

## HIVATALOS BÍRÁLAT

Kovács Béla

### Molibdén és szelén vizsgálata tápoldat-növény és talaj-növény rendszerben cimű MTA doktori értekezéséről

#### AZ ÉRTEKEZÉS FORMAI KIVITELEZÉSE, FELÉPÍTÉSE, STÍLUSA, ADATAI

A benyújtott értekezés 10 fejezetből áll. Az első hét decimális számozással tagolt fejezete 143 oldal terjedelmű szöveges részből áll. A 28 oldal terjedelmű nyolcadik fejezetben már nem folytatódik a szöveges rész oldalszámozása, s 414 szakirodalmi forrásra hivatkozik a szerző, majd ezt követi az egy oldal terjedelmű köszönetnyilvánítás a 9. fejezetben, s a képeket tartalmazó kilenc oldal oldal terjedelmű melléklet a 10. fejezetben. Kovács Bélának PhD fokozata megszerzése után 165 tudományos közleménye jelent meg, melyekre 1161 független hivatkozást kapott, összesített impakt faktora 255,232. Az értekezés irodalomjegyzékében a saját kutatási eredményeit ismertető publikációk száma 24, ebből 15 elsőszerzős, 5 utolsó szerzős, 4 egyéb.

A dolgozat alábbiakban megadott fő fejezetei a tartalommal arányos, jól áttekinthető tagolást mutatnak, s ahol szükséges a molibdénre és a szelénre vonatkozó kutatások szerint további tagolás is történt.

1. BEVEZETÉS .....(2 oldal)
2. CÉLKITŰZÉSEK.....(2 oldal)
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS..... (52 oldal)
4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK..... (15 oldal)
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK..... (61 oldal)
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ..... (2 oldal)
7. ÖSSZEFOGLALÁS..... (7 oldal)
8. IRODALOMJEGYZÉK ..... (28 oldal)
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS..... (1 oldal)
10. MELLÉKLETEK

A dolgozat stílusa és megfogalmazása világos, értelemzavaró elírás és gépelési hiba csak elvétve fordul elő benne. Az ábrák és táblázatok jól szerkesztettek, feliratozásuk megfelelő. A dolgozatból hiányzik az előforduló betűszók és rövidítések jegyzéke.

Összesítve megállapítható, hogy a dolgozat és a tézisfüzet formailag megfelel az MTA doktori értekezéstől elvárt követelményeknek, s a jelölt publikációs tevékenységének scientometriai adatai is teljesítik a követelményeket.

## PROBLÉMAFELVETÉS, CÉLKITŰZÉSEK, ELŐZMÉNYEK és IRODALOM BEMUTATÁSA

Életvitelünk átalakulása a XX. század végén új kérdéseket állított elénk a környezet- és élelmiszer-biztonság, az egészségügy és a higiénia területén, s ez új megközelítést igényelt a földi ökoszisztémát és létfeltételeinket veszélyeztető hatások feltárása során. Kulcsfontosságú kutatási kérdéssé vált a sikeres és fenntartható mezőgazdasági termelési stratégiák kidolgozása és egyidejűleg a termőföld védelme. A növénytermesztés területén folytatott nemzetközi és hazai kutatásoknak egyaránt fontos céljává vált a termés mennyiségének és minőségének a javítása, s ennek során a környezetvédelmi szempontok fokozott figyelembevételével. Az utóbbi évtizedekben számos kutatás foglalkozott a talaj és a növények, valamint a tápoldat és a növények közötti kölcsönhatásokkal, melyek fontos információkat szolgáltatnak a különböző növények termesztési hatékonyságának növeléséhez és környezetvédelmi hatások felméréséhez. A talaj-növény rendszerben a nemzetközi elemtartalmi kutatások egyrészt az esszenciális makroelemek (pl. nitrogén, foszfor, kálium, kalcium, magnézium) és mikroelemek (pl. réz, vas, mangán, cink) vizsgálatával foglalkoznak, másrészt a potenciálisan toxikus elemek szerepével foglalkoznak, amelyek döntően kationos formákban (pl. kadmium, higany, nikkel és ólom) fordulnak elő a talajokban.

**A jelölt a disszertáció 1.fejezetében** ismertetett témaválasztása során abból a tényből indult ki, hogy a Magyarországon három leggyakrabban előforduló típusú talaj a csernozjom (termőterületek 22%-a), a barna erdőtalajok (a mezőgazdasági területek közel 34%-a), valamint az öntés- és lejtőhordalék talajok (megközelítően 11%-a). A semleges vagy gyengén lúgos pH-val rendelkező talajok esetében a talaj-növény rendszerben nem a potenciálisan toxikus kationok intenzívebb felvételével kell főként számolnunk, hanem a különböző anionok, oxoanionok (pl. arzén, króm, molibdén, szelén anionos formái) jelentősebb mobilitásával. Ebbe a körbe tartozik a molibdén és a szelén is, mivel mindkét elem megfelelő szintű jelenléte szükséges a növényi életciklus folyamatában, beleértve a fotoszintézist és a nitrogén-fixációt. Túlzott mennyiségben való jelenlétük azonban káros is lehet a növények számára és számos hátrányos állapotot okozhatnak a teljes táplékláncban. Kovács Béla témaválasztása e két elem esetében jól illeszkedik a széleskörű hazai és nemzetközi kutatások sorába, alapozva a Debreceni Egyetem eddigi növénytermesztési irányú programjaira és a Kádár Imre által a Nagyhorcsöki Kísérleti telepen 1991-ben elindított szabadföldi kisparcellás mikroelem-terhelési kísérletre. Célkitűzéseit a választott két elem kémiai sajátágaiból kiindulva határozta meg, kísérleti rendszerében tápoldatos, rizoboxos és tenyésztedény kísérleteken keresztül végig követte e két elem növényi felvételét befolyásoló tényezőket, az egyszikű és kétszikű jelzőnövények termelésére gyakorolt hatását, a nutritív és fitotoxikus hatások koncentráció tartományait, figyelembe véve a különböző anionos formájú kémiai specieszek szerepét. Ezen kísérletek eredményeit figyelembe véve vizsgálta és értelmezte a Nagyhorcsöki szabadföldi terheléses tartamkísérletben bekövetkezett a szelén- és molibdén-kezeléses kísérletekben bekövetkezett változásokat. A fentiekben vázolt komplex kutatási megközelítés a gyakorlati alkalmazás szempontjából nagy értéket képvisel, mivel az ilyen jellegű kutatások általában részfolyamatokra vonatkoznak, így eredményeik közvetlen gyakorlati alkalmazása is problematikus. A jelölt doktori kutatómunkájában növekvő adagú molibdén (Mo(VI)), valamint szelén (Se(IV) és Se(VI)) kezelések hatását vizsgálta tápoldat-növény, továbbá talaj-növény rendszerekben, tápoldatos, rizoboxos, tenyésztedényes és szabadföldi tartamkísérletekben. Vizsgálatai során ezen kísérletekből származó növényminták termelési paramétereinek (tömeg, hajtáshossz, stb.) meghatározását és elemvizsgálatát végezte el ICP-OES és ICP-MS módszerekkel, míg a szabadföldi tartamkísérletben kísérletben a feltalaj, valamint a mélységi talajminták oldható,

továbbá összes elem tartalmát is meghatározta, s a szelén esetében speciációs elemzést is végzett HPLC-ICP-MS kapcsolással.

**A disszertáció 2.fejezetében a jelölt a kísérleteiből vett növényi- és talajminták vizsgálatával a következő kérdések megválaszolását tűzte ki célul:**

1. A molibdén (Mo(VI)), valamint a különböző szervesen szelén formák (Se(IV) és Se(VI)) adagolásával beállított kísérletekben (tápadatban, rizoboxban), milyen mértékű hatás tapasztalható a növényi részek szárazanyag-produktumára (tömegére és hosszára)?
2. Van-e kedvező hatása a vizsgált oxoanionoknak (a Mo(VI)-nak, valamint a Se(IV)-nek és Se(VI)-nak) a vizsgált koncentráció tartományban?
3. A vizsgált koncentráció tartományon belül a Mo(VI), továbbá a szelén formák (Se(IV) és Se(VI)) mely koncentrációinál tapasztalhatók toxicitási tünetek?
4. A molibdén (Mo(VI)), valamint az alkalmazott szelén formák (Se(IV) és Se(VI)) kezelései hogyan hatnak a különböző növényi részek molibdén és szelén tartalmára, továbbá a molibdén és a szelén főként mely növényi rész(ek)ben, milyen mértékben akkumulálódnak?
5. Az egyszikű, valamint a kétszikű növényeknek a molibdén és a szelén felvétele hasonló, vagy eltérő intenzitású?
6. Az alkalmazott egyszikű és kétszikű kísérleti növények, az elemfelvétel szempontjából milyen növényi típusba (akkumulátor, hiperakkumulátor, vagy kirekesztő) tartoznak a bioakkumulációs faktor (BAF) alapján, az adott kísérleti elrendezésekben?
7. Milyen különbségek figyelhetők meg a Se(IV) és a Se(VI) kezelések szelénfelvételének az intenzitása között?
8. A Nagyhörcsöki szabadföldi kisparcellás mikroelem-terhelési kísérlet feltalaj mintái összes molibdén és szelén tartalma hogyan alakult a mintavételi években?
9. A Nagyhörcsöki szabadföldi kísérlet mélységi talajmintái összes molibdén és szelén tartalmának az értékelése: az adott mintavételi években hogyan alakul a talajminták összes molibdén és szelén tartalma a talaj mélysége függvényében, valamint hogyan alakul a molibdén és a szelén kimosódása a vizsgált mintavételi években?
10. Az is a kutatás célkitűzése volt, hogy a talajminták összes molibdén és szelén tartalmának hány százaléka, milyen aránya hozzáférhető a növények számára (oldható molibdén és szelén tartalom)?
11. A szabadföldi kísérlet talajmintáiban hogyan alakul a szelén formák (szelén specieszek) mennyisége és azok százalékos aránya?
12. A szabadföldi kísérlet szelennel kezelt parcelláin, a kezelést követő 3. évtől kezdve, miért következett be a két legnagyobb dózisu parcellán a természetű növények és a gyomnövényzet teljes pusztulása?
13. Hogyan alakult a Nagyhörcsöki szabadföldi kísérletben természetű kukorica-, borsó- és napraforgóminták molibdén és szelén tartalma?

**A 3. fejezetben közölt irodalmi áttekintés** a jelölt komplex megközelítését tükrözi, s jól indokolja a választott kísérleti és adatértékelési metodikát. Mindkét elemnél a kémiai

sajátságokból és a biogeokémiai leírásából kiindulva ismerteti le a talaj/víz/növény rendszerben várható kölcsönhatásokat és a táplálékláncban betöltött szerepüket, s összegezi a vonatkozó nemzetközi és hazai kutatásokat. Az irodalom áttekintésében jól követhető, hogy az átmenetifém Mo és a félfémek közé tartozó Se környezeti mobilitása és biológiai hozzáférhetősége nagymértékben függ a tápközeg (talaj vagy víz) pH és redoxi viszonyaitól, s ennek függvényében a Mo (+2)-től (+6)-ig változó oxidációs állapotban kationos, vagy oxoaninos formában, míg a Se (-2)-től (+6)-ig változó oxidációs állapotban szelenid, vagy oxoaninos formában található a talaj/víz/növény rendszerben, emellett számolnunk kell különböző szerves- és szervetlen komplexek izo- és hetero-poli-oxo anionok képződésével a különböző termőhelyeken az agroökológiai körülmények függvényében. A jellemző hazai talajviszonyok között mindkét elem a legnagyobb környezeti mobilitást az anionos formákban mutatja, s a talaj/növény kölcsönhatásokat döntően meghatározza az adott elem kémiai speciációja az adott rendszerben. Kádár (1995) megállapításából kiindulva a jelölt azzal is indokolta témaválasztását, hogy hazánk termőhelyeinek jelentős részén a legveszélyesebb talajszennyező anyagok nem a természetben kationos formában megtalálható potenciálisan toxikus elemek (pl. az ólom, kadmium, higany, réz és a cink), hanem a mobilis és/vagy toxikus anionos formák (pl. az arzén, króm, szelén és molibdén anionos formái). A növények molibdén és szelén igénye rendkívül alacsony, továbbá a növények a molibdént és a szelént általában nagyon kis mennyiségben veszik fel, a növények azonban képesek akár extrém nagy koncentrációban akkumulálni a molibdén és szelén mikroelemeket.

**Értékelés:** Hiányolom az irodalmi előzmények leírásából a hazai iskolák és kutatási irányok részletesebb említését főleg a vonatkozó speciációs analitika (Fodor Péter Se-speciáció) és a növényi felvétel elemfelvétel és transzlokáció összefüggése a kémiai speciációval területeken (Záray Gyula).

## **ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK (4.fejezet)**

### **Tápoldatos kísérlet**

A tápoldatos kísérletekhez egy- és kétszikű tesztnövényként, kukoricát (*Zea mays* L. cv. Norma SC) és napraforgót (*Helianthus annuus* L. cv. Arena PR) választott. Tápoldatos kísérleteiben a növények nevelésére a Cakmak és Marschner (1990) által használt tápoldatokat alkalmazta. A molibdén és a szelén kiegészítéseket a tápoldathoz adagolta. A kezelések molibdénnél 0, 0,07; 0,7; 7  $\mu\text{M}$  molibdén koncentrációk, a szelén esetén pedig a szelenitnél 0, 1, 3, 10, 30 és 90  $\text{mg dm}^{-3}$ , míg a szelenátnál 0, 1, 3, 10 és 30  $\text{mg dm}^{-3}$  szelénre vonatkoztatott koncentrációk voltak. A tápoldatos kísérlet bontására Mo-nél az ültetést követő 9. napon, míg a Se-nél a 12. napon került sor.

**Kérdés:** Volt-e pH ellenőrzés a kísérletek folyamán? Mi indokolta az eltérő bórsav koncentrációt az egyszikű és a kétszikű tesztnövényhez használt tápoldatban?

### **Rizoboxos kísérlet**

A rizoboxos kísérleteiben növénynevelő boxokat (ún. rizoboxokat) alkalmazott, melyekben a növények gyökerei növekedését naponta nyomon követte, s az is látható volt, hogy a növekvő koncentrációjú kezelések okoznak-e fitotoxikus tüneteket a kísérleti növényeink gyökereinél. A rizoboxos kísérleteiben szintén kukoricát (*Zea mays* L. cv. Norma SC (Mo-hez) és cv. Reseda (Se-hez)) és napraforgót (*Helianthus annuus* L. cv. Arena PR) használt. A rizoboxban végzett kísérletekhez a Debreceni Egyetem (DE), Látóképi Kísérleti Telepéről származó mészlepedékes

csernozjom talajt használt. A kontroll talajhoz sem molibdént, sem szelént nem adagolt, molibdén kezeléseknél 30, 90 és 270 mg kg<sup>-1</sup> molibdénre vonatkozó koncentrációkat, míg a szelén kezeléseknél, a szelenitnél 1, 3, 10, 30 és 90 mg kg<sup>-1</sup>, míg a szelenátnál 1, 3, 10 és 30 mg kg<sup>-1</sup>, szelénre vonatkoztatott koncentrációkat alkalmazott. Egy rizoboxba 3, közel azonos méretű csíranövény került. Az ismétlések száma öt volt.

### **Tenyészedényes kísérlet**

A tenyészedényes kísérleteihez tesztnövényként zöldborsót (*Pisum sativum* L.) alkalmazott. A kísérletekhez mészlepedékes csernozjom talajt alkalmazott (DE Látóképi Kísérleti Telep), molibdén esetében 0, 3, 30, 90 és 270 mg kg<sup>-1</sup> kezeléseket alkalmazott, míg a szelénnél, a kontroll mellett, szelenitnél öt (1, 3, 10, 30 és 90 mg kg<sup>-1</sup>), szelenátnál pedig négy (1, 3, 10 és 30 mg kg<sup>-1</sup>) kezelést állított be. A borsó kelése után 9 növényt hagyott tenyészedényenként. A molibdén és a szelén kísérletek, külön-külön három ismétléses véletlen blokk elrendezésben kerültek beállításra. A borsó növények elemtartalmának meghatározását három (Se) illetve négy (Mo) különböző fejlődési stádiumban végezte el, melyek a következők voltak: négy nóduszos állapot (csak a Mo), virágzás kezdete, zöldérés, teljesérés.

### **Nagyhörcsöki szabadföldi kísérlet**

A fenti kísérleteken túlmenően Dr. Kádár Imre segítségével csatlakozott a Nagyhörcsöki szabadföldi kisparcellás mikroelem-terhelési kísérlethez, amely kísérlet még elérhető növény- és talajmintáit megkapta a vizsgálatai elvégzéséhez. Az általa vizsgálatba vont növények: a kukorica 1991-ben (Pi SC 3732 hibrid), a borsó 1994-ben (Smaragd fajta), míg a napraforgó (Viki hibrid) 1998-ban volt termesztésbe vonva. Az osztott parcellás elrendezésben a vizsgált mikroelemek (Mo és Se) jelentették a főparcellát, a négy terhelési szint az alparcellát (Mo: 0, 90, 270 és 810 kg ha<sup>-1</sup>; Se: 30, 90, 270 és 810 kg ha<sup>-1</sup>), két ismétlésben. A feltalajból 1991-ben, 1992-ben, 1994-ben és 2000-ben vett talajminták, a mélységi talajból 1993-ban, 2000-ben és 2005-ben vett talajminták álltak rendelkezésére.

### **Az alkalmazott mintaelőkészítési és mérési módszerek**

A talaj- és növényminták analitikai vizsgálata során szárazanyag-tartalom vizsgálatot, továbbá elemanalitikai módszereket alkalmazott.

A talaj- és növényminták elem tartalmának meghatározásához az általa kidolgozott HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nedves roncsolásos mintaelőkészítési módszereket alkalmazta (Kovács et al., 1996, 2000). A talajok összes elem tartalmával a tápanyagtökhét határozta meg, mely a talajban lévő adott elem teljes mennyiségét jelenti. Mivel egy termőhely minősítésénél, a kockázatelemzésénél nemcsak az „összes”, hanem a mobilis, más néven a „felvehető” elem tartalmakat is érdemes vizsgálni, ezért a nagyhörcsöki talajok felvehető frakcióját is meghatározta a Lakanen-Erviö-féle kivonószer felhasználásával (MSZ 21470-50:2006). Az előkészített minták elem-tartalmát induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométerrel (ICP-OES) (Kovács et al., 1998) és induktív csatolású plazma-tömegspektrométerrel (ICP-MS) (Kovács et al., 2008) határozta meg. Az elemtartalmi meghatározásoknál kétféle típusú ICP-OES készüléket (egy Perkin Elmer gyártmányú, Optima 3300 DV, valamint egy Thermo Fisher Scientific gyártmányú iCAP 6300 Duo), továbbá a kisebb koncentrációk elemzéséhez kétféle típusú ICP-MS (egy Thermo Elemental gyártmányú, XSeriesI és egy Thermo Scientific gyártmányú XSeriesII) berendezést alkalmazott. Az elemanalitikai módszerek kalibrálását és validálását elvégezte, s ezeknek az eredményei a módszereket ismertető közleményeiben megtalálhatók.

A nagyhörcsöki szabadföldi kísérlet talajmintáiban található szelén tartalom időbeli alakulásának értékeléséhez meghatározta az egyes szelén formák koncentrációját. A szelén

formák mintaelőkészítéséhez (extrakciójához) 0,1 mol dm<sup>-3</sup> koncentrációjú NaOH oldatot alkalmazott, a szelén formák (Se(IV) és Se(VI)) meghatározását pedig egy nagyhatékonyságú folyadékkromatográf induktív csatolású plazma tömegspektrométer (HPLC–ICP-MS) kapcsolt analitikai rendszer segítségével végezte. Egy Thermo Scientific SpectraSystem P4000 gyártmányú HPLC pumpához egy Hamilton PRP-X100 típusú anioncserélő oszlopot alkalmazott az elválasztásra, a szelén-specieszek detektálására XSeriesII típusú ICP-MS készüléket használt. **Kérdések:** A Lakanen-Erviö módszer a növények által felvehető elemtartalmat pufferolt komplexképzővel modellezi. Mennyire befolyásolhatja ez a körülmény az anionos formák „felvehető” frakciójának meghatározását? Várható-e különbség a Lakanen-Erviö és a 0,1 M NaOH-val kioldható szeleni és szelenát mennyiségek között?

### **Statisztikai értékelés**

A molibdén és a szelén vizsgálatával kapcsolatos kutatási eredményeink statisztikai vizsgálatára SPSS v.22.0 statisztikai programot alkalmazott. A mért paraméterek és az egyes tényezők közötti összefüggések statisztikai vizsgálatához egytényezős varianciaanalízist és Duncan-féle tesztet használt. Az 5%-os P-érték alatt tekintette a próbákat szignifikánsnak.

A tápoldatos, rizoboxos és tenyészedeny kísérletek eredményeiből kiszámította, hogy a vizsgált növények különböző részei (egy növényre vonatkoztatva), mennyi molibdént, illetve szelént (µg-ban, valamint %-os arányban) vettek fel a tápközegből, s kiszámolta a molibdénre és a szelénre vonatkozó bioakkumulációs (BAF), valamint a különböző növényi részek közötti transzlokációs faktort (TF=chajtás/cgyökér).

### **EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK**

Az értekezés 5.1, 5.2., 5.3. és 5.4. fejezetei további alfejezetekre tagolva, tápoldatos, rizoboxos, tenyészedeny, szabadföldi kísérletek sorrendjében ismertetik a jelölt eredményeit. Az eredmények táblázatos és grafikus bemutatását és statisztikai értékelését jól kiegészíti és alátámasztja a **10. MELLÉKLETEK fejezetben** bemutatott képanyag jól illusztrálja a statisztikailag igazolható fitotoxikus és stimuláló hatásokat.

**Értékelés:** Az eredmények bemutatása korrekt, azonban a szignifikancia jelzése a sokoszlopos táblázatokban korrekt, de nehezen követhető, a grafikus bemutatás jobban követhető.

### **ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK**

**Az 5.1, 5.2., 5.3. és 5.4. alfejezetekben leírt eredményeken alapul a 6. fejezetben összefoglalt 12 új tudományos eredmény. Ezt a tagolást figyelembe véve, bírálatomat az új tudományos eredmények (tézispontok) sorrendjében a jelölt szövegezéséhez kapcsolva ismertetem.**

#### **Tápoldatos kísérletek**

**1.** A molibdénre és szelénre vonatkozó kiszámított bioakkumulációs faktor értékek (BAF) alapján megállapítható, hogy mind a kukorica, mind a napraforgó, a molibdénre nézve akkumulátornövénynek minősül (mivel a BAF>1), valamint a napraforgó mind a szelenit, mind a szelenát esetén hiperakkumulátor-növénynek tekinthető (mivel a napraforgóhajtás szelén tartalma nagyobb mint 1000 mg kg<sup>-1</sup>).

**2.** A tápoldatban alkalmazott növekvő szelenát kezeléseknél a napraforgó, mint kétszikű tesztnövény reagált érzékenyebben a szelenát kezelésre (már a 30 mg dm<sup>-3</sup> szelenát kezelés a napraforgó teljes mértékű nekrozisát, kipusztulását eredményezte).

**3.** A nemzetközi szakirodalmak szerint a szelenát könnyebben transzlokálódik a gyökérből a föld feletti szervekbe. A vizsgálataim alapján ez teljesül a kukoricára (mint egyszikű növényre), viszont a napraforgónál (mint kétszikű növénynél) nem a szelenát transzlokálódik könnyebben a gyökérből a föld feletti szervekbe, hanem a szelenit.

**Értékelés:** Az 1., 2. és 3. pontban ismertetett új tudományos eredmények a kísérletek értékelésének tényszerű eredményei, publikálásuk megfelelő szinten megtörtént, így új tudományos eredményként elfogadhatók. Hiányolom azonban a tapasztalt összefüggések kémiai hátterének lehetséges értelmezését, elsősorban a tápoldatban a pH és a redoxi viszonyok szerepéről.

### **Rizoboxban végzett kísérletek**

**4.** Az egyszikű kukorica és a kétszikű napraforgó tesztnövények szelenát kezeléseit hatását összehasonlítva megállapítottam, hogy míg a kukorica gyökere az (a hajtáshoz képest), ahol a szelenát kezelés hatására, a szelén nagyobb koncentrációját találjuk, valamint a növény által kivont szelén nagyobb hányada (közel 80%-a) is a gyökerében raktározódik, addig a napraforgónövényben (szelenát kezelés hatására), a szelén könnyebben transzlokálódik a hajtásba. Ezáltal a növény által kivont szelén tartalom 97-98,5%-a lesz megtalálható a napraforgó hajtásában, s a napraforgó hajtásánál 7800-szoros szelén tartalom növekedést tudunk elérni a kontroll mintához képest.

**5.** A vizsgálati eredményeink alapján kiszámolva a bioakkumulációs (BAF) és transzlokációs faktor (TF) értékeit megállapítottam, hogy a látóképi mészlepedékes csernozjom talajban nevelt kukoricánál és napraforgónál, a háromféle vizsgált oxoanion (molibdenát, szelenit és szelenát) közül a legkisebb BAF és TF értékekkel a szelenit, majd a molibdenát és végül a szelenát rendelkezik. Tehát a három vizsgált oxoanion közül a szelenát forma gyökérből hajtásba irányuló transzlokációja megy a leghatékonyabban. Az azonos dóziszú szelén formák BAF értékeit összehasonlítva megállapítható, hogy a kukoricacsíránál 100-350-szer nagyobb a szelenátra vonatkozó bioakkumulációs (BAF) faktor, mint a szelenité (a napraforgócsíránál ugyanez az arány 50-150).

**6.** A kutatási eredményeink alapján azt javaslom, hogy az ilyen sajátságú elemek esetén, mint a szelén, melynek több elemformája van jelen a talaj-növény rendszerekben, ne elemre nézve legyen megállapítva, hogy az elemre nézve az adott növény akkumulátor vagy sem, hanem a megjelenő elemformákra végezzük az akkumulátor és hiperakkumulátor növények csoportosítását, besorolását.

**Értékelés:** A 4., 5. és 6. pontban ismertetett új tudományos eredmények a kísérletek értékelésének tényszerű eredményei, publikálásuk megfelelő szinten megtörtént, így új tudományos eredményként elfogadhatók. Kérdés: A látóképi talaj pH-ja gyengén savas, lehet-e ennek hatása a szelén formák mozgékonyására?

## Tenyészedényes kísérlet

7. A tenyészedényes kísérletben, borsó-tesztnövényt alkalmazva, a vizsgált növényi részek közül szinte minden fenofázisban, minden kezelésben, a gyökérnek volt ugyan a legnagyobb a molibdén koncentrációja, mégis a borsóhüvely volt a növény azon része, amely statisztikailag a legérzékenyebben viselkedett a talaj molibdén tartalmának a növelésére, azaz a borsóhüvely minden egyes molibdén kezelésre, mind a zöldérés, mind a teljesérés fenofázisban szignifikáns molibdén koncentráció növekedéssel válaszolt.

8. Borsó-tesztnövény alkalmazásával megállapítottam, hogy tenyészedényben a molibdén adagok növelése és a teljes növény által kivont molibdén mennyisége között telítési görbe jellegű volt az összefüggés, amely azt jelenti, hogy minél inkább növeljük/növekedik a talajban megjelenő molibdenát mennyisége, relatíve annál kevesebb molibdént fog felvenni a teljes borsónövény.

**Értékelés:** A 7. és 8. pontban ismertetett új tudományos eredmények a kísérletek értékelésének tényszerű eredményei, publikálásuk megfelelő szinten megtörtént, így új tudományos eredményként elfogadhatók.

## Nagyhörcsöki szabadföldi kísérlet

9. Bizonyítottam, hogy a mészlepedékes csernozjom talajok szelén formái (speciesszei) vizsgálatára kiválóan alkalmas a 0,1 M NaOH extraháló oldat, melyhez mérőmódszerként HPLC-ICP-MS csatolt rendszert használtunk.

10. Megállapítottam, hogy a mészlepedékes csernozjom talajban lévő kisebb mint 30 mg kg<sup>-1</sup> szelén koncentráció esetén, mind a 0,1 M NaOH, mind a Lakanen-Erviö extraháló oldatok egyaránt alkalmasak a növény számára felvehető (oldható) szelén tartalom meghatározásához.

11. Meghatároztam, hogy a nagyhörcsöki mészlepedékes csernozjom talajon beállított szabadföldi kísérlet első két évében, a 810 kg ha<sup>-1</sup> kezelésű parcellákon, a molibdén vertikális mobilitása volt a jelentősebb, mint a szeléné (a Se megközelítően 60 cm, a Mo mobilitása ennél nagyobb volt). Az ezt követő években viszont a szelén vándorlása felgyorsult, 9 év alatt a szelén kimosódása több mint 300 cm, a molibdén lemosódása pedig csak 160-190 cm volt. 14 év alatt a szelén vertikális mobilitása meghaladta a 600 cm-t, a molibdén kilúgzódása viszont csak a 230-260 cm-es rétegig történt meg.

12. Bebizonyítottam, hogy a nagyhörcsöki mészlepedékes csernozjom talajon beállított szabadföldi kísérlet 270 és 810 kg ha<sup>-1</sup> adagú szelénrel (szelenit formában) kezelt parcelláin, a szelenit-szelenát átalakulás, valamint ezzel párhuzamosan a szelenát lemosódása vezetett ahhoz, hogy néhány év alatt egyre nagyobb növényi pusztulás következett be, valamint hogy megközelítően 10 év alatt ez a hatás a szelenát lemosódás következtében kezdett el csökkenni.

### Értékelés:

A 9., 10. pontban ismertetett új módszer kidolgozását csernozjom típusú talajokból szelenit és szelenát extrahálására új eredményként elfogadom. Kérdésem ezzel kapcsolatban az, hogy a 0.1 M NaOH-val extrahált szelenit+szelenát-tartalom és a puffertolt EDTE-komplekképzővel végzett Lakanen-Erviö extrakció eredményei között volt-e szignifikáns különbség?

A 11. és 12. pontban ismertetett eredményeket a szelén és molibdén vertikális mobilitásáról és az ezzel összefüggő fitotoxicitás változásokról új eredményként elfogadom. Kérdésem ezzel kapcsolatban az, hogy az anionos molibdát és szelenit formák vertikális mobilitása a talaj mérhető pH-ja közötti összefüggés vizsgálatára alkalmas-e a tartamkísérlet?



### **Az új tudományos eredmények összesített értékelése**

A jelölt által 12 pontban ismertetett új tudományos eredmények a kísérletek értékelésének tényszerű eredményei, publikálásuk megfelelő szinten megtörtént, s így hasznos hozzájárulást jelentenek mind a Mo, mind a Se szerepének feltárásához a hazai agro-ökológiai viszonyok között. Ezért új tudományos eredményként elfogadhatók. Hasznos támpontot jelenthetnek a hazai szinten jelentkező növényi tápanyag-ellátási hiányok, illetve a környezetszennyezési problémák kezeléséhez. Kiemelendő értéke a munkának a Nagyhörcsöki tartamkísérlet eredményeinek feldolgozása és az ott tapasztalt környezeti hatások értelmezése. Ugyanakkor az eredmények kísérleti módszerek szerinti csoportosítása, túl közel marad az empiriához, s hiányolom a tudományos eredményekből feltárható összefüggések szerinti rendszerezést és összehasonlítást. Emelné a munka értékét, ha a tápoldatos és a talajban nevelt növényekre gyakorolt hatásokat, pl. toxicitási határokat összehasonlítva értelmezné, illetve javaslatot tenne arra, hogy milyen talajállapot esetén lenne indokolt a Mo illetve Se trágyázás, vagy remediáció alkalmazása.

### **ÖSSZEGEZÉS, NYILATKOZAT**

Összegezve megállapítható, hogy a jelölt tudományos eredményeinek újdonsága abban rejlik, hogy a talajainkban főleg oxo-anionos formában előforduló, s a növénytáplálkozásban fontos szerepet játszó molibdén és szelén felvételét, transzlokációját, akkumulációját, nutritív és ftotoxikus hatását a rendelkezésére álló korszerű eszközök alkalmazásával kifejlesztett elemanalitikai és speciációs analitikai rendszer segítségével a víz-talaj-növény (tápoldat-rizobox-tenyészedény) kísérleti rendszerben összefüggésében értékelte, s ezeket az eredményeket felhasználva értelmezni tudta a Nagyhörcsöki szabadföldi kispárcellás mikroelem-terhelési kísérletben kimutatható időbeli változásokat és környezeti hatásokat a szelén és molibdén kezeléseket esetében. Kísérletei során bebizonyosodott, hogy a különböző növények (egyszikű, kétszikű) elemfelvételi és bioakkumulációs képességei mindkét tanulmányozott elem esetében jelentős különbségeket mutatnak, s függenek az adott elem jelenlévő specieszeitől a talaj/növény rendszerben. A jelölt eredményei alapján megállapítható, hogy a hazai szinten jelentkező növényi tápanyag-ellátási hiányok, illetve a környezetszennyezési problémák kezelése során a talaj adottságok mellett mindig figyelembe kell venni a növényfajok sajátosságait és az adott elem kémiai speciációját is a talaj/növény rendszerben. A jelölt a disszertációban és a saját közleményeiben minden területen megfelelő analitikai minőségbiztosítást végzett, a közölt eredmények hiteles adatokat tartalmaznak, s megadja megállapításainak érvényességi korlátait is.

**Mindezeket figyelembe véve kijelentem, hogy Kovács Béla doktori műve megfelel az MTA doktori nyilvános vitára bocsátás követelményeinek, javasolom a nyilvános vitára bocsátását és támogatom számára az MTA doktora cím odaítélését.**



Gödöllő 2024. 11. 08.

Dr. Heltai György  
az MTA doktora