



**SZENT ISTVÁN EGYETEM
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA**

**TOXIKUS NEHÉZFÉMSZENNYEZÉS UTÓHATÁSÁNAK
VIZSGÁLATA BARNA ERDŐTALAJON**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

SZEGEDI LÁSZLÓ

**GÖDÖLLŐ
2011**

A doktori iskola

megnevezése: KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

tudományága: Környezettudomány

vezetője: Dr. Heltai György
egyetemi tanár, az MTA doktora, tanszékvezető
Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Kémia és Biokémia Tanszék

témavezető: Dr. habil Szabó Lajos
egyetemi tanár, a mezőgazdasági tudomány kandidátusa
általános igazgatóhelyettes
Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, KITŰZÖTT CÉLOK

1.1. A munka előzményei

Az utóbbi évtizedekben az emberi tevékenység olyan kedvezőtlen hatással van környezetére, amely gyakran irreverzibilis változásokat eredményez. A levegő, a víz és a talaj elszennyeződés, valamint az élő szervezetekre gyakorolt kedvezőtlen hatás ma már globális problémának tekinthető, ezért napjainkban a környezetszennyezés a földi élet alapjait veszélyezteti. A kémiai környezetterhelés, különösen a mikroelemek és toxikus nehézfémek felhalmozódása meghatározó egészségügyi, biológiai és ökológiai jelentőségű (KÁDÁR 1991, 1995, 2001b; CSATHÓ 1994a; SIMON 1999a, 2006a).

A nehézfémekkel szennyezett talajok alapvető környezeti problémát jelentenek. A talaj képes a környezetbe kerülő nehézfémek megkötésére és tárolására. Egy bizonyos terhelési szint felett, illetve a talajban lezajló egyensúlyi folyamatok változásával a megkötött toxikus nehézfémek mobilizálódhatnak, ezáltal a vízrendszeren vagy a táplálékláncon keresztül a nehézfémek ökoszisztémába való bejutását okozhatja, veszélyeztetve ezzel az érzékenyebb fajokat, és magát az embert (SIMON, 1999a, FODOR, 2002, KÁDÁR, 1995, 1996ab, 2001b; KÁDÁR et al., 1998; CSATHÓ, 1994b).

A különböző ökológiai viszonyokkal (talajtani, hidrológiai, éghajlati) rendelkező tájegységekben a nehézfém-szennyezés törvényszerűségei, tendenciái eltérően mutatkoznak. Mivel a változások csak hosszú távon érvényesülnek, a hatások évek múltán mutathatóak ki, azért a jelenségek vizsgálata, a törvényszerűségek feltárása terheléses szabadföldi tartamkísérleti jelleggel lehet megbízható. A tartamkísérletekben ismerhető meg az eltérő terhelésű talajokon termesztett növények mennyiségének és minőségének változása, illetve élelmiszer és takarmány alapanyagként való felhasználhatósága (KÁDÁR, 1995, 1996ab).

A talajok nehézfémterhelésére vonatkozó kutatási prioritásokat a hazai talajtani adottságokból kiindulva kell meghatározni, amelyek eredményei alapján megítélhető a nehézfémek mozgása a talaj-növény rendszerben, meghatározhatóak az egyes szennyezettségi határértékek. Ennek érdekében az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézetében 1991-ben indult a „Környezetünk nehézfémterhelésének vizsgálata” című kutatási program. A program a legfontosabb hazai talajtípusokon szabadföldi kisparcellás tartamkísérletekben vizsgálta a nehézfémek és más potenciálisan toxikus elemeknek a viselkedését a talaj-növény rendszerben és a táplálékláncon.

A kutatási program részeként 1994 őszén a Károly Róbert Főiskola Tass-pusztai Tangazdaságában csernozjom barna erdőtalajon került beállításra szabadföldi kisparcellás nehézfémterheléses tartamkísérletet, amelynek során a talaj-növény-mikroelem kapcsolatok vonatkozásában adatok gyűjtése, összefüggések, tendenciák megállapítása történt.

Doktori értekezésemben a talajra és az 1999-2007. között a termesztett jelzőnövényekre vonatkozó vizsgálati eredményeket dolgozom fel és foglalom össze, a toxikus nehézfémek talajban, talaj-növény rendszerben való viselkedését, növényi akkumulációját, fitotoxikus hatását elemzem.

1.2. Célkitűzések

1. A talaj szántott rétegébe juttatott toxikus nehézfémek (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) talajban való viselkedésének tanulmányozása.

1.1. A toxikus nehézfémek kémiai módszerekkel (cc. HNO_3 + cc. H_2O_2 és NH_4 -acetát + EDTA kioldással) történő visszamérhetőségének, a visszamérhetőség időbeni változásának vizsgálata.

1.2. A toxikus nehézfémek oldhatósági sorrendjének, az oldhatósági sorrend időbeni változásának meghatározása.

1.3. A toxikus nehézfémek mélységi elmozdulásának (kimosódásának) vizsgálata.

2. A talaj szántott rétegébe juttatott toxikus nehézfémek (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) talaj-növény rendszerben való mobilitásának és fitotoxicitásának tanulmányozása.

2.2. A toxikus nehézfémek növényi akkumulációjának és transzlokációjának vizsgálata borsó, silócirok, őszi árpa, fehér mustár, rostkender és lucerna kísérleti növény esetében.

2.2. A kísérleti növények takarmányozásra és humán fogyasztásra való hasznosíthatóságának és a talajszennyezettségi határértékek megfelelőségének vizsgálata a vonatkozó jogszabályok alapján.

2.3. A toxikus nehézfémek fitotoxicitásának, termés- és a minőségromtó hatásának vizsgálata borsó, őszi árpa és fehér mustár kísérleti növény esetében.

3. Annak megállapítása, hogy a talaj szántott rétegének NH_4 -acetát + EDTA kioldással becsült toxikus nehézfém-tartalma a kísérleti növények esetén mennyiben felel meg a tényleges növényi elemfelvételnek, a kísérleti növények által felvett elemtartalomnak.

4. A jelzőnövények és a talaj szántott rétegének toxikus nehézfém-tartalma közötti összefüggések vizsgálata, az összefüggésvizsgálat eredményei alapján az egyes kísérleti növényeknél talajszennyezettségi határértékek megállapítása.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A kísérlet bemutatása

A szabadföldi kisparcellás nehézfémterheléses tartamkísérletet helyszíne a Károly Róbert Főiskola Tasspusztai Tangazdaságának A-14-es táblája. Természetföldrajzi besorolás szerint a kísérleti terület az Északi-középhegység nagy tájhoz tartozó Mátraalján az Észak-alföldi hordalékkúp-síkság északi határán helyezkedik el. A kísérleti hely talaja bázikus üledéken kialakult csernozjom barna erdőtalaj.

A kísérletet 1994 őszén 8 elemmel (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn), 3 terhelési szinten (30, 90 és 270 kg elem/ha), 3 ismétlésben, 35 m² területű (3,5 m x 10 m-es) parcellákkal került beállításra. Az osztott parcellás (split-plot) elrendezésű kísérletben a 8 vizsgált elem jelentette a főparcellákat, a 3 terhelési szint az alparcellákat. A kezelések száma 24, az összes parcellaszám 72 volt. Az alkalmazott fémkezelések olyan talajszennyezettségi viszonyokat modelleztek, amelyek ipari létesítmények, autópályák és települések szennyezett környezetében, a városi kiskertekben előfordulnak, illetve előfordulhatnak. A nagy adagú terhelések a talajszennyezési szintek modellezését szolgálták.

A kezelések az elemek vízoldható sóival történtek egy alkalommal, a kísérlet beállításakor. A kiszórandó adagokat az előzetes kimérést követően a helyszínen száraz homokkal kerültek összekeverésre, majd kézzel egyenletes szétszórásra az egyes parcellákon. A kiszórást követően a sókat kombinátorral 8-10 cm mélyre a talajba dolgozták.

A kísérletben a növényi sorrend a következő volt: őszi búza (1995), kukorica (1996), napraforgó (1997), borsó (1998), silócirok (1999), ősziárpa (2001), fehér mustár (2002), rostkender (2003) és lucerna (2005-2008). Doktori értekezésemben a talaj nehézfém-tartalmának alakulását és kísérleti növényekre gyakorolt hatását a borsó, a silócirok, az ősziárpa, a fehér mustár, a rostkender és a lucerna jelzőnövény esetében vizsgáltam. A talajmunkák, trágyázás, vetés, ápolási munkák minden évben az általános üzemi agrotechnika szerint történtek. A kísérletben talajfertőtlenítés, vegyszeres gyomirtás nem volt, hogy a peszticidek esetleges hatása a kísérletet ne zavarhassa meg.

2.2. Talajmintavétel, talajvizsgálatok

A kísérlet során 1995-ben, 1996-ban, 1997-ben, 2000-ben, 2001-ben, 2005-ben és 2007-ben a szántott rétegben talajvizsgálatokra került sor a talajba juttatott nehézfémek sorsának (átalakulás, kimosódás) nyomonkövetése céljából. Az 1996-os évben mélységi mintavétel is történt. A talajmintavétel kézi botfúróval történt. Nettó parcellánként a parcellaszegélytől 0,5 m-t körbe elhagyva 20-20 pontminta (leszúrás) reprezentált egy-egy átlagmintát. A mélységi mintavétel esetén nettó parcellánként 5-5 fúrás képezett egy-egy átlagmintát rétegenként.

Az átlagmintákból a LAKANEN-ERVIÖ (1971) által javasolt NH₄-acetát + EDTA kioldása után meghatározásra került az oldható („felvehető”), a VÁRALLYAY (1995) által leírt cc. HNO₃ + cc. H₂O₂ feltárással pedig az „összes” elemtartalom. A talaj kivonatok (MSZ-08-1722/1-1989) elemanalízise ICP- AES plazmaemissziós spektrofotométerrel történt az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet, illetve 2007-ben a Károly Róbert Kft. laboratóriumában.

2.2. Növénytavétel, növényvizsgálatok

Növénytavételre a növények tápláltsági állapotát leginkább meghatározó fenofázisokban került sor. KÁDÁR (1992) szerint ezek a borsónál és a lucernánál a virágzás kezdete, az őszi árpánál a bokrosodás vége (zöld hajtás) és a kalászhányás (kalász alatti levél), a mustárnál a zöldbimbós, illetve az aratás előtti állapot. A kender és a cirok esetén a tavétel teljes éréskor történt. A mustár esetén az érés idején uralkodó aszály miatt a becők kényszeréretté váltak, felnyíltak és az összeszáradt magok elperegetek, ezért magot a kísérlet során fogni nem lehetett. A borsó és az őszi árpa esetén a termés elemek megállapítása és az egyes növényi szervek vizsgálata céljából a szár-, hüvely- és magtermés külön mérése és elemzése is megtörtént.

A növénytavétel - a teljes föld feletti növény leszedésével - minden esetben nettó parcelláról, minden parcellán háromszor egy véletlenszerűen kiválasztott folyóméterről történt, a parcellák szegélyétől 0,5 m-t körben elhagyva. Tömegmérés, szárítás és darálás után történt a növényi minták elemtartalmának meghatározása. A $\text{cc HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ feltárást követően az elemvizsítást ICP- AES plazmaemissziós spektrofotométerrel történt az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet, illetve 2007-ben a Károly Róbert Kft. laboratóriumában.

2.3. Az adatfeldolgozás és értékelés módszertana

A talajra, termesztett növényre, növényi szervekre gyakorolt nehézfémkezelések hatásának vizsgálata elemenként, terhelési szintenként történt. A tendenciaszerű változások, statisztikailag igazolható különbségek feltárása volt a cél a talaj és a növény, növényi szerv nehézfém-tartalmának alakulásában a terhelések hatására. A vizsgáltam a kezeléshatások időbeni változását (talaj felvehető elem-tartalma, nehézfém-terhelések fitotoxikus hatása) is.

Az adatok matematikai, statisztikai értékelése a kéttényezős, osztott parcellás (split-plot) elrendezésű kísérletek esetén variancia-analízissel történt, az összefüggés-vizsgálatokat pedig regresszió analízissel végeztem (SVÁB, 1981). Az SzD értékek $P=5\%$ -os szignifikancia szintre vonatkoznak. A regresszió analízis mellett a szórások jellemzésére a variációs koefficiensek (CV) értékének meghatározása is megtörtént, amelyek alapján a regressziós kapcsolatot leíró függvény matematikai modellként történő alkalmazhatósága értékelhető.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Talajvizsgálati eredmények

A kísérlet során végzett talajvizsgálatok a toxikus nehézfémek oldhatósági viszonyainak tanulmányozására, a nehézfémek szántott rétegben való akkumulációjának vizsgálatára, illetve kilúgozódásuk megítélésére

irányultak. Hazai és nemzetközi tapasztalatok szerint az oldható, a növények számára felvehetőnek tekinthető toxikus nehézfém frakció a meghatározó környezetvédelmi, élettani és agronómiai szempontból. Mennyisége egyes elemeknél utalhat extrém növényi felvételre, esetleg a kimosódásra (vízbázisok szennyeződésére), illetve a talajban való megkötődésre.

A talajmintákban az „oldható” (NH_4 -acetát + EDTA oldható) elemtartalmak mellett a legtöbb esetben a cc. HNO_3 + cc. H_2O_2 kioldással becsült összes elemtartalmak is meghatározásra kerültek. Élettani szempontból ugyan az oldható, a növények számára felvehetőnek ítélt elemtartalomnak van jelentősége, de környezetvédelmi megközelítésben az összes elemtartalomnak is fontos szerepe van, hiszen a környezet változásával (pl. talajsavanyodás) az összes elemtartalom, egy annak egy része oldhatóvá, a növények számára felvehetővé válhat. Az eredmények birtokában válasz adható arra is, hogy a nehézfém-terhelések (szennyezések) milyen arányban mérhetők vissza az alkalmazott analitikai módszerekkel.

A fontosabb talajvizsgálati eredmények:

1. A csernozjom barna erdőtalajon a vízdoldható sók formájában kiadott nehézfémek „oldható” (NH_4 -acetát + EDTA oldható) frakciója a kísérlet harmadik évére minden elem esetében jelentősen csökkent, majd a kísérlet nyolcadik évét követően az elemek további megkötődésével csak kisebb ingadozásokat mutatott. Egyértelmű és drasztikus csökkenés az arzén, a króm és a higany esetén volt megfigyelhető. A króm és a higany „oldható” elemtartalma a kijuttatást követő harmadik évben gyakorlatilag eltűnt a szántott rétegből, az arzén „oldható” koncentrációja pedig töredékére csökkent. A higany „oldható” frakciója a szántott rétegben a kísérlet további éveiben nem volt kimutatható.
2. Tizenkét év elteltével mindkét módszerrel (cc. HNO_3 + cc. H_2O_2 feltárással és NH_4 -acetát + EDTA kioldással) a Cd és az Pb közepesen (30-60% közötti visszamérhetőség), a Cu és a Zn gyengén (10-30% közötti visszamérhetőség), az As, Cr és a Hg alig vagy gyakorlatilag nem visszamérhetőnek (10% alatti visszamérhetőség) bizonyult. Az As, Cu, Cr, Zn visszamérhetőségi átlagai között az egyes módszerek esetén lényeges eltérés nem tapasztalható. A szennyezés minősítésénél a szennyezés kora meghatározó tényező, a friss szennyezők jobban kimutathatóak az „oldható” frakciókban.
3. A kadmium és az ólom mind a cc. HNO_3 + cc. H_2O_2 feltárással, mind a NH_4 -acetát + EDTA kioldással jól kimutatható, a mért „összes” és „oldható” koncentrációk kezeléseik átlagában meghatározott értékei a kísérlet során jó egyezést mutattak. Így a jelentős környezetszennyezőnek minősíthető ólom- és a kadmiumszennyezés utólagos minősítéséhez elegendő az „oldható” koncentrációk meghatározása.
4. A kísérleti elemek oldhatósági sorrendje a talaj szántott rétegében a kísérleti évek folyamán alapvetően nem módosult. A kísérleti eredmények alapján elkülöníthetők a talaj mobilis (kadmium, ólom, réz), kevésbé mobilis (arzén, cink) és gyorsan oldhatatlan formává alakuló (megkötődő) nem mobilis (higany, króm) szennyezői.
5. A talajterhelés során bevitt toxikus nehézfémek döntő mértékben a bevitel helyén maradtak, a szántott talajrétegben halmozódtak fel. Mélységi elmozdulást a kísérlet harmadik évében végzett vizsgálat szerint

három elem, az arzén a króm és az ólom mutatott. Az arzén és az ólom kilúgozódása enyhe mértékű volt, a króm azonban jelentős mértékű dúsulást mutatott a mélyebb talajrétegben.

3.2. Növényvizsgálati eredmények

A talajterhelések nyomán kialakult nehézfémakkumuláció mértékének meghatározása minden kísérleti növénynél megtörtént, az őszi árpa, a mustár és a kender esetén a nehézfémakkumuláció dinamikájának vizsgálatára is lehetőség volt a különböző fenofázisokban vett növényi minták elemanalízisével. A borsó, az őszi árpa és a mustár jelzőnövény tenyészidőszakában fenológiai megfigyelések, mérések történtek a nehézfémterhelések fitotoxikus hatásának elbírálására. A talaj és a növények nehézfém tartalmának ismeretében nyomon követhető a vizsgált elemek mobilitásnak alakulása a talaj-növény rendszerben, a vizsgálati eredmények összevethetőek a nehézfémek talajban mutatkozó oldhatóságával, illetve vizsgálható az is, hogy a határérték feletti növényi nehézfémakkumuláció okoz-e fitotoxikus tüneteket.

A fontosabb növényvizsgálati eredmények:

1. A borsó esetén a vegetatív szervekben szignifikáns dúsulást az arzén, a kadmium és a higany mutatott. A borsószemben csak a kadmium dúsult.
2. Az őszi árpa esetén a vegetatív szervekben az arzén és a kadmium, a szemtermésben a kadmium mutatott szignifikáns dúsulást.
3. A mustár esetén a növényi szervekben a kontrollhoz képest jelentős dúsulást a kadmium, mérsékelt dúsulást a cink mutatott.
4. A cirokban a kadmium és cink mutatott szignifikáns dúsulást. A többi vizsgált elem a cirokban statisztikailag igazolható (P=5%) módon nem akkumulálódott.
5. A fiatal kender növényben jelentéktelen mértékű, de statisztikailag (P=5%) igazolható dúsulás jelentkezett az arzén, a kadmium és a króm terhelés esetén. A többi vizsgált elem a kenderben jelentéktelen, P=5%-os szignifikancia szinten statisztikailag nem igazolható akkumulációt mutatott.
6. A lucernában 14 évvel a talajkezelést követően a vizsgált elemek közül az arzén és a kadmium mutatott enyhe, statisztikailag igazolható (P=5%) dúsulást.
7. A légszáraz növények nehézfém tartalma alapján a vizsgált nehézfémek mobilitási sorrendje a talaj-növény rendszerben a következő: Zn > Cu > Cd > Cr > As > Pb > Hg.
8. Három-négy évvel a szennyezés után a toxikus elemek depresszív hatása a növények növekedésére, fejlődésére megszűnt, jelentősen mérséklődött, a növényi nehézfémakkumuláció a természetett növénytől, növényi szervtől függő mértékben azonban továbbra is megmaradt.
9. A toxikus elemek dúsulása a növényekben a fejlődési szakasz elején kifejezettebb mint a tenyészidőszak végén.
10. A szemtermés védett a vizsgált nehézfémek többségével szemben, csak a kadmium, a króm és ólom jelent meg benne.

3.3. A növények és a szántott réteg nehézfém tartalmának összehasonlításának eredményei

Az egyes nehézfémek növénybeni dúsulása, illetve felvehetősége a talaj-növény transzfer koefficiensek meghatározásával is értékelhető. A talaj-növény transzfer koefficiens értékét a növények nehézfém tartalmának és a talaj „összes” (cc. HNO_3 + cc. H_2O_2 oldható) elem tartalmának hányadosa adja. A talaj-növény transzfer koefficiensek értékeinek számítására azokban a kísérleti években (2001, 2002, 2007) kerülhetett sor, amelyekben a talaj „összes” elem tartalma is meghatározásra került.

Jelentős nehézfém felvétel az esszenciális elemeknél (réz, cink) és a kadmiumnál volt tapasztalható. Legnagyobb mértékű akkumulációt a cink mutatott, a kísérleti növények átlagosan a talaj „összes” elem tartalmának 68%-át vették fel. A mustár a talaj „összes” Zn-tartalmának másfélszeresét halmozta fel. A réz és a kadmium transzfer koefficiense közel egyező (0,23 és 0,31) értéket mutatott. A réz transzfer koefficiense a kísérleti növényekben az átlag érték körül ingadozott, míg a kadmium esetén a mustár növényre számított transzfer koefficiens 0,86-os értéke jelentősen befolyásolta a kadmiumra számított átlagértéket. A talaj-növény transzfer koefficiensek értékei alapján a vizsgált nehézfémek mobilitási sorrendje a talaj-növény rendszerben a következők szerint alakult: $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Hg}$.

Az egyes nehézfémek talaj-növény transzfer koefficiensének ismeretében lehetőség van annak vizsgálatára, hogy a LAKANEN-ERVIÖ (1971) módszerrel meghatározott „oldható” elem tartalom mennyiben felel meg a tényleges növényi elem felvételnek. A megfelelés vizsgálatához meghatározásra kerültek az egyes nehézfémek megoszlási arányának értékei a talaj „oldható” (NH_4 -acetát + EDTA oldható) és „összes” (cc. HNO_3 + cc. H_2O_2 oldható) elem tartalmának hányadosaként. A talaj-növény transzfer koefficiensek értékeinek és a megoszlási arányoknak az összehasonlítása alapján elemenként eldönthető az, hogy a NH_4 -acetát + EDTA oldható elem tartalom mennyiben felel meg a növények által felvehető elem tartalomnak.

A megoszlási arányok átlaga a legtöbb elem esetén jelentősen meghaladta a talaj-növény transzfer koefficiensek értékét. Ez alól kivételt a higany, króm és a cink képez. A higany, a króm, a kadmium és a réz esetén a NH_4 -acetát + EDTA oldható elem tartalom jó közelítette a növények számára felvehető elem tartalmát. Meg kell jegyezni azonban azt, hogy az oldható formában kiadott higany és króm sók rövid idő alatt oldhatatlan formákká alakultak, így a kísérleti növényekben a higany nem, a króm pedig csak kismértékben volt kimutatható. A cink esetén a megoszlási arány értéke a transzfer koefficiens értékének 1/5-e volt. Ez azt mutatja, hogy cinkből a talajnak lehetnek olyan növények számára felvehető tartalékai, amelyek LAKANEN-ERVIÖ (1971) módszerrel nem mutathatók ki.

3.4. A növények és a szántott réteg nehézfém tartalma közötti összefüggések vizsgálatának eredményei

2001-ben, 2002-ben és 2007-ben a talaj szántott rétegében az „oldható” és az „összes” elem tartalom meghatározása is megtörtént. A mérési eredmények alapján az ezekben az években termesztett növények

esetén a növényi nehézfém tartalom és a szántott réteg nehézfém tartalma közötti összefüggések vizsgálatára is sor kerülhetett. Az összefüggés-vizsgálatot regresszió analízissel és a variációs koefficiensek (CV) értékének meghatározásával végeztem. A függvénykapcsolatok és az abból levont következtetések az esetek többségében csak tájékoztató jellegűek, hiszen az összefüggés-vizsgálat a kísérlet sajátosságából adódóan csak a mérések 4-4 átlageredményére terjedhetett ki.

Az ólom és higany esetén a növényi akkumuláció a kimutathatósági határ alatt volt, a kezelések hatása réznél és - a mustár kivételével – a krómnál a növényekben nem volt kimutatható. Az őszi árpa, a mustár, a lucerna és a szántott réteg „oldható”, valamint „összes” As-, Cd- és Zn-tartalma közötti összefüggés-vizsgálatok lineáris és logaritmusos függvénykapcsolatot mutattak. A függvénykapcsolatok a meghatározott variációs koefficiensek értéke alapján többségében matematikai modellként értékelhetőek. Az összefüggés vizsgálati eredmények alapján meghatározható, hogy határérték feletti növényi nehézfémakkumuláció a talaj milyen értékű „oldható” és „összes” nehézfém tartalmánál jelenik meg.

3.5. Új tudományos eredmények

1. Csernozjom barna erdőtalajon a talaj szántott rétegében a kísérleti elemek NH_4 -acetát + EDTA oldható és cc. HNO_3 + cc. H_2O_2 oldható elem tartalmának százalékos arányából meghatározott oldhatósági sorrend a kísérleti évek átlagában a következő volt: $\text{Cd} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Zn} > \text{Hg} > \text{Cr}$. A kísérleti évek során a legoldhatóbb és a legkevésbé oldható elemek csoportja nem változott. A szántott talajrétegben a Cd, Pb, Cu, Zn hosszú ideig oldható formában marad, míg a Cr és a Hg a gyorsan oldhatatlanná válik.
2. A csernozjom barna erdőtalajon termett borsó esetén (*Pisum sativum L.*) a vegetatív szervekben a kontrollhoz képest jelentős, szignifikáns dúsulást az arzén, a kadmium és a higany mutatott. A borsószemben szignifikánsan csak a kadmium dúsult. A borsóra enyhe toxicitást a kísérlet negyedik évében a vizsgált elemek közül csak a króm gyakorolt. A termésjellemzők alakulására az As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn depresszív hatása nem volt kimutatható. Az arzén-, kadmium- és higanyakkumuláció látható tünetek és termés csökkenés nélkül következett be a növényben.
3. A csernozjom barna erdőtalajon termett őszi árpa (*Hordeum vulgare L.*) esetén a vegetatív szervekben a kontrollhoz képest jelentős, szignifikáns dúsulást az arzén és a kadmium mutatott. A szemtermésben a kadmium szignifikánsan, a króm tendenciaszerűen dúsult. A növény vizsgálatok szerint egyik nehézfém sem volt toxikus az őszi árpára. A kezelések nem gátolták a növények fejlődését és a termés képzést. A termésjellemzők alakulására az As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn depresszív hatása nem volt kimutatható. Az arzén- és a kadmiumakkumuláció látható tünetek és termés csökkenés nélkül következett be a növényben.
4. A csernozjom barna erdőtalajon termett fehér mustár (*Sinapis alba L.*) esetén a növényi szervekben a kontrollhoz képest jelentős dúsulást a kadmium, mérsékelt dúsulást a cink mutatott. A fiatal mustár növényben a kadmium és a cink szignifikánsan dúsult, a növény öregedésével a dúsulás csak tendenciaszerűen jelentkezett. Az arzén, a higany és az ólom a növényi szervekben nem volt kimutatható.

A mustár érzékenyen reagált a talaj kadmium, króm és réz kezelésére, a kadmium, króm és réz toxikus hatása a mustár fenológiai tulajdonságaiban is megmutatkozott.

5. Csernozjom barna erdőtalajon a talaj szántott rétegének NH_4 -acetát + EDTA oldható nehézfém-tartalma a Hg, a Cr, a Cu és a Cd esetén jól közelítette, az As és az Pb esetén nagyságrendileg meghaladta a tényleges növényi nehézfémfelvételt. A Zn esetén a tényleges növényi Zn-felvétel a szántott réteg NH_4 -acetát + EDTA oldható Zn-tartalmának ötszörösének adódott.
6. Csernozjom barna erdőtalajon a talaj-növény transzfer koefficiensek értéke alapján a vizsgált nehézfémek mobilitási sorrendje a talaj-növény rendszerben a következő sorrendet mutatta: $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Hg}$. A mobilitási sorrendben néhány növény esetén a cinket a kadmium, illetve a króm követte. A növényekben legkevésbé az ólom és higany akkumulálódott, az akkumuláció mértéke a legtöbb növény esetén kimutathatósági határ alatt maradt.
7. Csernozjom barna erdőtalajon, a szántott talajréteg vizsgált nehézfémkoncentráció tartományában
 - a szántott talajréteg As- és Cd-tartalma az őszi árpa, a lucerna és a fehér mustár vegetatív szervei esetén lineáris, az őszi árpa szemtermés esetén logaritmikus kapcsolatot mutatott a növényi As-, valamint Cd-tartalommal,
 - a szántott talajréteg Zn-tartalma az őszi árpa, a lucerna és a fehér mustár esetén lineáris kapcsolatot mutatott a növényi Zn-tartalommal,
 - az arzén, a kadmium és a cink esetén szoros korreláció volt kimutatható a talaj és növény arzén-, a kadmium- és a cink-tartalma között.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

4.1. Következtetések

A vizsgált nehézfémek oldhatósági viszonyainak, talajban való akkumulációjának alakulására vonatkozó következtetések:

1. Az Al-terhelések statisztikailag igazolhatóan ($P=5\%$) növelték a szántott talajréteg „oldható” Al-tartalmát, azonban nagyságrendnyi dúsulást nem eredményeztek, hiszen az Al-szilikátok a legfőbb talajalkotók, így tömegükhöz képest a 270 kg/ha adagú Al-terhelés is jelentéktelennek bizonyult.
2. A szántott talajréteg „oldható” As-tartalma a kísérlet harmadik évében 1/5-ére, a negyedik évben 1/20-ára mérséklődött, majd a további években az „oldható” As-tartalom a kezelési szintektől függően 0,5-7,2 mg/kg között alakult. A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy az arzén a talajban meglehetősen nehezen mozog, és nem lúgozódik ki.
3. A szántott talajréteg „oldható” Cd-tartalma a kísérlet harmadik évében 4/5-ére, a következő évben a 2/5-ére csökkent, majd mennyisége lassan mérséklődött. A kísérlet további éveiben az „oldható” frakció a kezelési szintektől függően 4,2-35 mg/kg közötti értéket vett fel. A kísérlet során a talaj szántott rétegében a kadmium bizonyult a legoldékonyabb elemnek. A Cd-kezelés a beviteli zónában maradt, mélységi elmozdulása kizárhatónak tekinthető, a kilúgozásnak a kadmium ellenáll.

4. A króm „oldható” frakciója már a kijuttatást követő hat hónap elteltével 1/10-ére csökkent a szántott talajrétegben. Három évvel a szennyezést követően a kijuttatott Cr-szennyezés 0,7%-a volt visszamérhető, a kísérlet további éveiben az „oldható” frakciója a kezelési szintektől függően 0,1-0,8 mg/kg közötti koncentrációban volt kimutatható. A kísérlet során a talaj szántott rétegében a króm bizonyult a legkevésbé mobilis elemnek, az „oldható” formában adott króm a feltalajban feltételezhetően Cr-oxid formájában gyorsan megkötődött. A talajvizsgálatok a króm kifejezett mélységi elmozdulását, gyors kilúgozódását bizonyították, a kilúgozódás az egész talajszelvényben nyomon követhető volt.
5. A szántott talajréteg „oldható” Cu-tartalma a kísérlet harmadik évében a felére, a kísérlet nyolcadik évére a harmadára csökkent, a további években koncentrációja a kezelési szintektől függően 8-30 mg/kg között volt mérhető. A réz a talajban oldékony elemnek tekinthető, oldékonysága a vizsgált elemek oldhatósági rangsorában a harmadik. A réz a szántott rétegben megkötődött és nehezen oldható formákká alakult, mélységi elmozdulása kizárható.
6. A higany „oldható” frakciója már a kijuttatást követő hat hónap elteltével 1/8-ára csökkent a szántott talajrétegben. Három évvel a szennyezést követően a kijuttatott Hg-szennyezés 0,7%-a volt visszamérhető, a kísérlet további éveiben a higany „oldható” formában a feltalajban nem volt kimutatható. A kísérleti eredmények azt mutatták, hogy a higany sói gyorsan megkötődnek a talajban, beépülnek a kristályrácsokba, illetve mikrobiológiai úton illó vegyületekké alakulnak át. A higany esetén dúsulás a mélységi rétegekben nem volt kimutatható.
7. Az ólom „oldható” frakciója a harmadik kísérleti évben a szántott talajrétegben 1/3-ára csökkent, majd a további években gyakorlatilag nem változott, értéke kezelési szintektől függően 7-36 mg/kg között mozgott. A kísérleti eredmények szerint az ólom a talaj legmobilisabb elemei közé tartozik. A mélységi talajvizsgálatok szerint a talaj 30-60 cm-res rétege enyhe Pb-dúsulást mutatott, ami az ólom mélységi elmozdulására, kilúgozására utalt.
8. A cink „oldható” frakciója a kísérlet harmadik évében a felére, a következő évben a negyedére csökkent a szántott talajrétegben, majd mennyisége stabilizálódott (6,5-17 mg/kg). A cink a kísérletben nem bizonyult mobilis elemnek. A cink mélységi elmozdulást nem mutatott, megkötődött a bevitel helyén, a kilúgozásnak ellenállt.
9. A 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben a vizsgált elemekre meghatározott szennyezettségi határértékeket kísérleti adatainkkal összevetve megállapítható, hogy a maximális talajterhelésnél (270 kg/ha) a kijuttatást követő 12-14. évben mért „összes” elemkoncentrációk az arzén, a higany és a kadmium esetén a jelentősen meghaladták a talajszennyezettségi határértékeket.

A vizsgált nehézfémek talaj-növény rendszerben való akkumulációjának alakulására, fitotoxikus hatására vonatkozó következtetések:

1. Az alumíniumterhelés negatív hatása a növényekben nem jelentkezett. A növények, növényi szervek Al-koncentrációja nagy szórást mutatott, sem tendenciaszerű, sem statisztikailag igazolható (P=5%) Al-dúsulás a kísérleti növények esetén nem volt meghatározható.

2. Az arzén kifejezett depresszív hatása a kísérlet első két évében mutatkozott meg, a kísérlet további éveiben a depresszív hatás a vizsgált növények esetén mérséklődött, majd megszűnt. Az arzén a maximális terhelésnél sem dúsult a növényi szövetekben, mindössze néhány növény vegetatív szerve mutatott némi akkumulációt. A kísérleti növények szemtermése védettnek bizonyult az As-szennyezéssel szemben. A kísérleti eredmények alapján kijelenthető, hogy az arzén mozgása gátolt a talaj–növény rendszerben, mozgékonyága a kísérlet negyedik évétől jelentősen csökkent.
3. A kadmium fitotoxikus hatást a kísérlet második évében mutatott, a kísérlet további éveiben a vizsgált növények esetén a toxikus hatás mérséklődött, majd megszűnt. A kadmium minden növényi szervben akkumulálódott, mozgékonyágát hosszú ideig megtartotta a talaj–növény rendszerben, azonban mozgékonyága a jelentéktelen mértékű akkumuláció miatt mérsékeltnek tekinthető. A kadmium minden jelzőnövény esetén enyhe dúsulást mutatott. A vegetatív szövetekben az akkumuláció általában tendenciaszerű volt, csak a legnagyobb adagú kezelés (270 kg/ha) okozott statisztikailag igazolható ($P=5\%$) hatást. A vizsgált elemek közül a szemtermésben kizárólag a Cd-dúsulás okozott statisztikailag igazolható kezeléshatást. A növényi Cd-akkumuláció a 270 kg/ha adagú kezeléseknél csaknem minden növény, növényi szerv esetén megakadályozta a humán és a takarmányozási célú felhasználást.
4. A króm toxicitása a 270 kg/ha adagú terhelésnél kifejezett volt az első három év során, majd jelentősen mérséklődött, a Cr(VI) fokozatosan kevésbé mérgező Cr(III) vegyületté alakult a talajban. Néhány növény esetén a króm stimulatív hatása volt megfigyelhető. Kifejezett Cr-akkumulációt a kísérlet második évében az őszi búza mutatott. A további kísérleti években a króm jelentéktelen dúsulást mutatott a növényi szövetekben, ezért nem minősíthető mobilnak a talaj–növény rendszerben sem.
5. A réz kifejezett depresszív hatása a kísérlet első két évében mutatkozott meg, a kísérlet további éveiben a depresszív hatás a vizsgált növények esetén mérséklődött, majd megszűnt. A kísérleti növényekben csak néhány esetben a 270 kg/ha-os terhelési szinten jelentkezett mérsékelt Cu-akkumuláció. Az egyes növényi szövetek Cu-tartalma kiegyenlített értéket mutatott. Statisztikailag igazolható ($P=5\%$) kezeléshatást a réz esetén csak az 1995-ös búza kísérlet mutatott, a későbbiekben igazolható kezeléshatás egyik növény esetén sem volt kimutatható.
6. A fitotoxikus hatásra utaló jeleket és jelentős Hg-dúsulást a kísérlet első jelzőnövénye az őszi búza mutatott (a szemtermés azonban nem szennyeződött), a később termesztett növényfajoknál sem toxicitás, sem érdemi dúsulás nem lépett fel. A higany mozgékonyága a talaj–növény rendszerben a szennyezést követő második évtől szinte teljesen megszűnt. A kísérleti eredmények szerint a higany nem tekinthető mobilisnak a talaj–növény rendszerben.
7. Az ólom depresszív hatása a talaj–növény rendszerben nem volt statisztikailag igazolható ($P=5\%$), néhány esetben az ólom stimulatív hatása volt megfigyelhető. A talaj Pb-terhelése a kísérlet első négy évében a jelzőnövényekben mérsékelt Pb-felhalmozást eredményezett, ami az ezt követő években nem volt tapasztalható. Kezeléshatás csak a kísérlet első évében az őszi búzában volt kimutatható, amelyenél az ólom a magtermésben is felhalmozódott. Az eredmények alapján az ólom nem tekinthető mobilisnak a talaj–növény rendszerben.

8. A cink az első két jelzőnövény esetén kifejezett depresszív hatást mutatott a növények növekedésére, fejlődésére, amely a kísérlet negyedik évétől teljesen megszűnt. Néhány növény esetén a Zn-kezelésnek stimulatív hatása volt. A talaj cinkkel való jó ellátottsága miatt a kontroll növények cinktartalma magasnak mutatkozott. A cinkterhelések hatására a kísérleti növények vegetatív és generatív szervei mérsékelt dúsulást mutattak. Kiemelkedő és statisztikailag igazolható (P=5%) cinkfelhalmozódás a napraforgó (37-80 mg/kg), cirok (35-81 mg/kg) és a mustár (87-158 mg/kg) esetén volt tapasztalható. Összességében a cink, mint esszenciális elem a talaj-növény rendszerben mobilis elemnek tekinthető.
9. Az alumínium és a kadmium kevésbé akkumulálódik a humán fogyasztásra és takarmányozásra szolgáló szántóföldi növényekben, növényi szervekben, így érdemi terheléses vizsgálat ezen elemek esetén nem végezhető.
10. A növényvizsgálatok során a talajszennyezési szempontból jelentősebbnek ítélt elemek (Pb, Cd, Hg, Cu, Zn) ugyan a kísérlet első éveiben mérgezőek voltak, de közülük később csak a kadmium bizonyult veszélyes talajszennyezőnek. A vizsgált elemek közül a kadmium mellett a legveszélyesebbnek az arzén és a króm mutatkozott.
11. A kezelések fitotoxikus hatásának csökkenésében az elemek oldható frakcióinak átalakulása mellett szerepe lehetett annak is, hogy a fémek vízoldható sóiban kiadott anionok (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) is lekötődtek vagy kimosódtak a felső talajrétegből.

4.2. Javaslatok

A kísérleti eredmények alapján a következő javaslatok fogalmazhatóak meg:

1. A nehézfémek mélységi elmozdulásának vizsgálatára a kísérlet harmadik évében került sor, a mintavétel csak 60 cm mélységig terjedt. A mintavétel időbeni és térbeli korlátai miatt a mélységi vizsgálatok csak tájékoztató jellegű információkat adtak. A kilúgozás lassú folyamat, így a kilúgozás ténye, mértéke, dinamikája a kísérlet második évének adatai alapján nem bírálható el egyértelműen, ehhez további, esetleg mélyebb talajrétegekre kiterjedő vizsgálatokra lenne szükség.
2. A kísérleti eredmények a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben meghatározott szennyezettségi határértékek felülvizsgálatát indokolják az arzén és a kadmium vonatkozásában.
3. A talaj „oldható” elemtartalma a növényi felvétel szempontjából meghatározóbb, mint az „összes” elemtartalom, ezért egy adott elem fitotoxikussága jobban megítélhető az „oldható” elemtartalom alapján. Ennek megfelelően célszerűnek tűnik a toxikus nehézfémek vonatkozásában a talajszennyezettségi határértékeket az „összes” elemtartalom mellett „oldható” elemtartalomra is megadni.
4. A talajok kadmium- és cinkfelvehetőségét befolyásoló egyik legfontosabb tényező a pH, alacsonyabb pH-n nagyobb a növények kadmium- és cinkfelvétele. Ezért a magas háttérszennyezettségű talajok kadmium és cinktartalma meszezéssel csökkenthető. A Zn-tartalom tovább csökkenthető a foszfor-cink antagonizmus révén a cinket jól akkumuláló növényfajok foszfor műtrágyázásával.
5. A vizsgálatok szerint a virágzás előtti mustár a kadmium és cink fitoremediációjára alkalmas növény lehet.

IRODALOM

- CSATHÓ P. (1994a): A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. Tematikus szakirodalmi szemle. MTA-TAKI, Budapest. 116 p.
- CSATHÓ P. (1994b): Nehézfém- és egyéb toxikus elem-fogalom a talaj-növény rendszerben. Agrokémia és Talajtan 43: 371-398. p.
- FODOR L. (2002): Nehézfémek akkumulációja a talaj-növény rendszerben. Doktori (PhD) értekezés. VE Georgikon Mezőgazdaság Tudományi Kar, Keszthely, 141 p.
- KÁDÁR I. (1992): A növény táplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest. 398 p.
- KÁDÁR I. (1991): A talajok és növények nehézfém tartalmának vizsgálata. KTM, MTA TAKI. Budapest. 84. p.
- KÁDÁR I. (1995): A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. Akaprint. KTM, MTA TAKI, Budapest. 388 p.
- KÁDÁR I. (1996a): Zárójelentés a „környezetünk nehézfém terhelésének vizsgálata 1994-1996” c. témában elért 1996 évi kutatásokról. Kézirat. MTA TAKI. Budapest. 40 p.
- KÁDÁR I. (1996b): Jelentés „A különböző nehézfémekkel beállított tartamkísérletek eltérő kezelésű parcelláinak talajszelvényében található nehézfémek mérése, mélységi elmozdulásának vizsgálata és a vizsgálati eredmények értékelése” c. témában. Kézirat. MTA TAKI. Budapest. 15 p.
- KÁDÁR I. (2001b): A tápláléklánc szennyeződése nehézfémekkel, mikroelemekkel. Magyar Tudomány. 5: 566-575. p.
- KÁDÁR I., MORVAI B., SZABÓ L. (1998): Phytotoxicity of heavy metals in long term field experiments. In: Soil Pollution (Ed. Filep, Gy.). Agricultural University, Debrecen. 138-143. p.
- LAKANEN, E., ERVIÖ, R. (1971): A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soil. Acta Agr. Fenn. 123: 223-232. p.
- SIMON L. (1999a): Fitoremediáció. In: Simon L.(szerk.) Talajszennyeződés, talajtisztítás. Környezetügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató. 5. kötet. Budapest. 221 p.
- SIMON L. (2006a): Toxikus elemek akkumulációja, fitoindikációja és fitoremediációja a talaj-növény rendszerben. MTA Doktori értekezés. Nyíregyháza. 158 p.
- SVÁB J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 516 p.
- VÁRALLYAY GY. (szerk.) (1995): Talajvédelmi információs és monitoring rendszer I. Módszertan. FM Növényvédelmi és Agrár-környezetgazdálkodási Főosztály, Budapest. 92 p.
- MSZ-08-1722/1-1989: Talajvizsgálatok. Talajkivonatok készítése. MSZH.
- 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti vízszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Folyóiratcikk

Lektorált folyóiratcikk idegen nyelven

FODOR, L., **SZEGEDI, L.**, TURY, R. (2010): Heavy metals in the soil-plant system. *Növénytermelés*. 59. Supplement. 405-408.

FODOR L., BÉLTEKI I., **SZEGEDI L.** (2011): Nitrogen uptake and nitrogen content of winter wheat grown on heavy metal amended soil. *Növénytermelés*. 60. Supplement. 227-230.

Lektorált folyóiratcikk magyar nyelven

L. SZEGEDI, L. SZABÓ, E. FODORNÉ FEHÉR (2008): Mátraaljai barna erdőtalaj mikroelem tartalmának vizsgálata terhelési tartamkísérletben. *Tájökológiai Lapok* 6: 363-372.

TURY R., SZAKÁL P., **SZEGEDI L.** (2008): A tavaszi árpa (*Hordeum vulgare L.*) nehézfém-akkumulációja a gyöngyösoroszi bányameddőn különböző kezelések hatására. *Talajvédelem különszám*. p. 341-349.

Konferencia kiadványok

Idegen nyelvű, teljes

L. NAGYPÁL, L. SZABÓ, **L. SZEGEDI** (2008): Toxic element accumulation in white mustard (*Sinapis alba L.*) during long term load experiments. *Cereal Research Communications* Vol. 36. Supplement 5. pp. 2035-2038. Akadémiai Kiadó.

L. SZABÓ, **L. SZEGEDI** (2006): Changes of availability of some microelements in heavy metal amended soil. *Cereal Research Communication* Vol. 34 No.1. pp. 303-306. Akadémiai Kiadó. IF: 1,037.

L. SZABÓ, M. TAKÁCS HÁJOS, P. MÁTHÉ, **L. SZEGEDI** (2008): Testing humus content of soil polluted by metal ions. *Cereal Research Communications* Vol. 36. Supplement 5. pp. 1087-1090. Akadémiai Kiadó.

L. SZEGEDI (2008): The examination of the mobility of some microelements on brown forest soil. *Cereal Research Communications* Vol. 36. Supplement 5. pp. 1011-1014. Akadémiai Kiadó.

L. FODOR, L. SZABÓ, **L. SZEGEDI** (2005): Effects of Microelement Loads on Winter Barley Grown on Brown Forest Soil. *Innovation and Utilization in the Visegrad Four*. Vol.1. Nyíregyháza 19-24 p.

L. FODOR, L. SZEGEDI (2006): Study of availability of some microelements applied at high rates to the soil. In: Szilágyi, M. - Szentmihályi, K. (eds.) *Trace elements in the food chain*. Proc. of the Int. Symp. on TEFC. HAS, Budapest. ISBN 963 7067 132. pp. 329-334.

L. SZEGEDI (2005): The environmental economic relations of soil contamination. *Management and economy of ecological agricultural production*. Liptovská Teplicka, 77-85 p

L. SZEGEDI, L. SZABÓ, M. TAKÁCS HÁJOS (2007): Study of vertical movement of some microelements in the soil. Joint international conference on long-term experiments. Agricultural research and natural resources. Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences and the University of Debrecen Faculty of Agriculture - University of Oradea Faculty of Environmental Protection Town Council Nyírlugos, Debrecen- Nyírlugos, 604-608 p.

Magyar nyelvű teljes

SZEGEDI L. (2007): Mikroelem szennyezések utóhatásának vizsgálata barna erdőtalajon. Első Nemzetközi Környezettudományi és Vízgazdálkodási Konferencia, *Tessedik Sámuel Főiskola Tudományos közlemények*, 2007. Tom. No. 1.3. kötet, Szarvas, 707-713 p.

SZEGEDI L., PETHES J., TÚRY R. (2008): a Fehér mustár fenológiai és agronómiai tulajdonságainak vizsgálata terhelési tartamkísérletben. *XI. Nemzetközi Tudományos Napok*. 2. kötet, Károly Róbert Kht. Kiadó, Gyöngyös. 654-659. p.

TURY R., SZAKÁL P., SZEGEDI L. (2008): A lucerna növekedése nehézfém-tartalmú meddőhányón különböző kezelések hatására. *Tájökológiai Kutatások*. p. 327-331. Budapest

TÚRY R., SZAKÁL P., SZEGEDI L. (2008): Lucerna (*Medicago sativa*) növekedése, valamint réz és cinktartalma nehézfém-tartalmú meddőhányón különböző kezelések hatására. *XI. Nemzetközi Tudományos Napok*. 2. kötet, Károly Róbert Kht. Kiadó, Gyöngyös. 712-714. p.