikű). A kukorica esetében ugyanis nem mutatható ki szignifikáns különbség a kontroll és a $0,07 \mu\text{M}$ (fiziológiai Mo-igény) Mo-t tartalmazó tápoldaton nevelt növények száraz tömeg produktumában, napraforgó esetében viszont a molibdénnel nem kezelt tápoldaton nevelt növény hajtásának száraz tömege több mint 20%-kal kevesebb, mint a $0,07 \mu\text{M}$ molibdénnel kezelt növényé.

2. A kukorica és a napraforgó száraz tömeg eredményei arra mutatnak rá, hogy a napraforgó, mint kétszikű növény érzékenyebben reagál a talaj magas Mo tartalmára. Napraforgó esetében már a 90 mg kg^{-1} Mo-kezelés is szignifikáns mértékben gátolja a száraz tömeg gyarapodást, a kukorica esetében azonban csak a 270 mg kg^{-1} kezelés hatására mutatható ki szignifikáns csökkenés a száraz tömeg produktumban.

3. Bizonyítottam, hogy a kukorica (egyszikű növény) és a napraforgó (kétszikű növény) Mo akkumulációs képességében jelentős különbség van. Ugyanolyan Mo terhelés mellett a napraforgó által felvett Mo mennyiség közel háromszorosa a kukorica által kivont mennyiségnek.

4. Igazoltam, hogy a különböző talajtípusok kémhatása és Lakanen-Erviö oldható molibdén tartalma között szoros kapcsolat van. A legkisebb pH értékkel ($\text{pH}=5,09$) rendelkező nyíregyházi talaj (humuszos homok) esetében az összes molibdénnek 26-29%-a, a látóképi talaj (mészlepedékes csernozjom) ($\text{pH}=6,58$) esetében 44-56%-a, a legnagyobb pH értékkel bíró ($\text{pH}=7,14$) pallagi talaj (humuszos homok) esetében az összes molibdénnek 62-67%-a volt hozzáférhető a növények számára.

5. Megállapítottam, hogy mészlepedékes csernozjom talajon nevelt teljesérésben lévő zöldborsók esetében a molibdén koncentráció nagysága nincs szignifikáns hatással a generatív szervek száraz tömeg produktumára. A teljesérésű zöldborsók vegetatív szerveinek esetében viszont a 30 mg kg^{-1} Mo-kezelés már statisztikailag igazolhatóan fokozza a száraz tömeg gyarapodását. A 30 mg kg^{-1} Mo-kezelés felett azonban a

vegetatív részek száraz tömegében csökkenés figyelhető meg, az értékek statisztikailag a kontroll eredményekkel mutatnak hasonlóságot.

6. A molibdén növényen belüli eloszlását jelentősen meghatározza a talaj Mo koncentrációja. Ha a molibdén nagyobb koncentrációban van jelen a talajban (30-270 mg kg⁻¹ Mo-kezelések), akkor inkább a növény vegetatív szerveiben dúsul fel.

7. Igazoltam, hogy a növekvő koncentrációjú Mo-kezelések statisztikailag igazolhatóan gátolják a NO₃-N felhalmozódását a borsószemben a kontroll kezeléshez képest. A pallagi talajon termesztett borsók esetében 27%-os, a látóképi talaj alkalmazása során 34-66%-os, a nyíregyházi talaj esetében 75-78%-os csökkenést mutattam ki a Mo-kezelések hatására a kontroll értékekhez viszonyítva.

10. GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy a molibdén a vizsgált makroelemek közül a foszfor, a mikroelemek közül a cink, a mangán és a bór felvételét serkentheti. Tenyészedényes kísérletben a foszfor koncentrációja 2-97%-kal, a cink koncentrációja 4-95%-kal, a mangáné 9-191%-kal, a bóré 31-364%-kal emelkedett meg a molibdén kezelések hatására a kontrollhoz képest. Mivel ezen elemek esszenciális szerepet töltenek be a növények anyagszere folyamataiban, így akkumulációjuk kedvezőnek tekinthető.

2. Tenyészedényes kísérleti eredményeim alapján megállapítottam, hogy a borsó vegetatív és generatív szerveinek $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációjában nagyságrendnyi eltérés van. A $\text{NO}_3\text{-N}$ jelentős része a zöldborsó vegetatív szerveiben akkumulálódott és a generatív szervek csak kis hányadát tartalmazták, amely humánélelmezési szempontból rendkívül kedvező.

3. Eredményeim bizonyították, hogy a molibdén kezelés hatására csökkenhet a borsó növények nitrát-tartalma. Ez az eredmény rámutat arra, hogy megfelelő Mo ellátással csökkenthetjük a borsó nitrát-tartalmát, amelynek humán egészségügyi vonatkozásai lényegesek.

4. Eredményeim rámutattak, hogy savanyú talajon a napraforgó (kétszikű) termesztésnél jobban oda kell figyelni a Mo ellátásra, mint a kukorica növény (egyszikű) esetén, mert a napraforgó érzékenyebb a Mo hiányára. Ugyanakkor az adagok megállapításánál figyelniünk kell arra is, hogy a napraforgó érzékenyebb a Mo feleslegére is, mint a kukorica.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Adams J. F.: 1997. Yield response to molybdenum by field and horticultural crops. pp. 182-201. In: Gupta U. C. (ed.): Molybdenum in agriculture. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 276.
2. Agarwala S. C., Sharma C. P., Farooq S., Chatterjee 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.
3. Ali M., Choudhury T. R., Hossain B., Ali M. P.: 2014. Determination of traces of molybdenum and lead in foods by x-ray fluorescence spectrometry. *Springer Plus*, 3. 341. 1-9.
4. Allen R. M., Roll J. T., Rangaraj P., Shah V. K., Roberts G. P., Ludden P. W.: 1999. Incorporation of molybdenum into the iron-molybdenum cofactor of nitrogenase. *Journal of Biological Chemistry*, 274. 22. 15869-15874.
5. Alloway B. J.: 1995. *Heavy Metals in Soils*. Blackie Academic and Professional, London, pp. 368.
6. Anke M., Seifert M., Arnhold W., Anke S., Schäfer U.: 2010. The biological and toxicological importance of molybdenum in the environment and in the nutrition of plants, animals and man. Part 5: essentiality and toxicity of molybdenum. *Acta Alimentaria*, 39. 1. 12-26.
7. Anke M., Seifert M., Holzinger S., Müller R., Schäfer U.: 2007. The biological and toxicological importance of molybdenum in the environment and in the nutrition of plants, animals and man. Part 2: Molybdenum in animals and man. *Acta Biologica Hungarica*, 58. 325-333.
8. Anke M., Seifert M.: 2007. The biological and toxicological importance of molybdenum in the environment and in the nutrition of plants, animals and man. Part 1: Molybdenum in plants. *Acta Biologica Hungarica*, 58. 3. 311-324.
9. Anke M., Szentmihályi S., Grün M., Groppe B.: 1984. Molybdängehalt und -versorgung der Flora und Fauna. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität Leipzig, Mathe-Naturwissenschaftliche Reihe*, 33. 135-147.
10. Anke M.: 2004. Molybdenum. pp. 1007-1037. In: Merian E., Anke M., Ihnat M., Stoeppler M. (eds.): *Elements and their Compounds in the Environment*. Second Edition. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, pp. 1773.

11. Antal J., Buzás I., Debreczeni B., Fekete A., Nagy M., Sipos S., Sváb J.: 1979. A Műtrágyázás irányelvei és üzemi számítási módszer. I. rész. N, P, K műtrágyázási irányelvek. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, Mezőgazdasági kiadó, Budapest. pp. 47.
12. Arnon D. I., Stout P. R.: 1939. Molybdenum as an essential element for higher plants. *Plant Physiology*, 14. 599-602.
13. Arnon D. I.: 1937. Ammonium and nitrate nutrition of barley at different seasons in relation to hydrogen-ion concentration, manganese, copper, and oxygen supply. *Soil Science*, 44. 91-114.
14. Arnon D. I.: 1938. Microelements in culture-solution experiments with higher plants. *American Journal of Botany*, 25. 322-325.
15. Aubert H., Pinta M.: 1977. Trace elements in soil *Developments in Soil Science* 7. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, pp. 395.
16. Aziz A. A., Aly M. E.: 2012. Response of soybean plants to phosphorus, boron and molybdenum fertilization. Eleventh Arab Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Khartoum, Sudan, 23-27. December 2012.
17. Bagheri A. R., Jafari A. R.: 2012. Effect of salinity and molybdenum application on photosynthesis, nitrogenase activity and yield of barley inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Cereal Research Communications*, 40. 235-245.
18. 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.
19. Barceloux D. G.: 1999. Molybdenum. *Clinical Toxicology*, 37. 2. 231-237.
20. Basak A., Mandal L. N., Haldar M.: 1982. Interaction of phosphorus and molybdenum in relation to uptake and utilization of molybdenum, phosphorus, zinc, copper and manganese by rice. *Plant and Soil*, 68. 261-269.
21. Béres J.: 2000. A malignus daganatok biológiai, biokémiai okai. Béres Rt., Budapest. pp. 192.
22. Berglund M., Wieser M. E.: 2011. Isotopic compositions of the elements 2009 (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 83. 2. 397-410.
23. Berry J. A., Reisenauer H. M.: 1967. The influence of molybdenum on iron nutrition of tomato. *Plant Soil*, 27. 303-313.

24. Bhagiya S. R.; Polara K. B., Polara J. V.: 2005. Effect of B and Mo on yield, quality and nutrient absorption by groundnut. *Advances in Plant Sciences*, 18. 2. 803-806.
25. Bibak A., Borggard O. K.: 1994. Molybdenum adsorption by aluminium and iron oxides and humic acid. *Soil Science*, 158. 323-328.
26. Bittner F.: 2014. Molybdenum metabolism in plants and crosstalk to iron. *Frontiers in Plant Science*, 5. 28. 1-6.
27. Bortels H.: 1930. Molybdän als Katalysator bei der biologischen Stickstoffbindung. *Archives of Microbiology*, 1. 333-342.
28. Bradberry S.: 2012. Methaemoglobinaemia. *Medicine*, 40. 2. 59-60.
29. Bremner I.: 1979. The toxicity of cadmium, zinc and molybdenum and their effects on copper metabolism. *Proceedings of the Nutrition Society*, 38. 235-242.
30. Brewer G. J., Dick R. D., Yuzbasiyan-Gurkin V., Tankanow R., Young A. B., Kluin K. J.: 1991. Initial therapy of patients with Wilson's disease with tetrathiomolybdate. *Archives of Neurology*, 48. 42-47.
31. Brewer G. J., Hedera P., Kluin K. J., Carlson M., Askari F., Dick R. B., Sitterly J., Fink J. K.: 2003. Treatment of Wilson Disease with ammonium tetrathiomolybdate. III. Initial therapy in a total of 55 neurologically affected patients and follow-up with zinc therapy. *Archives of Neurology*, 60. 379-385.
32. Brkić S., Milaković Z., Kristek A., Antunović M.: 2004. Pea yield and its quality depending on inoculation, nitrogen and molybdenum fertilization. *Plant, Soil and Environment*, 50. 1. 39-45.
33. Broadley M., Brown P., Cakmak I., Rengel Z., Zhao F.: 1995. Function of Nutrients: Micronutrients. pp. 191-248. In.: Marschner H.: *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second Edition. Academic Press, London. pp. 889.
34. Brodrick S. J., Giller K. E.: 1991. Root nodules of *Phaseolus*: efficient scavengers of molybdenum for N₂-fixation. *Journal of Experimental Botany*, 42. 679-686.
35. Burgess B. K., Lowe D. J.: 1996. Mechanism of molybdenum nitrogenase. *Chemical Reviews*, 96. 2983-3011.
36. Cairns A. L. P., Kritzing J. H.: 1992. The effect of molybdenum on seed dormancy in wheat. *Plant Soil*, 145. 295-297.
37. 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.

38. Calonego J. C., Ramos-Junior E. U., Barbosa R. D., Leite G. H. P., Grassi Filho H.: 2010. Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar (Nitrogen topdressing fertilization on common bean with leaf spray of molybdenum). *Revista Ciência Agronômica*, 41. 334-340.
39. Campbell W. H.: 1988. Higher plant nitrate reductase: arriving at a molecular view. *Current Topics in Plant Biochemistry and Physiology*, 7. 1-15.
40. Campbell W. H.: 1999. Nitrate reductase structure, function and regulation: Bridging gap between biochemistry and physiology. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50. 277-303.
41. Campbell W. H.: 2001. Structure and function of eukaryotic NAD(P)H:nitrate reductase. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 58. 194-204.
42. Cantone M. C., Molho N., Pirola L.: 1992. Molybdenum metabolism studied by means of stable tracers. *Medical Physics*, 2. 439-449.
43. Caroli S., Alimonti A., Coni E., Petrucci F., Senofonte O., Violante N.: 1994. The assessment of reference values for elements in human biological tissues and fluids: a systematic review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 24. 5-6. 363-398.
44. Chatterjee C., Nautiyal N., Agarwala S. C.: 1985. Metabolic changes in mustard plants associated with molybdenum deficiency. *New Phytologist*, 100. 511-518.
45. Coleman M. D., Coleman N. A.: 1996. Drug-induced methaemoglobinaemia: treatment issues. *Drug Safety*, 14. 394-405.
46. Curzon M. E. J., Kubota J., Bibby B. G.: 1971. Environmental Effects of Molybdenum on Caries. *Journal of Dental Research*, 50. 74-77.
47. Csathó P.: 1994. A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés (Tematikus szakirodalmi szemle). A Környezet- és Területfejlesztési Minisztérium és az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete kiadványa, Budapest, pp. 176.
48. Davies B. E., Anderson R. J.: 1987. The epidemiology of dental caries in relation to environmental trace elements. *Experientia*, 15. 43(1). 87-92.
49. Davis R. D., Beckett P. H. T., Wollan E.: 1978. Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley. *Plant Soil*, 49. 395-408.
50. De Vos W., Tarvainen T.: 2006. Geochemical Atlas of Europe. Part 2 – Interpretation of Geochemical Maps, Additional tables, Figures, Maps, and Related Publications. Geological Survey of Finland, Otamedia Oy, Espoo, pp. 692.

51. 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.
52. Eady R. R.: 1996. Structure-function relationships of alternative nitrogenases. Chemical Reviews, 96. 3013-3030.
53. Eilers T., Schwarz G., Brinkmann H., Witt C., Richter T., Nieder J., Koch B., Hille R., Hänsch R., Mendel R. R.: 2001. Identification and biochemical characterization of *Arabidopsis thaliana* sulfite oxidase: A new player in plant sulfur metabolism. Journal of Biological Chemistry, 276. 50. 46989-46994.
54. Eisler R.: 2007. Eisler's Encyclopedia of Environmentally Hazardous Priority Chemicals. First Edition. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp. 950.
55. Evans L. J., Barabash S. J.: 2010. Molybdenum, Silver, Thallium and Vanadium. In: Hooda P. S. (ed.): Trace Elements in Soils. Blackwell Publishing, Chichester, United Kingdom, pp. 616.
56. Ferreiro E. A., Helmy A. K., de Bussetti S. G.: 1985. Molybdate sorption by oxides of aluminium and iron. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 148. 5. 559-566.
57. Fischer K., Barbier G. G., Hecht H. J., Mendel R. R., Campbell W. H., Schwarz G.: 2005. Structural Basis of Eukaryotic Nitrate Reduction: Crystal Structures of the Nitrate Reductase Active Site. Plant Cell, 17. 4. 1167-1179.
58. Forrer R., Gautschi K., Lutz H.: 2001. Simultaneous measurement of the trace elements Al, As, B, Be, Cd, Co, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Rb, Se, Sr, and Zn in human serum and their reference ranges by ICP-MS. Biological Trace Element Research, 80. 77-93.
59. Franco A. A., Munns D. N.: 1981. Response of *Phaseolus vulgaris* L. to molybdenum under acid conditions. Soil Science Society of America Journal, 45. 1144-1148.
60. Furr A. K., Parkinson T. F., Bache C. A., Gutenmann W. H., Pakkala I., Lisk D. J.: 1980. Multielement absorption by crops grown on soils amended with municipal sludges ashes. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 28. 3. 660-662.
61. Gad N., Kandil H.: 2013. Evaluate the effect of Molybdenum and Different Nitrogen Levels on Cowpea (*Vigna anguiculata*). Journal of Applied Sciences Research, 9. 3. 1490-1497.

62. Gad N.: 2012. Influence of Molybdenum on Groundnut Production Under Different Nitrogen Levels. *World Journal of Chemistry*, 7. 2. 64-70.
63. Gerloff G. C., Stout P. R., Jones L. H. P.: 1959. Molybdenum-manganese-iron antagonisms in the nutrition of tomato plants. *Plant Physiology*, 34. 608-613.
64. Goldberg S., Forster H. S., Godfrey C. L.: 1996. Molybdenum adsorption on oxides, clay minerals, and soils. *Soil Science Society of America Journal*, 60. 425-432.
65. Goldberg S., Forster H. S.: 1998. Factors affecting molybdenum adsorption by soils and minerals. *Soil Science*, 163. 109-114.
66. Gowariker V., Krishnamurthy V. N., Gowariker S., Dhanorkar M., Paranjape K.: 2009. *The Fertilizer Encyclopedia*. Wiley Interscience, New York, pp. 835.
67. Greenwood E. A. K., Hallsworth E. G.: 1960. Studies on the nutrition of forage legumes. II. Some interactions of Ca, P, Cu and Mo on the growth and chemical composition of *Trifolium subterraneum* L. *Plant and Soil*, 12. 97-127.
68. Gropper S. S., Smith J. L.: 2012. *Advanced nutrition and human metabolism*. 6th edition. Cengage Learning, Wadsworth, USA, pp. 608.
69. Gungula D. T., Garjila Y.: 2006. The effects of molybdenum application on growth and yield of cowpea in yola, Nigeria. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 1. 2. 96-101.
70. Gupta U. C., Chipman E. W., MacKay D. C.: 1978. Effects of molybdenum and lime on the yield and molybdenum concentration of crops grown on acid sphagnum peat soil. *Canadian Journal of Plant Science*, 58. 983-992.
71. Gupta U. C., Lipsett J.: 1981. Molybdenum in soils, plants and animals. *Advances in Agronomy*, 34. 73-115.
72. Gupta U. C., MacLeod L. B.: 1975. Effects of sulfur and molybdenum on the molybdenum, copper and sulfur concentrations of forage crops. *Soil Science*, 119. 441-447.
73. Gupta U. C., Srivastava P. C., Gupta S. C.: 2011. Role of Micronutrients: Boron and Molybdenum in Crops and in Human Health and Nutrition. *Current Nutrition and Food Science*, 7. 126-136.
74. Gupta U. C.: 1997a. Soil and plant factors affecting molybdenum uptake by plants. pp. 71-91. In: Gupta U. C. (ed.): *Molybdenum in agriculture*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 276.

75. Gupta U. C.: 1997b. Symptoms of Molybdenum Deficiency and Toxicity in Crops, pp. 160-170. In: Gupta U. C. (ed.): Molybdenum in agriculture. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 276.
76. Gupta V. K., Mehla D. S.: 1980. Influence of sulphur on the yield and concentration of copper, manganese, iron and molybdenum in berseem (*Trifolium alexandrinum*) grown on two different soils. Plant Soil, 56. 229-234.
77. Gurley W. H., Giddens J.: 1969. Factors affecting uptake, yield response and carryover of molybdenum in soybean seed. Agronomy Journal, 61. 7-9.
78. Győri D., Tölgyesi Gy.: 1968. Vadontermő növények (*Trifolium repens*, *Galium mollugo*, *Achillea millefolium*) mikroelem-tartalmát befolyásoló tényezők vizsgálata. Agrokémia és Talajtan, 17. 77-90.
79. Győri D.: 1958. Néhány talajtípus mikroelemkészlete. Agrokémia és talajtan, 7. 97-108.
80. Győri D.: 1984. A talaj termékenysége. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 253.
81. Hall J. O.: 2007. Molybdenum. pp. 449-452. In: Gupta R. C. (ed): Veterinary Toxicology: Basic and Clinical Principles. Elsevier – Academic Press, Oxford, United Kingdom, pp. 1201.
82. Hamlin R. L.: 2007. Molybdenum. pp. 375-394. In: Barker A. V., Pilbeam D. J. (eds.): Handbook of Plant Nutrition. Taylor and Francis Group, New York, pp. 632.
83. Haque I.: 1987. Molybdenum in soils and plants and its potential importance to livestock nutrition, with special reference to sub-Saharan Africa. ILCA Bulletin, 26. 20-28.
84. Haraszty Á.: 1978. Növény szervezattan és növényélettan. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, pp. 798.
85. Heuwinkel H., Kirkby E. A., Le Bot J., Marschner H.: 1992. Phosphorus deficiency enhances molybdenum uptake by tomato plants. Journal of Plant Nutrition, 15. 549-568.
86. Hille R.: 1996. The mononuclear molybdenum enzymes. Chemical Reviews, 96. 2757-2816.
87. Hornick S. B., Baker D. E., Guss S. B.: 1976. Crop production and animal health problems associated with high molybdenum soils. In: Chappell W. R., Peterson K. K. (eds.): Molybdenum in the Environment. Vol. 2. Marcel Dekker Inc., New York, pp. 665.

88. Hossain M. B., Kumar T. N., Ahmed S.: 2001. Effect of Zinc, Boron and Molybdenum Application on the Yield and Nutrient Uptake by BRRI Dhan 30. *Journal of Biological Sciences*, 1. 8. 698-700.
89. Howerde E. S.: 1999. *Laboratory Tests for the Assessment of Nutritional Status*. Second Edition. CRC Press LLC, New York, USA, pp. 512.
90. Hristozkova M., Stancheva I., Geneva M., Georgiev G.: 2005. Effect of different foliar fertilizer concentrations on pea plants nodulation at reduced Mo supply. In: Gruev B., Nikolova M., Donev A. (eds.): *Proceedings of Balkan Scientific Conference of Biology*, May 19-21., Plovdiv, 365-372.
91. Hu C. X., Pang J., Wang Y. H., Wei W. X., Chen H., Chen Z. W.: 1998. Effect of different available Mo levels on yellow brown earth on yield composition, chlorophyll and soluble sugar in winter wheat. *Soil and Fertilizer*, 4. 393-398.
92. Hunashikatti M. G., Channal H. T., Sarangamath P. A., Manjunathaiah H. M., Hebsur N. S.: 2000. Effect of Sulphur and Molybdenum on the Dry Matter Yield and Uptake of S and Mo by Cabbage. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 13. 4. 840-845.
93. Ishizuka J.: 1982. Characteristics of molybdenum absorption and translocation in soybean plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 28. 63-71.
94. Iyengar V., Woittiez J.: 1988. Trace elements in human clinical specimens: evaluation of literature data to identify reference values. *Clinical Chemistry*, 34. 3. 474-481.
95. Johnson J. L., Rajagopalan K. V., Wadman S. K.: 1993. Human molybdenum cofactor deficiency. pp. 373-378. In: Ayling J. E., Nair G. M., Baugh C. M. (eds.): *Chemistry and Biology of Pteridines and Folates* Plenum, Plenum Press, New York, pp. 825.
96. Johnson J. L.: 2003. Prenatal diagnosis of molybdenum cofactor deficiency and isolated sulfite oxidase deficiency. *Prenatal Diagnosis*, 23. 6-8.
97. Jongruaysup S., Ohara G. W., Dell B., Bell R. W.: 1993. Effects of low molybdenum seed on nodule initiation, development and N₂ fixation in black gram (*Vigna mungo* L). *Plant-Soil*, 156. 345-348.
98. Kabata-Pendias A., Adriano D. C.: 1995. Trace Metals. Chapter 4. pp. 139-167. In: Rechcigl J. E. (ed.): *Soil amendments and environmental quality*. CRC Press, Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 504.

99. Kabata-Pendias A., Mukherjee A. B.: 2007. Trace elements from soil to human. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 550.
100. Kabata-Pendias A., Pendias H.: 2001. Trace Elements in Soils and Plants. Third Edition, CRC Press, New York, pp. 413.
101. Kabata-Pendias A.: 2011. Trace Elements in Soils and Plants. Fourth Edition. CRC Press, New York, pp. 505.
102. 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.
103. Kádár I.: 1995. A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. KTM – MTA TAKI. Budapest. pp. 388.
104. Kádár I.: 2012. A főbb szennyező mikroelemek környezeti hatása. MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet, Budapest, pp. 359.
105. 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. 745-54.
106. Kandil H., Gad N., Abdelhamid M. T.: 2013. Effects of Different Rates of Phosphorus and Molybdenum Application on Two Varieties Common Bean of (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agriculture and Food Technology*, 3. 3. 8-16.
107. Karpagam J., Rajesh N.: 2014. Molybdenum Application for Enhancing Growth, Yield and Soil Health on Green Gram (*Vigna radiata* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 14. 12. 1378-1381.
108. Katyal J. C., Randhawa N. S.: 1983. Micronutrients (molybdenum). *FAO: Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin*, 7. 69-76.
109. Kevresan S., Petrovic N., Popovic M., Kandrak J.: 2001. Nitrogen and protein metabolism in young pea plants as affected by different concentrations of nickel, cadmium, lead, and molybdenum. *Journal of Plant Nutrition*, 24. 1633-1644.
110. Kirsch R. K., Harward M. E., Petersen R. G.: 1960. Interrelationships among iron, manganese and molybdenum in the growth and nutrition of tomatoes grown in culture solution. *Plant Soil*, 12. 259-275.
111. Kisker C., Schindelin H., Rees D. C.: 1997. Molybdenum-cofactor-containing enzymes: structure and mechanism. *Annual Review of Biochemistry*, 66. 233-267.
112. Kiss Á.: 1950. Borsófajták fejlődési szakaszainak elemzése. *Növénytermesztési Kutató Intézet Évkönyve*. Martonvásár, 1. 33-44.

113. Kolesarova A., Capcarova M., Sirotkin A. V., Medvedova M., Kalafova A., Filipejova T., Kovacik J.: 2011. In vitro assessment of molybdenum-induced secretory activity, proliferation and apoptosis of porcine ovarian granulosa cells. *Journal of Environmental Science and Health. Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 46. 2. 170-175.
114. Koshiba T., Saito E., Ono N., Yamamoto N., Sato M.: 1996. Purification and properties of flavin- and molybdenum-containing aldehyde oxidase from coleoptiles of maize. *Plant Physiology*, 110. 781-789.
115. Kotecki A.: 1991. Effect of molybdenum nutrition applied to the leaves on yield in pea varieties. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Rolnictwo*, 52. 121-132.
116. Kovács B., Dániel P., Győri Z., Loch J., Prokisch J.: 1998. Studies on Parameters of Inductively Coupled Plasma Spectrometer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29. 11-14. 2035-2054.
117. 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.
118. Kovács B., Győri Z., Prokisch J., Loch J., Dániel P.: 2000. Studies on soil sample preparation for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31. 11-14. 1949-1963.
119. Kubota J., Lemon E. R., Allaway W. H.: 1963. The effect of soil moisture content upon the uptake of molybdenum, copper, and cobalt by alsike clover. *Soil Science Society of America Proceedings*, 27. 679-683.
120. Kumar V., Singh M.: 1980. Interactions of sulfur, phosphorus, and molybdenum in relation to uptake and utilization of phosphorus by soybean. *Soil Science*, 130. 1. 1-56.
121. Lévai L., Kovács B.: 2001. The influence of IAA and TIBA on iron concentration of maize seedlings. pp. 154-155. In: Horst W. J. (ed.): *Plant Nutrition – Food. Security and Sustainability of Agro- Ecosystem*. Kluwer Academia Publishers, Netherlands.
122. Li S. X., Wang Z. H., Stewart B. A.: 2013. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. *Advances in Agronomy*, 118. 205-397.

123. Lindsay W. L.: 1972. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soil. pp. 41-57. In: Mortvedt J. J., Giordano P. M., Lindsay W. L. (eds.): Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
124. Liu H., Hu C., Hu X., Nie Z., Sun X., Tan Q., Hu H.: 2010. Interaction of molybdenum and phosphorus supply on uptake and translocation of phosphorus and molybdenum by *Brassica napus*, Journal of Plant Nutrition, 33. 12. 1751-1760.
125. Liu P., Yang Y. A.: 1999. Effect of molybdenum and boron on nitrogen metabolism of soybean. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 5. 4. 347-351.
126. Lopez R. S., Alvear M., Gianfreda L., Mora M. D.: 2007. Molybdenum availability in andisols and its effect on biological parameters of soil and red clover (*Trifolium pratense* L.). Soil Science, 172. 913-924.
127. Magyar Élelmiszerkönyv: 2001. 1-1-90/496 számú előírás. Az élelmiszerek tápértékének jelölése. Módosított kiadás.
128. Mansouri A., Lurie A. A.: 1993. Concise review: methemoglobinemia. American Journal of Hematology, 42. 7-12.
129. Marczenko Z., Lobinski R.: 1991. Determination of molybdenum in biological materials. Pure and Applied Chemistry, 63. 11. 1627-1636.
130. Marks J. A., Perakis S. S., King E. K., Pett-Ridge J.: 2015. Soil organic matter regulates molybdenum storage and mobility in forests. Biogeochemistry, 125. 2. 167-183.
131. 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.
132. Martin S., Saco D., Alvarez M.: 1995. Nitrogen metabolism in *Nicotiana rustica* L. grown with molybdenum: 11. Flowering stage. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 26. 1733-1747.
133. Mendel R. R., Bittner F.: 2006. Cell biology of molybdenum. Biochimica et Biophysica Acta (Molecular Cell Research), 1763. 621-635.
134. Mendel R. R., Hänsch R.: 2002. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. Journal of Experimental Botany, 53. 1689-1698.
135. Mendel R. R., Kruse T.: 2012. Cell biology of molybdenum in plants and humans. Biochimica et Biophysica Acta, 1823. 9. 1568-1579.
136. Mendel R. R., Schwarz G.: 1999. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. Critical Reviews in Plant Sciences, 18. 33-69.

137. Mendel R. R.: 1997. Molybdenum cofactor of higher plants: biosynthesis and molecular biology. *Planta*, 203. 399-405.
138. Mendel R. R.: 2005. Molybdenum: biological activity and metabolism. *Dalton Trans*, 3404-3409.
139. Mengel K., Kirkby E. A.: 1987. *Principles of Plant Nutrition*. 4th ed. International Potash Institute, Bern, Switzerland, pp. 685.
140. Mills C. F., Davis G. K.: 1987. Molybdenum. In: Merz W. (ed.): *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*. Academic Press, London, pp. 499.
141. Mishra S. N., Jaiwal P. K., Singh R. P., Srivastava H. S.: 1999. Rhizobium-legume association. pp. 45-102. In: Srivastava H. S., Singh R. P. (eds.): *Nitrogen Nutrition and Plant Growth*. Science Publishers Inc., Enfield, New Hampshire, USA, pp. 347.
142. Modi A. T., Cairns A. L. P.: 1994. Molybdenum deficiency in wheat results in lower dormancy levels via reduced ABA. *Seed Science Research*, 4. 3. 329-333.
143. Mohamed M. A., Elsherif M. H., Hegazi A., Gad N., Sayed Ahmed, G. S.: 2011. Reducing N Doses by Enhancing Nodule Formation in Groundnut Plants via Co and Mo. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5. 12. 2568-2577.
144. Momcilović B.: 1999. A case report of acute human molybdenum toxicity from a dietary molybdenum supplement – a new member of the "*Lucor metallicum*" family. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 50. 3. 289-297.
145. MSZ 21470-50: 2006. Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Az összes és az oldható toxikuselem-, a nehézfém- és a króm(VI)tartalom meghatározása. Magyar Szabványügyi Testület. Budapest.
146. MSZ 6830/43-1989 - A nitrit- és nitráttartalom meghatározása. Magyar Szabványügyi Testület. Budapest.
147. Nasreen S., Farid A. T. M.: 2003. Nutrient uptake and yield of garden pea as influenced by various fertilizer treatments. *Thai Journal of Agricultural Science*, 36. 2. 185-192.
148. Nath R.: 2000. *Health and Disease Role of Micro Nutrients and Trace Elements*. APH Publishing Corporation, New Delhi, pp. 200.
149. Nayyar V. K., Randhawa N. S., Pasricha N. S.: 1977. Molybdenum accumulation in forage crops part 3 screening of forage species for their capacity to accumulate molybdenum on molybdenum toxic soils. *Journal of Research Punjab Agricultural University*, 14. 4. 406-410.

150. Ndakidemi P. A., Bambara S., Makoi J. H. J. R.: 2011. Micronutrient uptake in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by Rhizobium inoculation, and the supply of molybdenum and lime. Plant Omics Journal, 4. 1. 40-52.
151. Osman K. T.: 2013. Soils: Principles, Properties and Management. Springer Science & Business Media, Dordrecht, The Netherlands, pp. 274.
152. Pais I.: 1980. A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 138.
153. Pal U. R., Gossett D. R., Sims J. L., Leggett J. E.: 1976. Molybdenum and sulfur nutrition effects on nitrate reduction in Burley tobacco. Canadian Journal of Botany, 54. 17. 2014-2022.
154. Parker M. B., Harris H. B.: 1977. Yield and leaf nitrogen of nodulating and nonnodulating soybeans as affected by nitrogen and molybdenum. Agronomy Journal, 69. 551-554.
155. Pasieczna A.: 2012. Molybdenum and tin in soils of Poland. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 450. 75-82.
156. Pasricha N. S., Randhawa N. S.: 1972. Interaction effect of sulphur and molybdenum on the uptake and utilization of these elements by raya (*Brassica juncea* L.). Plant and Soil, 37. 215-220.
157. Patrick N., Bambara S., Makoi J.: 2011. Micronutrient uptake in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by Rhizobium inoculation, and the supply of molybdenum and lime. Plant Omics, 4. 1. 40-52.
158. Pau R. N.: 2005. Molybdenum Uptake and Homeostasis. pp. 225-256. In: Klipp W., Masepohl B., Gallon J. R., Newton W. E. (eds): II. Nitrogen Fixation: Origins, Applications, and Research Progress, Springer Netherlands.
159. Pelsy F., Caboche M.: 1992. Molecular genetics of nitrate reductase in higher plants. Advances in Genetics, 30. 1-40.
160. Peoples M. B., Craswell E. T.: 1992. Biological nitrogen fixation: investments, expectations and actual contributions to agriculture. Plant Soil, 141. 13-39.
161. Pessoa A. C. S., Ribeiro A. C., Chagas J. M., Cassini S. T. A.: 2000. Molybdenum leaf concentration and nutrient accumulation by common beans "Ouro Negro" in response to leaf molybdenum application. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 24. 75-84.

162. Rabbi A. K. M. Z., Paul A. K., Sarker J. R.: 2011. Effect of Nitrogen and Molybdenum on the Growth and Yield of Garden Pea (*Pisum sativum* L.), International Journal of Bio-Resource and Stress Management, 2. 2. 230-235.
163. Rajagopalan K. V., Johnson J. L.: 1992. The pterin molybdenum cofactors. Journal of Biological Chemistry, 267. 10199-10202.
164. Rajagopalan K. V.: 1988. Molybdenum: An Essential Trace Element in Human Nutrition. Annual Review of Nutrition, 8. 401-427.
165. Ráthonyi G., Várallyai L., Kovács B.: 2010. Molibdén vizsgálata a táplálékláncban statisztikai módszerekkel. Acta Agraria Kaposváriensis, 14. 3. 323-333.
166. Reddy K. J., Munn L. C., Wang L.: 1997. Chemistry and mineralogy of molybdenum in soils. pp. 4-22. In: Gupta U. C. (ed.): Molybdenum in agriculture, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 276.
167. Reilly C.: 2002. Metal Contamination of Food: Its Significance for Food Quality and Human Health. Third Edition. Blackwell Science Ltd., Oxford, United Kingdom, pp. 288.
168. Reilly C.: 2004. The Nutritional Trace Metals. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, United Kingdom, pp. 356.
169. Reisenauer H. M., Tabikh A. A., Stout P. R.: 1962. Molybdenum reactions with soils and hydrous oxides of iron, aluminum and titanium. Proceedings – Soil Science Society of America, 26. 23-27.
170. Reiss J., Christensen E., Dorche C.: 1999. Molybdenum cofactor deficiency: First prenatal genetic analysis. Prenatal Diagnosis, 19. 386-388.
171. Reiss J.: 2000. Genetics of molybdenum cofactor deficiency. Human Genetics, 106. 157-163.
172. Robb D. A., Pierpoint W. S.: 1983. Metals and micronutrients: uptake and utilization by plants. Academic Press, London, pp. 341.
173. Rosales E. P. M. F., Iannone M., Groppa D. M., Benavides P.: 2011. Nitric oxide inhibits nitrate reductase activity in wheat leaves. Plant Physiology and Biochemistry, 49. 124-130.
174. Saji V. S., Lee C. W.: 2012. Molybdenum, molybdenum oxides, and their electrochemistry. Chem Sus Chem, 5. 7. 1146-1161.
175. Salman M. S., Ackerley C., Senger C., Becker L.: 2002. New insights into the neuropathogenesis of molybdenum cofactor deficiency. Canadian Journal of Neurological Sciences, 29. 91-96.

176. Sanchez-Echaniz J., Benito-Fernandez J., Mintegui-Raso S.: 2001. Methemoglobinemia and consumption of vegetables in children. *Pediatrics*, 107. 1024-1028.
177. Sardesai V. M.: 1993. Molybdenum: an essential trace element. *Nutrition in Clinical Practice*, 8. 6. 277-281.
178. Sarkar B.: 2002. *Heavy Metals in the Environment*. Marcel Dekker Inc., New York, Basel, pp. 712.
179. Sárvári É.: 2013. Nitrogén- és kénautotrófia. In: Fodor F. (szerk.) *A növényi anyagcsere élettana*. ELTE TTK Biológiai Intézet, pp. 371.
180. Schalscha E. B., Morales M., Pratt P. F.: 1987. Lead and molybdenum in soils and forage near an atmospheric source. *Journal of Environmental Quality*, 16. 4. 313-315.
181. Schwarz G., Mendel R. R., Ribbe M. W.: 2009. Molybdenum cofactors, enzymes and pathways. *Nature*, 460. 839-847.
182. Seefeldt L. C., Hoffman B. M., Dean D. R.: 2009. Mechanism of Mo-Dependent Nitrogenase. *Annual Review of Biochemistry*, 78. 701-722.
183. Seifert M., Dorn W., Müller R., Holzinger S., Anke M.: 2009. The biological and toxicological importance of molybdenum in the environment and in the nutrition of plants, animals and man: Part III. Molybdenum content of the food. *Acta Alimentaria*, 38. 4. 471-481.
184. Seo M., Akaba S., Oritani T., Delarue M., Bellini C., Caboche M., Koshida T.: 1998. Higher activity of an aldehyde oxidase in the auxin-overproducing superroot mutant of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology*, 116. 687-693.
185. Seo M., Peeters A. J., Koiwai H., Oritani T., Marion-Poll A., Zeevaert J. A. D., Koornneef M., Kamiya Y., Koshida T.: 2000. The *Arabidopsis* aldehyde oxidase 3(AAO3) gene product catalyzes the final step in abscisic acid biosynthesis in leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 97. 12908-12913.
186. Sharma C. P., Chatterjee C.: 1997. Molybdenum availability in alkaline soils. pp. 131-149. In: Gupta U. C. (ed.): *Molybdenum in agriculture*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 276.
187. Shil N. C., Noor S., Hossain M. A.: 2007. Effects of Boron and Molybdenum on the Yield of Chickpea. *Journal of Agriculture and Rural Development*, 5. 1/2. 17-24.
188. Shukla P., Pathak A. N.: 1973. Effect of molybdenum, phosphorus and sulphur on the yield and composition of berseem in acid soil. *Indian Society of Soil Science*, 21. 187-192.

189. Silva E. B., Santos S. R., Fonseca F. G., Tanure L. P. P., Freitas J. P. X.: 2012. Foliar application of molybdenum in irrigated common bean cultivated in the Northern Minas Gerais, Brazil. *Bioscience Journal*, 28. 64-71.
190. Simon L.: 1999. Fitoremediáció. In: Simon L. (szerk.): Talajszennyeződés, talajtisztítás. Környezetügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató. 5. kötet. Környezetgazdálkodási Intézet, Budapest, 221. p.
191. Singh M., Kumar V.: 1979. Sulfur, phosphorus, and molybdenum interactions on the concentration and uptake of molybdenum in soybean plants (*Glycine max*). *Soil Science*, 127. 307-312.
192. Singh R. M., Jain T. C.: 1968. Effect of phosphate and molybdate on uptake of N and P by Russian giant cowpea. *Annals of Arid Zone*, 7. 140-146.
193. Škarpa P., Kunzová E., Zukalová H.: 2013. Foliar fertilization with molybdenum in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant, Soil and Environment*, 59. 4. 156-161.
194. Smith K. S., Balistreri L. S., Smith S. S., Severson R. C.: 1997. Distribution and mobility of molybdenum in the terrestrial environment. pp. 23-46. In: Gupta U. C. (ed.): *Molybdenum in agriculture*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 276.
195. Srivastava P. C., Gupta U. C.: 1996. *Trace Elements in Crop Production*. NH: Science Publishers, Lebanon, pp. 356.
196. Srivastava P. C.: 1997. Biochemical significance of molybdenum in crop plants. pp. 47-70. In: Gupta U. C. (ed.): *Molybdenum in agriculture*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 276.
197. Steinberg R. A.: 1936. Relation of accessory growth substances to heavy metals, including molybdenum, in the nutrition of *Aspergillus niger*. *Journal of Agricultural Research*, 52. 439-448.
198. Steiner F., Zoz T.: 2015. Foliar application of molybdenum improves nitrogen uptake and yield of sunflower. *African Journal of Agricultural Research*, 10. 17. 1923-1928.
199. Stojek M.: 2013. The concentration of molybdenum and copper in rocks, soils and plants in the area of Jablonki (Eastern Beskids Mts.). *Environmental Protection and Natural Resources*, 24. 3. 13-17.
200. Sullivan J. B., Krieger G. R.: 1992. *Hazardous materials toxicology: Clinical Principles of Environmental Health*. Williams and Wilkins, Baltimore, pp. 1211.
201. Sun X., Hu C., Tan Q., Liu J., Liu H.: 2009. Effects of molybdenum on expression of cold-responsive genes in abscisic acid (ABA)-dependent and ABA

- independent pathways in winter wheat under low-temperature stress, *Annals of Botany*, 104. 345-356.
202. Szabó Gy.: 2000. Talajok és növények nehézfém tartalmának földrajzi vizsgálata egy bükkaljai mintaterületen. *Studia Geographica*. Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 144.
 203. Szabó S. A., Regiusné Mócsényi Á., Győri D., Szentmihályi S.: 1987. Mikroelemek a mezőgazdaságban I. (Esszenciális mikroelemek). Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 234.
 204. Takács S.: 1992. Környezet, ember, mikroelemek. Triorg Kft., Budapest, pp. 205.
 205. Tanner P. D.: 1978. Relations of sorption of molybdate and phosphate by clays and clay loams to soil pH and other chemical factors. *Rhodesian Journal of Agricultural Research*, 16. 31-41.
 206. Taylor I. B., Linforth R. S. T., Al-Naieb R. J., Bowman W. R., Marples B. A.: 1988. The wilted tomato mutants *flacca* and *sitiens* are impaired in the oxidation of ABA-aldehyde to ABA. *Plant Cell and Environment*, 11. 739-745.
 207. Toledo M. Z., Garcia R. A., Pereira M. R. R., Boaro C. S. F., Lima G. P. P.: 2010. Nodulation and nitrate reductase activity affected by molybdenum application in soybean. *Bioscience Journal*, 26. 858-864.
 208. Tsongas T. A., Meglen R. R., Walravens P. A., Chappell W. R.: 1980. Molybdenum in the diet: An estimate of average daily intake in the United States. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 33. 1103-1107.
 209. Tsurusaki K., Takeda K., Sakurai N.: 1997. Conversion of indole-3-acetaldehyde to indole-3-acetic acid in cell-wall fraction of barley (*Hordeum vulgare*) seedlings. *Plant and Cell Physiology*, 38. 268-273.
 210. Turnlund J. R., Keyes W. R., Pfeiffer G. L.: 1993. A stable isotope study of the dietary molybdenum requirement of young men. pp. 189-193. In: Anke A., Meissner D., Mills C. F. (eds.): *Trace Elements in Man and Animals*. Verlag Media Touristik, Gersdorf.
 211. Turnlund J. R.: 2002. Molybdenum Metabolism and Requirements in Humans. In: Sigel A., Sigel H. (eds): *Metal ions in biological systems*. Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 856.
 212. Valenciano J. B., Boto J. A., Marcelo V.: 2011. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) response to zinc, boron and molybdenum application under field conditions. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 39. 4. 217-229.

213. Van Gennip A. H., Abeling N. G., Stroomer A. E. M., Overmars H., Bakker H. D.: 1994. The detection of molybdenum cofactor deficiency: Clinical symptomatology and urinary metabolite profile. *Journal of Inherited Metabolic Disease*, 17. 142-145.
214. Van Rensburg S. J., Hall J. M., Du Bruyn D. B.: 1985. Effects of various dietary staples on esophageal carcinogenesis induced in rats by subcutaneously administered N-nitrosomethylbenzylamine. *Journal of the National Cancer Institute*, 75. 561-566.
215. Vandecasteele C., Vanhoe H., Dams R., Versieck J.: 1990. Determination of trace elements in human serum by inductively coupled plasma–mass spectrometry. Comparison with nuclear analytical techniques. *Biological Trace Element Research*, 26-27. 553-560.
216. Vieira R. F., Cardoso E. J. B. N., Vieira C., Cassini S. T. A.: 1998. Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. *Journal of Plant Nutrition*, 21. 169-180.
217. Vyskocil A., Viau C.: 1999. Assessment of molybdenum toxicity in humans. *Journal of Applied Toxicology*, 19. 185-192.
218. Walker-Simmons M., Kudrna D. A., Warner R. L.: 1989. Reduced accumulation of ABA during water stress in a molybdenum cofactor mutant of barley. *Plant Physiology*, 90. 728-733.
219. Wang Z. Y., Tang Y. L., Zhang F. S.: 1999. Effect of molybdenum on growth and nitrate reductase activity of winter wheat seedlings as influenced by temperature and nitrogen treatments. *Journal of Plant Nutrition*, 22. 2. 387-395.
220. Ward G. M. 1978. Molybdenum toxicity and hypocuprosis in ruminants: a review. *Journal of Animal Science*, 46. 4. 1078-1085.
221. Weir R. G., Creswell G. C.: 1993. *Plant Nutrient Disorders 3–Vegetable Crops*. Inkata Press, Melbourne, pp. 105.
222. Williams R. J. P., Frausto da Silva J. J. R.: 2002. The involvement of molybdenum in life. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 292. 293-299.
223. Wright R. O., Lewander W. J., Woolf A. D.: 1999. Methemoglobinemia: etiology, pharmacology, and clinical management. *Annals of Emergency Medicine*, 34. 5. 646-656.
224. Xu N., Braidia W., Christodoulatos C., Chen J.: 2013. A Review of Molybdenum Adsorption in Soils/Bed Sediments: Speciation, Mechanism, and Model Applications. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 22. 8. 912-929.

225. Yaneva I. A., Baydanova V. D., Vankova–Radeva R. V.: 2000. Nitrate reductase activation state in leaves of molybdenum–deficient winter wheat. *Journal of Plant Physiology*, 157. 495-501.
226. 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.
227. Yang C. S.: 1980. Research on esophageal cancer in China: a review. *Cancer Research*, 40. 2633-2644.
228. Ysart G., Miller P., Crews H., Robb P., Baxter M., De L'Argy C., Lofthouse S., Sargent C., Harrison N.: 1999. Dietary exposure estimates of 30 elements from the UK Total Diet Study. *Food Additives and Contaminants*, 16. 391-403.
229. Yu M., Hu C., Sun X., Wang Y.: 2010. Influences of Mo on nitrate reductase, glutamine synthetase and nitrogen accumulation and utilization in Mo-efficient and Mo-inefficient winter wheat cultivars. *Agricultural Sciences in China*, 9. 3. 355-361.
230. Zaijun L., Yuling Y., Jian T., Jiaomai P.: 2005. 9-(2,4-dihydroxyphenyl)-2,3,7-trihydroxyl-6-fluorone as analytical reagent for spectrophotometric determination of molybdenum in plant tissues. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16. 561-569.
231. Zakikhani H., Khanif Y. M., Anuar A. R., Radziah O., Soltangheisi A.: 2014a. Effects of Different Levels of Molybdenum on Uptake of Nutrients in Rice Cultivars. *Asian Journal of Crop Science*, 6. 236-244.
232. Zakikhani H., Khanif Y. M., Soltangheisi A.: 2014b. Effects of Molybdenum on Phosphorus Concentration in Rice (*Oryza sativa* L.). *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 8. 7. 689-691.
233. Zdunek-Zastocka E., Lips H. S.: 2003. Plant molybdoenzymes and their response to stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 25. 437-452.
234. Zhonghua M., Shengxiu L.: 2005. Effects of molybdenum on nitrate metabolism of winter wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 11. 2. 205-210.
235. Zimmer W., Mendel R.: 1999. Molybdenum metabolism in plants. *Plant Biology*, 1. 160-168.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet témavezetőmnek, **Dr. Kovács Béla** egyetemi tanárnak, hogy a kutatásom elvégzéséhez szükséges feltételeket biztosította számomra, valamint értékes szakmai tanácsaival, iránymutató javaslataival, biztató szavaival segítette az értekezés elkészülését.

Köszönöm opponenseimnek, **Balláné Dr. Kovács Andrea** egyetemi docensnek és **Dr. Tanács Lajos** professzor emeritusnak a disszertáció elkészítésében nyújtott segítségüket és áldozatos munkájukat.

Köszönettel tartozom **Balláné Dr. Kovács Andrea** egyetemi docensnek, az Agrokémiai és Talajtani Intézet intézetvezetőjének, valamint **Dr. Veres Szilviának**, a Mezőgazdasági Növénytan Növényélettani és Biotechnológiai Tanszék egyetemi docensének, hogy a kísérleteim kivitelezéséhez szükséges körülményeket biztosították számomra, valamint köszönettel tartozom a kísérletek beállításánál nyújtott szakmai segítségükért.

Köszönettel tartozom továbbá az Élelmiszertudományi Intézet dolgozóinak, **Andrási Dávidnak**, **Jánószky Mihálynak**, **Nyeste Erikának**, valamint **Soós Áron Ph.D.** hallgatónak, illetve a Műszerközpont vegyésztechnikusának, **Pákozdy Hajnalkának** a kísérleti minták elemanalitikai mérésében nyújtott segítségükért.

Köszönettel tartozom Ph.D. társaimnak, **Várallyay Szilviának** és **Soós Áronnak**, a kutatómunkám során nyújtott biztatásukért, gyakorlatias és készséges segítségükért.

Köszönöm **Férjemnek**, **Szüleimnek**, **Testvéreimnek** az évek alatt nyújtott segítségüket, megértésüket, türelmüket és önzetlen támogatásukat.

Köszönöm!



EMBERI ERŐFORRÁSOK
MINISZTERIUMA

AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT

PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



Nyilvántartási szám: DEENK/323/2016.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Bódi Éva
Neptun kód: CF1AVN
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10036557

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (6)

1. Várallyay, S., Veres, S., Soós, Á., **Bódi, É.**, Kovács, B.: Arzén kezelés hatása kukorica növény tápanyagfelvételére rhizoboxos nevelési körülmények között.
In: Georgikon Napok konferenciakötet [elektronikus dokumentum] : 2015-ös előadások, Pannon Egyetem, [Keszthely], 458-464, 2015. ISBN: 9789639639829
2. Kovács, B., András, D., **Bódi, É.**: Molibdén, valamint szelén kezelés hatása búza- és borsócsírák elemtartalmára.
In: A fenntartható növénytermesztés fejlesztési lehetőségei : Prof. Dr. Sárvári Mihály 70 éves. Szerk.: Pepó Péter, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 126-137, 2014. ISBN: 9789634737414
3. **Bódi, É.**, Peles, F., András, D., Fekete, I., Kovács, B.: Étkezési csírák beltartalmi értéknek növelése molibdén, illetve szelén dúsítással, valamint mikrobiológiai vizsgálatuk.
In: Alap és alkalmazott kutatások eredményei a növénytudományokban. Szerk.: Szabó A, [s.n.], [Debrecen], 142-148, 2012. ISBN: 9786155183171
4. **Bódi, É.**, Lévai, L., Tarsoly, M., Nagy, K., Gajdos, É., Bákon, N., Györi, Z., Kovács, B.: A molibdénellátás és a nitrátredukció közötti összefüggés vizsgálata tápoldatos és rhizoboxos kísérletben.
In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Szerk.: Szabó Béla, Tóth Csilla, Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza, 199-204, 2010. ISBN: 9789639909571
5. Tarsoly, M., Lévai, L., **Bódi, É.**, Nagy, K., András, D., Veres, S., Györi, Z., Kovács, B.: Arzén vegyületek hatása a laboratóriumi körülmények között nevelt kukorica és napraforgó növényekre.
In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Szerk.: Szabó Béla, Tóth Csilla, Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza, 205-210, 2010. ISBN: 9789639909571

Cím: 4032 Debrecen, Egyetem tér 1. □ Postacím: 4010 Debrecen, Pf. 39. □ Tel.: (52) 410-443
E-mail: publikaciok@lib.unideb.hu □ Honlap: www.lib.unideb.hu



6. Nagy, K., Lévai, L., **Bódi, É.**, Tarsoly, M., Tóth, B., Marozsán, M., Győri, Z., Kovács, B.: Kukorica és napraforgó növények vizsgálata szelénkezelés hatására.
In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Szerk.: Szabó Béla, Tóth Csilla, Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza, 211-216, 2010. ISBN: 9789639909571

Idegen nyelvű, hazai könyvrészletek (4)

7. Garousi, F., Veres, S., **Bódi, É.**, Várallyay, S., Kovács, B.: Changes of pH during uptaking of selenate and selenite by sunflower plants growing in nutrient solution.
In: XXXV. Óvári Tudományos Nap / Nyugat-magyarországi Egyetem, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Mosonmagyaróvár, 327-331, 2014. ISBN: 9789639941940
8. Várallyay, S., Kovács, B., Garousi, F., **Bódi, É.**, Veres, S.: Effect of different arsenic treatments on sunflower and maize plant production.
In: XXXV. Óvári Tudományos Nap / Nyugat-magyarországi Egyetem, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Mosonmagyaróvár, 415-419, 2014. ISBN: 9789639941940
9. **Bódi, É.**, Veres, S., Garousi, F., Várallyay, S., Kovács, B.: Growth of maize and sunflower seedlings by effect of molybdenum treatments.
In: XXXV. Óvári Tudományos Nap / Nyugat-magyarországi Egyetem, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Mosonmagyaróvár, 297-302, 2014. ISBN: 9789639941940
10. Kovács, B., Lévai, L., **Bódi, É.**, Puskás-Preszner, A., Hódi, K., Czipa, N., Győri, Z.: Effect of changing of molybdenum content in mineral solution and in rhizobox on element uptake by various plants.
In: Trace elements in the food chain. Eds.: Szilágyi Mihály, Szentmihályi Klára, HAS, Budapest, 362-366, 2009. ISBN: 9789637067198

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (6)

11. Várallyay, S., Veres, S., Garousi, F., **Bódi, É.**, Kovács, B.: Arzénkezelés hatása kukorica és napraforgó csíranövények fiziológiai paramétereire.
Agrártud. közl. 64, 81-84, 2015. ISSN: 1587-1282.
12. **Bódi, É.**, Veres, S., András, D., Garousi, F., Várallyay, S., Kovács, B.: Molibdénrel kezelt kukorica és napraforgó növények vizsgálata rizoboxos kísérletben.
Agrártud. közl. 64, 11-14, 2015. ISSN: 1587-1282.
13. **Bódi, É.**, Peles, F., András, D., Fekete, I., Kovács, B.: Funkcionális élelmiszerek előállítása étkezési csírákból molibdénrel, illetve szelén kezeléssel.
Növénytermelés. 61 (4), 5-34, 2012. ISSN: 0546-8191.
14. **Bódi, É.**, Lévai, L., Huzsvai, L., Kovács, B.: A molibdénellátás hatása kukorica csíranövényekre.
Növénytermelés. 60 (2), 5-29, 2011. ISSN: 0546-8191.



15. **Bódi, É.**, Peles, F., Kovács, B.: Búza- és borsócsírák molibdénrel, illetve szelénrel történő kezelése, valamint mikrobiológiai vizsgálatuk.
Tudományos Diákköri Közlemények 1, 31-42, 2011.
16. **Bódi, É.**, Lévai, L., Huzsvai, L., Kovács, B.: Növekvő molibdén-koncentráció hatása a különböző nitrogénformákra, valamint a molibdén nitrátasszimilációban betöltött szerepe.
Növénytermelés. 60 (3), 25-50, 2011. ISSN: 0546-8191.
- Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)
17. Várallyay, S., **Bódi, É.**, Garousi, F., Veres, S., Kovács, B.: Effect of arsenic on dry weight and relative chlorophyll content in greeningmaize and sunflower tissues.
J. Microbiol. Biotech. Food Sci. 4 (3), 167-169, 2015. ISSN: 1338-5178.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15414/jmbfs.2015.4.special3.167-169>
18. Kovács, B., Puskás-Preszner, A., Huzsvai, L., Lévai, L., **Bódi, É.**: Effect of molybdenum treatment on molybdenum concentration and nitrate reduction in maize seedlings.
Plant Physiol. Bioch. 96, 38-44, 2015. ISSN: 0981-9428.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.07.013>
IF: 2.928
19. **Bódi, É.**, Veres, S., Garousi, F., Várallyay, S., Kovács, B.: Effects of molybdenum treatments on maize and sunflower seedlings.
World Academy of Science, Engineering and Technology : International Journal of Biological, Food, Veterinary and Agricultural Engineering. 5 (9), 375-378, 2015. ISSN: 2010-376X.
20. Kovács, B., **Bódi, É.**, Nagy, K., Tóth, B., Fekete, I., András, D.: Effect of selenium and molybdenum content in rhizoboxes on element uptake of maize and sunflower.
Univ. Agron. Sci. Vet. Med. Bucharest Sci. P. Ser. E. Land Reclam. Earth Observ. Surv. Environ. Eng. 2, 23-32, 2013. ISSN: 2285-6064.





További közlemények

Magyar nyelvű könyvek (1)

21. Szerk. **Bódi, É.**, Fekete, I., Kovács, B.: Fiatal kutatók az egészséges ételkészítésért: tudományos ülés : Debrecen, 2013. február 19. DE AGTC MÉKK Hankóczy J. Doktori Isk., Debrecen, [7], 286 p., 2013. ISBN: 9789634736011

Magyar nyelvű könyvrészek (1)

22. Fekete, I., Rakonczás, N., András, D., **Bódi, É.**, Kovács, B.: A különböző szőlőfajták hatása a Cseresznye fűszere mustjainak makroelem tartalmára.
In: Alap és alkalmazott kutatások eredményei a növénytudományokban. Szerk.: Szabó A, [s.n.], [Debrecen], 165-173, 2012. ISBN: 9786155183171

Idegen nyelvű, külföldi könyvrészek (5)

23. Kovács, B., **Bódi, É.**, Soós, Á., András, D.: Application of ICP-MS in various fields of research.
In: 28th Indian Society for Mass Spectrometry Symposium cum Workshop on Mass Spectrometry. Ed.: Suresh K. Aggarwal, P. G. Jaisan, Arnab Sarkar, Prudent Arts & Fab Private Limited, Mumbai, 69-80, 2014. ISBN: 9788190444262
24. **Bódi, É.**, András, D., Kovács, B.: Selenium speciation analysis of selenium-enriched wheat sprouts.
In: 28th Indian Society for Mass Spectrometry Symposium cum Workshop on Mass Spectrometry. Ed.: Suresh K. Aggarwal, P. G. Jaisan, Arnab Sarkar, Prudent Arts & Fab Private Limited, Mumbai, 220-223, 2014. ISBN: 9788190444262
25. Gajdos, É., Veres, S., Lévai, L., Bákonyi, N., Tóth, B., **Bódi, É.**, Marozsán, M.: Effects of bacteria containing biofertilizer on Cd-tolerance of some crop plants.
In: 18th Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers, More Sustainability In Agriculture: New Fertilizers And Fertilization Management / by P. Sequi, D. Ferri, E. Rea, F. Montemurro, A. V. Vonella, F. Formnaro, Publishing House "Fertilitas Agrorum", Rome, 67-73, 2009, (ISSN 1971-0755)
26. Tóth, B., Bákonyi, N., Gajdos, É., **Bódi, É.**, Marozsán, M., Veres, S., Lévai, L.: Effects of cement and quicklime powders on the growth of corn and sunflower seedlings.
In: 18th Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers, More Sustainability In Agriculture: New Fertilizers And Fertilization Management / by P. Sequi, D. Ferri, E. Rea, F. Montemurro, A. V. Vonella, F. Formnaro, Publishing House "Fertilitas Agrorum", Rome, 122-126, 2009, (ISSN 1971-0755) ISBN: 19710755



27. Bákonýi, N., Tóth, B., Gajdos, É., **Bódi, É.**, Marozsán, M., Veres, S., Lévai, L.: Role of biofertilizers in plant nutrition.
In: 18th Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers : More Sustainability In Agriculture: New Fertilizers And Fertilization Management / by P Sequi, D. Ferri, E. Rea, F. Montemurro, A. V. Vonella, F. Formaro, Publishing House "Fertilitas Agrorum", Rome, 17-22, 2009, (ISSN 1971-0755) ISBN: 19710755

Magyar nyelvű közlemények hazai folyóiratban (4)

28. **Bódi, É.**, András, D., Kovács, B.: Szelénrel dúsított étkezési csírák szelénspeciációs vizsgálata.
Agrártud. közl. 56, 23-28, 2014. ISSN: 1587-1282.
29. Fekete, I., Rakonczás, N., András, D., **Bódi, É.**, Szilágyi, S., Kovács, B.: A különböző szőlő alanyfajták hatása a szőlőbogyó (must, mag) As, Cu, Co és Zn tartalmára.
Agrártud. közl. 52, 39-44, 2013. ISSN: 1587-1282.
30. **Bódi, É.**, Gálné Reményik, J., Nemes, A., Homoki, J., Peles, F., Fekete, I., Kovács, B.: Szelénrel dúsított étkezési csírák antioxidáns aktivitásának meghatározása, valamint mikrobiológiai vizsgálataik.
Agrártud. közl. 52, 25-30, 2013. ISSN: 1587-1282.
31. Fekete, I., Rakonczás, N., András, D., **Bódi, É.**, Kovács, B.: A különböző szőlőalanyfajták hatása a Csereszegi fűszeres mustjainak ásványi anyag tartalmára.
AGTC E-Journal. 1, 1-12, 2012. ISSN: 2063-6423.

Idegen nyelvű közlemények hazai folyóiratban (3)

32. Garousi, F., Veres, S., **Bódi, É.**, Várallyay, S., Kovács, B.: Assessment and comparison of selenium-enriched maize with sodium selenite and sodium selenate.
Agrártud. közl. 68, 11-15, 2016. ISSN: 1587-1282.
33. **Bódi, É.**, Fekete, I., András, D., Kovács, B.: The role of selenium-enriched food sprouts with respect to our daily selenium needs.
Eur. chem. bull. 2 (1), 46-48, 2013. ISSN: 2063-5346.
34. Fekete, I., Rakonczás, N., András, D., **Bódi, É.**, Kovács, B.: Effects of various grape rootstocks on macro and microelement uptake of 'Csereszegi Fűszeres' grape cultivar.
Eur. Chem. Bull. 12 (1), 524-527, 2012. ISSN: 2063-5346.

Idegen nyelvű közlemények külföldi folyóiratban (7)

35. Garousi, F., Veres, S., **Bódi, É.**, Várallyay, S., Kovács, B.: Effect of selenite and selenate uptake by maize plants on specific leaf area.
World Academy of Science, Engineering and Technology : International Journal of Biological, Food, Veterinary and Agricultural Engineering. 5 (9), 379-382, 2015. ISSN: 2010-376X.



36. Garousi, F., Kovács, B., **Bódi, É.**, Várallyay, S., Veres, S.: Physiological reactions of sunflower plants to different spices of selenium.
Bull. of Univ. of Agr. Sci. and Vet. Med. 72 (2), 403-408, 2015. ISSN: 1843-5246.
37. Garousi, F., Kovács, B., Várallyay, S., **Bódi, É.**, Veres, S.: Relative chlorophyll content changes during uptaking of selenite and selenate by maize plants grown in nutrient solution.
J. Microbiol. Biotech. Food Sci. 4 (3), 44-47, 2015. ISSN: 1338-5178.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15414/jmbfs.2015.4.special3.44-47>
38. Garousi, F., Veres, S., **Bódi, É.**, Várallyay, S., Kovács, B.: Role of selenite and selenate uptake by maize plants in chlorophyll A and B content.
World Academy of Science, Engineering and Technology : International Journal of Biological, Food, Veterinary and Agricultural Engineering. 9 (6), 549-552, 2015. ISSN: 2010-376X.
39. Fekete, I., Kovács, B., András, D., **Bódi, É.**, Rakonczás, N.: Effect of the different grape rootstocks on berry skin B, Cu, Fe, Mn and Zn contents of Cserszegi fűszeres cultivar.
Sci. P. Ser. B. Horticult. 57, 55-60, 2013. ISSN: 2285-5653.
40. **Bódi, É.**, Gálné Remenyik, J., Nemes, A., Homoki, J., Peles, F., Fekete, I., Kovács, B.: The determination of antioxidant activity of selenium-enriched wheat and pea sprouts, as well as their microbiological analysis.
Scientific papers. Series A., Agronomy. 56., 196-201, 2013. ISSN: 2285-5785.
41. Burján, Z., **Bódi, É.**, Kovács, B.: The effect of different regions and NPK fertilizer on protein and sulphur content of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) grains.
Scientific papers. Series A., Agronomy. 56, 202-205, 2013. ISSN: 2285-5785.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (9)

42. Várallyay, S., Veres, S., Soós, Á., **Bódi, É.**, Kovács, B.: Arzén kezelés hatása kukorica növény tápanyagfelvételére rhizoboxos nevelési körülmények között.
In: LVII. Georgikon Napok = 57th Georgikon Scientific Conference : Kivonat-kötet : Programfüzet, valamint az elhangzó és poszter előadások rövid kivonatainak gyűjteménye : [agrárgazdaság a növekedéskor után] : [2015. október 1-2., Keszthely]. Szerk.: Nagy Zita Barabara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 123, 2015. ISBN: 9789639639812
43. Várallyay, S., Veres, S., **Bódi, É.**, Garousi, F., Kovács, B.: Hidropónikus körülmények között nevelt napraforgó tápoldatának pH-érték változása különböző arzén kezelések hatására.
In: Tavasz Szél Absztraktkötet 2015 : Absztraktkötet. Szerk.: Keresztes Gábor, Publio Kiadó, Budapest, 44, 2015. ISBN: 9789633977026
44. **Bódi, É.**, Kovács, B.: Tartamkísérletben alkalmazott molibdén-kezelés hatása a spenót és a sóska molibdén felvételére.
In: XI. Jedlik Ányos Szakmai Napok Konferenciakötet / fel. szerk. Zsirka Balázs, Pannon Egyetem Jedlik Ányos Szakkollégium, Veszprém, 82, 2014.



45. Fekete, I., Rakonczás, N., András, D., **Bódi, É.**, Kovács, B.: A különböző szőlőfajták hatása a 'Cserszegi Fűszeres' héj és mag makroelem tartalmára.
In: XIX. Ifjúsági Tudományos Fórum / Pannon Egyetem Georgikon Kar, Pannon Egyetem, Keszthely, 1-6, 2013. ISBN: 9789639639515
46. **Bódi, É.**, Gálné Remenyik, J., Nemes, A., Homoki, J., Fekete, I., Kovács, B.: A szelénkezelés és az antioxidáns aktivitás közötti kapcsolat vizsgálata étkezési csírák esetén.
In: XIX. Ifjúsági Tudományos Fórum, [s.n.], [Keszthely], 1-6, 2013.
47. **Bódi, É.**, András, D., Fekete, I., Kovács, B.: Különböző extrakciós módszerek összehasonlítása szelénrel dúsított étkezési csírák esetén.
In: XXXVI. Kémiai Előadói Napok : Program és előadás-összefoglalók. Szerk.: Endrődi Balázs, Laufer Noémi, Szegedi Akadémiai Bizottság Székháza, Szeged, 249, 2013. ISBN: 9789633151457
48. **Bódi, É.**: A molibdénellátás és a nitrátredukció közötti összefüggés vizsgálata.
In: XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferencia : Agrártudományi Szekció : Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 2011. április 6-8. : konferencia-kötet : program és előadás összefoglalók. Szerk.: Pál László, Farkas Róbert, Kodrik László, PE Georgikon Kar, Keszthely, 135, 2011. ISBN: 9789639639416
49. **Bódi, É.**: A molibdénellátás és a nitrátredukció közötti összefüggés vizsgálata.
In: XII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia Konferencia-kötet. Szerk.: Szarka László, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 236-237, 2010. ISBN: 9789639883505
50. **Bódi, É.**: A molibdénellátás és a nitrátredukció közötti összefüggés vizsgálata.
In: XXIX. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Agrártudományi Szekció : előadás kivonatok. Szerk.: Falusi Eszter, Staszny-Havas Enikő, Jung Ivett, Bodnár Ákos, Szent István Egyetem Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 143, 2009. ISBN: 9789632690957

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (22)

51. Várallyay, S., Veres, S., Soós, Á., **Bódi, É.**, Kovács, B.: Effect of Different Arsenic Treatments on The Uptake of Ca, K, S, P And Mg by Maize Seedlings.
In: 1st Meeting of Young Researchers from V4 Countries. Book of Abstract. Ed.: Monika Wesolowska, University of Rzeszow, Rzeszow, 90, 2016.
52. **Bódi, É.**, Várallyay, S., Soós, Á., Kovács, B.: Effect of molybdenum treatment on the element content of maize and green pea in a long-term field experiment.
In: 1st Meeting of Young Researchers from V4 Countries : Book of Abstract. Ed.: Monika Wesolowska, University of Rzeszow, Rzeszow, 17, 2016.



53. Várallyay, S., Veres, S., **Bódi, É.**, Garousi, F., Andrási, D., Kovács, B.: Effect of arsenic treatment on elements contents of sunflower growing on nutrient solution.
World Academy of Science Engineering and Technology. Agricultural and Biosystems Engineering 2 (5), 465, 2015.
54. Várallyay, S., Kovács, B., **Bódi, É.**, Garousi, F., Veres, S.: Effect of different arsenic treatments on root growth of sunflower seedlings in rhizobox experiment.
World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Nutrition and Food Engineering 2 (6), 1, 2015.
55. **Bódi, É.**, Veres, S., Garousi, F., Várallyay, S., Kovács, B.: Effects of molybdenum treatments on maize and sunflower seedlings.
World Academy of Science, Engineering and Technology. Agricultural and Biosystems Engineering 2 (5), 516, 2015.
56. Kovács, B., **Bódi, É.**, Garousi, F., Várallyay, S., Soós, Á., Vágó, X., Andrási, D.: Problems and solutions in the application of ICP-MS for analysis of trace elements in various samples.
World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Nutrition and Food Engineering 2 (6), 1, 2015.
57. Kovács, B., **Bódi, É.**, Garousi, F., Várallyay, S., Andrási, D.: What are the problems in the case of analysis of selenium by inductively coupled plasma mass spectrometry in food and food raw materials?
World Academy of Science, Engineering and Technology. Agricultural and Biosystems Engineering 2 (5), 1, 2015.
58. Garousi, F., Veres, S., **Bódi, É.**, Várallyay, S., Kovács, B.: Changes of pH during uptaking of selenate and selenite by sunflower plants growing in nutrient solution.
In: XXXV. Óvári Tudományos Nap. A magyar és nemzetközi agrár- és élelmiszer-gazdaság lehetőségei. Szerk.: Schmidt Rezső, Bali Papp Ágnes, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Mosonmagyaróvár, 34, 2014. ISBN: 9789633341933
59. Várallyay, S., Kovács, B., Garousi, F., **Bódi, É.**, Veres, S.: Effect of different arsenic treatments on sunflower and maize plants production.
In: XXXV. Óvári Tudományos Nap. A magyar és nemzetközi agrár- és élelmiszer-gazdaság lehetőségei. Szerk.: Schmidt Rezső, Bali Papp Ágnes, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Mosonmagyaróvár, 21, 2014. ISBN: 9789633341933
60. **Bódi, É.**, Várallyay, S., Garousi, F., Kovács, B.: Effect of molybdenum treatment on the element uptake of spinach and garden sorrel in a long-term field experiment.
In: 14th International Nutrition and Diagnostics Conference : Book of Abstracts / A. Horna, Radanal Ltd., Prága, 167, 2014. ISBN: 9788073957766



61. **Bódi, É.**, Veres, S., Garousi, F., Várallyay, S., Kovács, B.: Growth of maize and sunflower seedlings by effect of molybdenum treatments.
In: XXXV. Óvári Tudományos Nap. A magyar és nemzetközi agrár- és élelmiszer-gazdaság lehetőségei. Szerk.: Schmidt Rezső, Bali Papp Ágnes, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Mosonmagyaróvár, 33, 2014. ISBN: 9789633341933
62. Várallyay, S., **Bódi, É.**, Garousi, F., Kovács, B.: Risk assessment of arsenic contamination.
In: 14th International Nutrition and Diagnostics Conference : Book of Abstracts. / A. Horna, Radanal Ltd., Prága, 166, 2014. ISBN: 9788073957766
63. Kovács, B., **Bódi, É.**, Peles, F., Andrási, D., Fekete, I., Borbélyné Varga, M.: Analyses of element contents and microbiological parameters of wheat- and pea-sprouts treated by molybdenum and selenium.
In: 9th International Symposium on Environmental Geochemistry, Aveiro, Portugal, July 15-21, 2012 : Book of Abstracts. Eds.: Eduardo Ferreira da Silva, Amélia Paula Reis, Carla Patinha, Eduarda Pereira, Sonia Rodrigues, PLM-Plural, S.A, Aveiro, 223, 2012. ISBN: 9789727893652
64. Fekete, I., Rakonczás, N., Andrási, D., Sipos, P., **Bódi, É.**, Kovács, B.: Analyses of potentially toxic elements in the different grape juices (musts) by inductively coupled plasma (ICP) techniques.
In: European Medical Students' Conference Abstract Book, University of Debrecen, Debrecen, 104, 2012.
65. Fekete, I., Rakonczás, N., Andrási, D., Sipos, P., **Bódi, É.**, Kovács, B.: Effects of the different grape rootstocks on the aluminum, copper, iron, manganese and zinc concentrations of the grape musts.
In: SESEH 2012 : 2012 Sino-European Symposium on Environment and Health : Book of Abstracts, Conference Programme / [ed. by National University of Ireland, National University of Ireland, Galway, Ireland, 78, 2012.
66. Fekete, I., Rakonczás, N., Andrási, D., **Bódi, É.**, Kovács, B.: Effects of various grape rootstocks on macro and micro element uptake of 'Cserszegi fűszeres' grape cultivar.
In: 4th International Symposium on Trace Elements in the Food Chain. Friends or Foes? TEFC 2012 15-17 November 2012 Hotel Visegrád, Visegrád, Hungary : Program : Abstracts, Szent István Egyetem, Visegrád, 57, 2012.
67. **Bódi, É.**, Peles, F., Fekete, I., Andrási, D., Kovács, B.: Improvement of nutritional value of food sprouts with enrichment of molybdenum and selenium, as well as their microbiological analysis.
In: SESEH 2012 : 2012 Sino-European Symposium on Environment and Health : Book of Abstracts, Conference Programme / [ed. by National University of Ireland, National University of Ireland, Galway, Ireland, 83, 2012.



68. **Bódi, É.**, Fekete, I., Andrási, D., Kovács, B.: The role of selenium-enriched food sprouts with respect to our daily selenium needs.
In: 4th International Symposium on Trace Elements in the Food Chain. Friends or Foes?
TEFC 2012 15-17 November 2012 Hotel Visegrád, Visegrád, Hungary : Program : Abstracts,
Szent István Egyetem, Visegrád, 58, 2012.
69. **Bódi, É.**, Peles, F., Fekete, I., Andrási, D., Kovács, B.: Uptake of selenite and selenate during germination of wheat and pea as well as the effect of treatments in their microbiological state.
In: EMESCO Abstract Book / publisher University of Debrecen, University of Debrecen,
Debrecen, 78, 2012.
70. Kovács, B., **Bódi, É.**, Peles, F., Puskás-Preszner, A., Andrási, D., Győri, Z.: Effect of molybdenum and selenium treatment on element contents of wheat- and pea-sprouts, as well as their microbiological analyses.
In: 12th International Symposium on Soil and Plant Analysis : Abstract Book. Ed.:
Mediterranean Agronomic Institute of Chania, Mediterranean Agronomic Institute of Chania,
Crete, Greece, 109, 2011.
71. Kovács, B., Lévai, L., **Bódi, É.**, Puskás-Preszner, A., Hódi, K., Czipa, N., Győri, Z.: Effect of changing of molybdenum content in mineral solution and in rhizobox on element uptake by various plants.
In: Trace elements in the food chain : Deficiency or excess of trace elements in the environment as a risk of health : 3rd International Symposium on Trace Elements in the Food Chain. Eds.: Szilágyi Mihály, Szentmihályi Klára, HAS, Budapest, 56, 2009.
72. Kovács, B., Lévai, L., **Bódi, É.**, Puskás-Preszner, A., Hódi, K., Győri, Z.: Effect of molybdenum and selenium content in mineral solution and soil on element uptake by various plants.
In: 3rd International IUPAC Symposium on Trace Elements in Food : Abstract Book. Eds.:
Francesco Cubadda, Federica Aureli, Silvia Ciardullo, Marina Patriarca, Istituto Superiore di Sanità, Roma, 135, 2009, (ISTISAN Congressi, ISSN 0393-5620 ; 09/C2)





Ismeretterjesztő, népszerűsítő cikkek (3)

73. **Bódi, É.**, Kovács, B.: Étkezési csírák az egészséges táplálkozásban.

Kulinárium. 11-12, 14-15, 2014. ISSN: 1786-4976.

74. **Bódi, É.**, Peles, F., Kovács, B.: Csírafogyasztás: a legegyszerűbb út az egészséges táplálkozáshoz.

Élelmezés. 3, 16-17, 2012. ISSN: 1785-3184.

75. **Bódi, É.**, Lévai, L., Kovács, B.: Milyen szerepet játszik a molibdén a növényeink nitráttartalmának csökkentésében?

Értékálló aranykorona. 10, 20, 2010. ISSN: 1586-9652.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 2,928

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 2,928

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2016.12.16.



NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Hankóczy Jenő Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 20.....

.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy **Bacsikainé Bódi Éva** doktorjelölt 2012-2016 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 20.....

.....
a témavezető aláírása