

Opponensi vélemény

Kovács Béla

Molibdén és szelén vizsgálata tápoldat-növény és talaj-növény rendszerben

című akadémiai doktori értekezéséről

A doktori disszertáció növénytermesztési, környezetvédelmi és környezetanalitikai szempontból is lényeges kérdéseket tárgyal. Két olyan mikroelem viselkedését vizsgálja a tápoldat-növény és talaj-növény rendszerben, melyek élettani szempontból rendkívül fontosak, ugyanakkor dúsulásuk, és ezáltal túlsúlyuk a környezetben súlyos károsodásokhoz vezethet.

A molibdén a növények számára esszenciális tápelem és a szelénre is szükségük van a megfelelő mennyiségű és minőségű termés előállításához. Ezért, amikor a szántóföldi növények harmonikus tápanyag-ellátásáról beszélünk, akkor a trágyázási technológiák tervezésekor és végrehajtásakor ezekről a mikroelemekről sem szabad megfeledkezni. Napjainkban egyre jobban terjednek a talaj nélküli termesztési módszerek (indoor farming, vertikális növénytermesztés), ahol a növények tápanyag-ellátása tápoldatozással történik. A növények igényeinek megfelelő tápoldatok összeállításához a tápoldat-növény kapcsolatok alapos ismeretére van szükség.

A fokozódó ipari termelés, a közlekedés és az urbanizáció kapcsán egyre gyakrabban találkozunk környezet mikroelem terhelésével, és a kibocsátások döntően a talajokat érintik. A talajok pufferkapacitása véges. Egy idő után, egy bizonyos terhelési szint felett áteresztővé válnak és a mikroelemek megjelennek vizeinkben és fokozott mértékben válnak felvehetővé a növények számára. A növények szöveteiben, szerveiben olyan mértékben dúsulhatnak, ami már a növények számára is toxikus lehet, és ami a táplálékláncban is komoly károsodásokhoz vezethet. Kutatások szerint, talajainkban elsősorban az anionos mikroelem szennyezők jelentenek környezeti kockázatot (kimosódás, növényi toxicitás), és mindkét vizsgált mikroelem döntően anionos formában fordul elő a környezetben.

Kovács Béla több éves kutatómunkája és a disszertációban bemutatott kutatási eredményei ezen folyamatok részletesebb megismerését és megértést segítik a molibdén és a szelén mikroelemek vonatkozásában. Továbbá választ adnak több olyan nyitott kérdésre is, amelyek korábbi szabadföldi mikroelem-terhelési tartamkísérletekben merültek fel.

A szerző a doktori mű bevezetőjében logikusan sorra veszi mindazokat a tényezőket, amelyek a kutatás téma fontosságát, időszerűségét igazolják. A második főfejezetben bemutatja, hogy mik motiválták a témaválasztásban, és 13 pontban összefoglalja kutatómunkája célkitűzéseit. A vázolt kutatási célok mindegyike szorosan kapcsolódik a disszertáció témájához és már előrevetítik, hogy a kérdések megválaszolásához átfogó és részletes kutatómunkára volt szükség.

Előjáróban elmondható, hogy a doktori mű formai és tartalmi szempontból is megfelel az elvárásoknak. A dolgozat „érdemi” része 143 oldal terjedelmű és ezt egészíti ki a 23 oldalas

irodalomjegyzék, 1 oldalon a köszönetnyilvánítás és 10 oldalon a mellékletek, amely 20 olyan fotót tartalmaz, amelyek a kezeléshatásokat szemléltetik. A tartalomjegyzék jó áttekintést nyújt a disszertáció felépítéséről és az egyes fejezetek terjedelmi arányairól.

Megállapítható, hogy a dolgozat a „Következtetések és javaslatok” kivételével minden főfejezetet tartalmaz és ezek terjedelmi aránya is megfelelő. A fő és alfejezetek címei jól kifejezik az azokban olvasható szakmai tartalmat. A szakmai tartalom szövegezése jó, kellően tagolt, bár a könnyű olvashatóságot néhol hosszú körmondatok teszik nehezkessé. A nyelvhelyesség és a szakkifejezések használata tekintetében lényes hibákat nem találtam.

A disszertáció kivitelezése igényes. 60 táblázatot és 42 ábrát tartalmaz, melyekből 32 táblázat és 35 ábra a saját vizsgálatok eredményeit közli. A táblázatok jól szerkesztettek és informatívak. A közölt adatok mennyiségét tekintve nem zsúfoltak, így az olvasó könnyen eligazodik az adatok között. Az ábrák is jól szerkesztettek és könnyen áttekinthetőek. Véleményem szerint színes ábrákkal és a mellékletben szereplő fotók egy részének szöveggörnyezetbe illesztésével (lásd téziszfüzet) a külső megjelenésen lehetett volna javítani. Kisebb formai hibaként említem, hogy szöveggörnyezetben néhol elcsúszva szerepelnek a táblázatok és a rájuk történő hivatkozások. A formai értékeléshez tartozik az irodalmi hivatkozások pontossága és összhangja. Ez a dolgozat esetében dicséretes. A több, mint 400 feltüntetett szakirodalom bibliográfiai adatai pontosak és visszakövethetők, valamint az irodalom forrásokra történő hivatkozások helyesek és formailag egységesek.

Az **Irodalmi áttekintés** c. fejezet tartalmát tekintve szorosan illeszkedik az értekezés témájához, és arról tanúskodik, hogy a szerző kiválóan ismeri a témakör nemzetközi és hazai szakirodalmát, valamint jól ismeri a régebbi és a legújabb kutatási eredményekkel is. Az 52 oldal terjedelmű fejezet a két vizsgált mikroelemnek megfelelően két alfejezetre tagolódik. A szerző törekedett arra, hogy a molibdénnel és a szelénnel kapcsolatos eddigi ismereteket és kutatási eredményeket közel azonos szerkezetben tárgyalja. Mindkét elem vonatkozásában az általános ismereteken túl (jellemzés, termelés és felhasználás) ismerteti előfordulásukat a környezetben (talajokban, vizekben és a levegőben) és részletes áttekintést nyújt előfordulásukról és szerepükről a növényekben, az élelmiszerekben, valamint az emberi és az állati szervezetben. A citált szerzők döntő többsége (kb. 80%-a) külföldi, és a citált források főleg tudományos szaklapokban és könyvekben jelentek meg.

Az 15 oldal terjedelmű **Anyagok és módszerek** c. főfejezetben disszertáció alapját képező kísérletek kellő részletességgel bemutatásra kerülnek (előkészítés, kezelése stb.). Néhány esetben hiányolom az időpontok feltüntetését és a mintavételek részletesebb ismertetését, bár ezek később az eredmények értékelésénél szerepelnek. A szerző négy különböző típusú kísérletet alkalmazott kutatómunkája során, úgymint tápoldatos, rizoboxos, tenyészedenyes és szabadföldi kísérletek. A tápoldatos, a rizoboxos és a tenyészedenyes kísérletek kezeléseiben a molibdén mellett a szelén 4-es és 6-os oxidációs állapotú formái (szelenit és szelenát) is szerepeltek és a növényminták analitikai vizsgálata is mindkét szelén formára kiterjedt.

A szabadföld kísérlet tartamkísérleti jelleggel már régebben, 1991-ben beállításra került az MTA TAKI nagyhörccsöki kísérleti telepén, és ezen kísérletből származó archivált talaj- és

növényminták analitikai vizsgálatát végezte el a Szerző. Pozitívként értékelem, hogy a rizoboxos és a tenyészedenyes kísérletek kezeléseit a szabadföldi kísérletben alkalmazott terhelési dózisokhoz igazodva tervezte meg és a tesztnövényeket (kukorica, napraforgó, borsó) is ennek megfelelően választotta. Ezzel nemcsak a mikroelem-talaj-növény kapcsolatokról szerezhetünk információkat, hanem a kísérletek alkalmazásának előnyeiről vagy korlátairól is.

A kezeléshatások értékeléséhez a növényminták szárazanyag tömege és összes elemtartalma, míg a talajmintákból az összes elemtartalom mellett a felvehető elemtartalom is meghatározásra került. A szelén tartalom időbeni átalakulásának értékeléséhez a szabadföldi kísérletből származó talajmintákból a szelenit és a szelenát formák analízisét is elvégezte a Szerző. Összességében megállapítható, hogy a kísérletek során alkalmazott vizsgálati módszerek korszerűek, megbízhatóak és alkalmasak a célkitűzésben megfogalmazott kérdések vizsgálatára. A vizsgálatokból származó adatok statisztikai értékelése egytényezős varianciaanalízissel és Duncan-féle teszttel történt, SPSS v.22. statisztikai program alkalmazásával.

A **kutatás eredményeit és az eredmények értékelését** bemutató fejezet a disszertáció legterjedelmesebb (62 oldal) és egyben legértékesebb, leginformatívabb része. Hatalmas adattömeget közöl és elemez. A Szerző külön alfejezetekben mutatja be a tápoldatos, a rizoboxos, a tenyészedenyes és a szabadföldi kísérletek eredményeit és mindegyik alfejezetben alapos adatfeldolgozást és értékelést végez. A kezeléshatások értékelése többek között kiterjed a tesztnövények szárazanyag tömegére - ami a kezeléseket növekedést/fejlődést segítő vagy fitotoxikus hatásairól informál-, továbbá az egyes növényi részek molibdén és szelén tartalmára, amiből pedig az elemfelvételre, a növényen belüli elem transzlokációra és a növényi szövetekben történő akkumulációra következtethetünk. A táblázatokban és az ábrákban az adatok értékelése jól nyomon követhető, és a táblázatok és ábrák alatti megjegyzések segítik az olvasót a magyarázatok jobb megértésében.

A kezeléshatások értékelése szakmailag helytálló. Megjegyzem, hogy több alfejezetben újból ismertetésre kerülnek a kísérleti körülmények és vizsgálati módszerek, amik az „Anyagok és módszerek” fejezetben már szerepelnek, vagy a szerző itt egészíti ki az ezekkel kapcsolatos információkat. Ez a disszertáció tudományos értékét nem rontja, csak a terjedelmét növeli. A növényi elemtartalom meghatározása mellett fontos eredménynek tartom a bioakkumulációs faktor (BAF) és transzlokációs faktor (TF) meghatározását. Ezt a Szerző a tápoldatos, a rizoboxos és a tenyészedenyes kísérletekben is elvégezte, mindegyik tesztnövényenél, a molibdénre, a szelenitre és a szelenátra vonatkozóan is. Ezen adatok birtokában fontos megállapításokat tesz az elemek növénybeni mozgásával és akkumulációjával kapcsolatban. Az értékelések és elemzések szakmai értékét növeli, hogy a Szerző saját eredményeit összehasonlítja más szerzők, szakirodalomban közölt eredményeivel és megvitatja azokat.

Számomra a disszertáció legértékesebb része a nagyhőrcsöki szabadföldi tartamkísérletből származó talajminták vizsgálata és az eredmények értékelése. A mérések igazolták a szelén fokozott mobilitását a talajban, valamint a szelenit-szelenát átalakulás tényét. A szelenát forma különösen toxikus a növényekre, és ez okozhatta a növényzet teljes kipusztulását a nagy dózissal terhelt parcellákon, a kísérlet beállítása utáni években. A mélységi talajminták

vizsgálatával a Szerző mindkét elem esetében igazolta a fokozott kimosódás veszélyét. A szelénát kimosódásával a feltalajból később a fitoxikus hatás is csökkent.

Az eredmények elolvasása után az olvasóban olyan érzés támad, mintha a téma kifejtéséhez használt vizsgálatok önálló életet élnének. Hiányzik egy olyan fejezet, ahol a különböző kísérletek eredményeit összehasonlítja a Szerző. Ezt talán a hiányzó „Következtetések és javaslatok” fejezetben lehetett volna megtenni.

A szerző a téma kifejtéséhez alkalmazott kísérletek szerinti tematikus csoportosításban fogalmazta meg kutatómunkájának új tudományos eredményeit 12 pontban. Az új tudományos eredmények összhangban vannak a disszertációban közölt vizsgálati eredményekkel.

Az 1., 2., 5., 6., 7., 8., 11. és 12. pontokban közölt tudományos eredményeket változtatás nélkül elfogadom. A 3. és 4. pontokban közölt tudományos eredmények összevonhatók, hiszen mindkettő a napraforgó és a kukorica szelén transzportjára vonatkozik. A 9. és a 10. pontok összevonását is javaslom, hiszen mindkettő szelén vizsgálati metodikával kapcsolatban fogalmaz meg tudományos eredményeket.

Összességében megállapítható, hogy a Jelölt komoly tudományos teljesítményt nyújtott. Dolgozata önálló kutatómunkáján alapszik, hiteles adatokat tartalmaz és megfelel az MTA doktori fokozat elnyeréséhez szükséges formai és tartalmi követelményeknek. Javaslom a disszertáció elfogadását és nyilvános védésre bocsájtását, majd sikeres védés esetén az MTA doktora cím odaítélését.

Bírálati kérdés:

Véleménye szerint vannak-e olyan jó mezőgazdasági gyakorlatok, termesztéstechnológiai megoldások, amelyekkel szabályozni lehet a molibdén és a szelén mobilitását a talaj-növény és a tápoldat-növény rendszerben?

Hatvan, 2025. 01. 09

Dr. Fodor László PhD.

főiskolai tanár