



Szent István Egyetem
Környezettudományi Doktori Iskola

**Talaj-ökotoxikológiai vizsgálatok a
közönséges televényféreggel (*Enchytraeus albidus*)**

Doktori (Ph.D) értekezés tézisei

Somogyi Zoltán

Gödöllő
2012

A doktori iskola

megnevezése: Környezettudományi Doktori Iskola

tudományága: Környezettudomány

vezetője: **Dr. Heltai György**
egyetemi tanár, MTA Doktora, tanszékvezető
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,
Környezettudományi Intézet
Kémia és Biokémia Tanszék

témavezető: **Dr. Kiss István**
egyetemi docens, P.hD.
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,
Állattudományi Alapok Intézet
Állattani és Állatökológiai Tanszék

konzulens: **Dr. Bakonyi Gábor**
MTA doktor, egyetemi tanár
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,
Állattudományi Alapok Intézet
Állattani és Állatökológiai Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

.....
A konzulens jóváhagyása

ELŐZMÉNYEK ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Az emberiség egyre aggasztóbb problémája a talaj, a víz és a levegő növekvő mértékű elszennyeződése. Társadalmunk fejlődése nem kis mértékben a különböző kémiai elemek felhasználásán alapul. A növekvő népesség egyre nagyobb szükségletének, igényeinek kielégítése a termelés és a fogyasztás exponenciális növekedéséhez vezetett. Az ásványi nyersanyagok kitermelése és felhasználása egészen a közelmúltig olyan ütemben és mértékben történt, mintha a készletek kimeríthetetlenek lennének a Földön.

Az elmúlt évszázadban Magyarország gazdasági struktúrája is jelentős változásokon esett át. Különösen a II. világháborút követően felgyorsult az iparosodás, erőteljesen nőtt a mezőgazdaság kemizálása és gépesítése. Ugrásszerűen nőtt a különböző környezeti elemek, mint a levegő, a víz és különösen a talaj szennyezése. Az 1960-as évek óta végzett kutatások eredményei egyértelműen mutatják, hogy különösen az ipari, mezőgazdasági körzetekben ugrásszerűen megemelkedet a talaj mikroelem és nehézfém koncentrációja. Igaz, hogy számos esetben ezek a szintek még nem érik el azt az értéket, hogy az emberre akut módon hassanak, a táplálékláncban felhalmozódva ugyanakkor hosszú távon bizonyíthatóan egészségkárosodást okozhatnak.

Az ember, döntően a talajban termesztett növényekből származó élelemre utalt. A talajok és a rá ható környezeti tényezők között dinamikus egyensúly áll fenn. Ez az egyensúly a növekvő emberi tevékenység hatására mind sérülékenyebbé válik. A földi élő rendszerek, így a talaj sem képesek rövidtávon alkalmazkodni a drasztikus környezeti átalakulásokhoz. A különböző mikroelemekkel, nehézfémekkel szennyezett talajok alapvető környezeti problémát jelentenek, hiszen számos elem a feltalajban maradvá hosszú évtizedekig megőrizheti potenciális mérgező hatását. A már szennyezett területeket ezért megkülönböztetett figyelemmel kell kezelni. Törekedni kell ezen elemek talajban lejátszódó kémiai folyamatainak, növények általi felvehetőségének, a táplálékláncban betöltött szerepük, viselkedésük mind szélesebb körű megismerésére.

Toxikusnak tekintünk egy anyagot (kémiai elemet, vegyületeit, szerves anyagot), amennyiben káros hatást fejt ki a talajra, a növényre, az állatra és az emberre. Számos ásványi elem nélkülözhetetlen vagy legalábbis előnyös élet-tani hatású, de mérgezővé vagy károssá válik túlsúlya esetén. A talaj szennyezettség tehát az adag, a terhelés, illetve a koncentráció függvénye. A toxicitás más oldalról is relatív fogalmat takar. Mértékét a fajlagos, azaz egységnyi koncentrációra eső negatív hatással (terméscsökkenés, megbetegedés) mérhetnénk. Ez a hatás nem független azonban a környezetben előforduló

más anyagok, kémiai elemek jelenlététől vagy hiányától, a lehetséges kölcsönhatásoktól. Ez a hatás függ az expozíciós időtől is. A rendszeres, tartós, kisadagú terhelés alattomosabb lehet, mert nehezebben észrevehető az akkumuláció. A növekvő terhelés krónikus zavarokat, míg az egyszeri nagy adag akut megbetegedést, a letális dózis pedig pusztulást okozhat. Másként jelentkezik a károsodás a fejlődés különböző stádiumaiban, eltérhet nemenként, fajonként, egyedenként. Fontos lehet, hogy a káros anyag milyen formában található. A toxicitás kritériuma, hogy az anyag könnyen oldható, illetve felvehető legyen. Összefoglalva megállapítható, hogy a toxicitás problémája rendkívül összetett. A mérgező vagy káros hatás függhet számos tényezőtől, mint a koncentráció, ionállapot vagy oxidációs fok, expozíciós idő, vegyület formája, fizikai eloszlás és fajlagos felület, a rendszerben előforduló más anyagok jelenléte és azokkal való kölcsönhatás, az élő szervezettel történő érintkezés módja és a bejutás körülményei (felületre, táplálékba, közvetlenül vérbe vagy légzőszervekbe).

A kutatás célkitűzései

A talaj szennyezettségének megállapításakor tudatában kell lennünk a mintavétel és az analízis hibaforrásainak mértékéről. Még ha kellő gondossággal vizsgáltuk is meg a területet és becsültük a talajban a koncentrációkat, nem szabad elfelejteni, hogy a koncentráció önmagában nem sokat mond. Döntő a környezetre való hatás, a veszélyeztetettség, amely a hasznosítás és a talajviszonyok függvénye. Tehát az analitikai adatok csak a termőhelyi tulajdonságok ismeretében értelmezhetők.

A doktori disszertációban leírt kutatások célja volt megállapítani, hogy egy mikroelem hatástartam vizsgálatban:

- Az MTA Talajtani és Agrokémiiai Kutatóintézet nagyhorcsöki tartamkísérletében alkalmazott 13 nehézfém és mikroelem közül az általunk kiválasztott elemek, kadmium (Cd), króm (Cr), réz (Cu), higany (Hg), ólom (Pb), cink (Zn), szelén (Se) hét évvel a kijuttatásuk után miként befolyásolják a tesztállat mortalitását és reprodukciós képességét?
- Amennyiben hatásuk kimutatható, az miben nyilvánul meg (gátló vagy serkentő)?
- Amennyiben egynél több elem esetében mutatható ki hatás, úgy az hét évvel a kijuttatást követően mely elem esetében a legjelentősebb?

A kísérletek eredményeinek értékelése alapján megtervezett akut hatásvizsgálatok célja volt megvizsgálni, hogy:

- Milyen hatással van a friss szennyezőként talajba juttatott szelén (Se), a korábban vizsgált paraméterekre, laboratóriumi körülmények között?
- Van-e hatáskülönbség a szelén talajban előforduló két felvehető formája, a szelenit és a szelenát között?
- A hatáskülönbségeket befolyásolják-e a különböző, mezőgazdaságilag művelt területekről származó talajok?

ANYAG ÉS MÓDSZER

A kísérleti állat

Vizsgálatainkat a közönséges televényféreg (*Enchytraeus albidus*, Henle 1837) alkalmazásával végeztük el. A kísérleti állat törzstenyészetét Jörg Roembke az ECT Oekotoxikologie GmbH (D-65439 Floersheim am Main, Germany) egyik tulajdonosa bocsátotta rendelkezésünkre. A tenyészet tisztaságát Dózsa-Farkas Klára Professzor Asszony, az ELTE Állatrendszertani és Ökológiai Tanszékének tanára ellenőrizte.

A törzstenyészet fenntartására az állatokat lukasztott fedelű, műanyag dobozban, fénymentesen termosztátban tartottuk, hagyományos, boltban kapható, általános virágföld és porított tőzeg keverékén. A talaj anyagát felhasználás előtt autoklávban sterilizáltuk. A termosztát hőmérséklete 17-18°C, páratartalma 70-80% közötti volt. A talaj víztartalmát a vízkapacitás 55-60% közé állítottuk be. A dobozokban lévő földet hetente egyszer óvatosan átmozgattuk, ekkor ellenőriztük a közeg nedvességtartalmát és ekkor történt az etetés is, porított zabpehely, ill. porított gabonapehely keverékével. A törzstenyészetek talaját, változó időközönként, de átlag 3-4 havonta frissíteni kellett, a nagy számban felszaporodó állatok miatt.

A mikroelem hatástartam vizsgálat során használt talaj származása

A kísérletben felhasznált talajt a MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete Nagyhorcsöki Kísérleti telepéről gyűjtöttük be. A telep Fejér megye déli részén, Sárbogárdtól mintegy 20km-re ÉNy-ra fekszik, az Alföld nagy tájának Dunántúlra eső Mezőföld részén helyezkedik el, a Ny-mezőföld „Bozót-sárvíz közti löszhát” geomorfológiai tájrészében. Tengerszint feletti magassága 140-150 m, talajképző kőzete 15-20 m vastagságú lösz. A terület hidro-

lógiai, éghajlati, növényföldrajzi viszonyai a Nagyalföldéhez hasonlóak. Részletes talajföldrajzi feltárások alapján a kísérleti terület a dunavölgyi mészlepedékes csernozjomok közepes és mélyebb humuszrétegű változata, 0,5-1 m humuszréteggel.

A mikroelem hatástartam vizsgálat során használt talaj szennyezése

A tartamkísérlet 1991-ben került beállításra bekerített kísérleti telepen, osztott parcellákon 4 terhelési szintben, 2 ismétléssel. A kísérleti kezeléseket és az alkalmazott sók formáit és a kijutatott hatóanyag mennyiségét az 1. táblázat ismerteti.

1. táblázat: A kísérlet során alkalmazott egyszeri terhelések 1991-ben

Elem jele	Adagolás 1991. tavasz, mg/kg				Alkalmazott sók formája
	0/10	30	90	270	
Cd	10	30	90	270	CdSO ₄ ·8/3H ₂ O
Cr	0	30	90	270	K ₂ CrO ₄
Cu	0	30	90	270	CuSO ₄ ·5H ₂ O
Hg	10	30	90	270	HgCl ₂
Pb	0	30	90	270	Pb(NO ₃) ₂
Se	10	30	90	270	Na ₂ SeO ₃
Zn	0	30	90	270	ZnSO ₄ ·7H ₂ O

A kísérlet beállítása óta a mintavételig eltelt idő alatt végbement változásokat a talajok mikroelem és nehézfém tartalmában a 2. táblázat szemlélteti.

A mikroelem hatástartam vizsgálat beállítása

Kísérleteinket az *Enchytraeus* Reprodukcion Test (ERT) előírásait figyelembe véve terveztük meg, figyelembe véve a Szent István Egyetem, Állattani és Állatökológia Tanszéken korábban más állatokkal elvégzett hasonló vizsgálatok eredményeit. A Se esetében a teljes szennyezési sort teszteltük, a többi elemnél (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) a legmagasabb kijutatott szennyezési szintű (270 mg/kg) parcellák talajaival kezdtük meg a vizsgálatokat és a kapott eredmények alapján folytattuk az alacsonyabb (90 mg/kg) terhelési szint tesztelésével.

A kísérlethez felhasznált talajokat a tanszék munkatársai 1998 nyarán hozták be a nagyhorcsöki kísérleti telepről. A későbbi felhasználásra szánt talajmintákat kiszárítva, lezárva, 5°C-os hőmérsékleten tárolták. A vizsgálat elindítása előtt az első feladat a lehűtött, kiszárított talaj felmelegítése és nedvességtartalmának beállítása volt. A nagyhorcsöki talaj 100%-os vízkapacitása 100g talajra vetítve 53,13g víz.

2. táblázat: Időbeli változás hatása a szántott réteg NH₄-acetát+EDTA oldható elemtartalmára.

Mintavétel éve	Terhelés 1991. tavaszán, mg/kg (összes elemtartalom)			
	0/10	30	90	270
Kadmium (Cd)				
1991	0	30	89	228
1994	0	14	44	164
1998	0	23,7	71	168
Króm (Cr)				
1991	0	2	6	30
1994	0	1	2	4
1998	0	0,4	0,9	1,5
Réz (Cu)				
1991	7	24	49	110
1994	4	23	65	192
1998	4	19,5	51	131
Higany (Hg)				
1991	0	4	49	189
1994	0	2	12	41
1998	0	0,1	2,2	17
Ólom (Pb) mg/kg				
1991	5	29	56	158
1994	5	29	101	260
1998	4	31	87	167
Szelén mg/kg				
1991	0	7	23	123
1994	0	8	33	89
1998	0	2	7	28
Cink (Zn) mg/kg				
1991	2	13	55	153
1994	1	19	44	147
1998	2	20	47	124

Szelén vizsgálata

Szelén esetében a kontrol talaj mellett négy terhelési szinten végeztünk vizsgálatokat. A terhelési szinteket az egyszerűbb azonosíthatóság végett a kijuttatási koncentrációkkal azonosítottuk. Vizsgálatonként hármas ismétléssel dolgoztunk, így összesen 15 tenyészedényt használtunk. Az edényekbe egyenként kimérve 20 g száraz talajt, 5,85 g vizet (víztartalom a vízkapacitás 55%-a), 0,6 g porított zabpelyhet kevertünk és erre helyeztünk 10 db kifejlett, petés állatot. Az edényeket parafilmmel zártuk le. Az így beállított kísérleti edények – a törzstenyészet tartási körülményeivel megegyező körülmények között – termosztátban véletlenszerűen helyeztük el.

Nehézfémek vizsgálata

Az előző kísérlethez képest a nehézfémek (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) vizsgálatában változást jelentett, hogy egyszerre egy terhelési szintet néztünk (a 270 mg/kg terhelésnek megfelelőt – ez 810 kg/ha kijuttatott hatóanyag mennyiségnek felelt meg), öt ismétléssel. Így 35 tenyészedényt használtunk. A talaj, a víz, a zabpelyhely és az állatok mennyiségén illetve az edények lezárásán és elhelyezési módján nem változtattunk.

A mikroelem hatástartam vizsgálat lebontása

A kísérletek időtartama 6 hét volt, ami után a lebontás következett. Ennél a műveletnél a talajalkotó elemek és a televényférgek teste közötti fajsúlykülönbséget használtuk ki. Tömény, 20 V%-os cukoroldatot készítettünk. Ebből 80 cm³-t öntöttünk az éppen vizsgált tenyészetbe, majd vékony üvegbottal, óvatosan felkevertük a talajt. A cukoroldat és a keverés együttes hatására az addig a talajban lévő valamennyi állat (adult és juvenilis) az oldat felszínére került. Ezt a műveletet 5 perces ülepítés követte, melynek célja az volt, hogy a felkevert, de nehezebb fajsúlyú talajszemcsék valamelyest leülepedjenek. Ezt követően az oldatot a benne lévő állatokkal együtt egy tiszta edénybe öntöttük át, majd a kísérleti edényben maradt, egyszer már átmosott talajjal az egész műveletsort újra megismételtük.

A vizsgálat eredményeit a Statistica 5.0 softwerrel, LSD-teszt (legkisebb szignifikáns differencia) alapján elemeztük.

Különböző szelénformák akut hatásvizsgálatánál felhasznált talajok és a vizsgálat anyagok

A kísérleteink során fontos volt számunkra hogy állandó mezőgazdasági művelés alatt álló területekről, bevizsgált talajparaméterekkel rendelkező talajokkal dolgozzunk. Ennek megfelelően a talajokat a Károly Róbert Főiskola, Fleischmann Rudolf mezőgazdasági Kutatóintézet kompolti, az MTA, Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet nagyhőrcsöki és a Debreceni Egyetem, Agrártudományi Centrum Karcagi Kutatóintézet karcagi kísérleti telepéről vettük. A talaj mintavétel minden esetben a szántott rétegből történt. A mintavételt követően a talajokat szabad levegőn súlyállandóságig szárítottuk, majd 2*2 mm lukméretű szitán átdolgoztuk. Az így kapott talajmintákat légmentesen lezárva, hűtőszekrényben, 5°C-os hőmérsékleten tartottuk a kísérletek kezdetéig.

Kísérleteinkben két vízben oldódó szelénformának, a Na-szelenitnek és a Na-szelenátnak hatását vizsgáltuk.

Módszer

Kísérleteink módszertani alapját a televényféreg reprodukciós tesztjéről szóló OECD szabvány adta. A beállításhoz a mikroelemek tartamhatás vizsgálata során már bevált 150 ml-es steril, mintatartó edényeket használtuk. Az edényekbe 20 g száraz talajt mértünk, amihez kevés örölt zabpelyhet kevertünk. A talajok víztartalmát a vízkapacitásuk 55-60 %-a közé állítottuk be. A szennyezőként használt szelén kijuttatása, a talajok megfelelő nedvességi állapotához szükséges vízmennyiséggel együtt, oldott állapotban történt. Egy-egy talajtípus vizsgálatánál a kontroll talajon kívül hat különböző koncentrációt alkalmaztunk. A kontroll talaj esetében tíz, a szennyezett talajok esetében koncentrációnként öt ismétléssel dolgoztunk. A különböző szelénformákból kijutatott mennyiségek pontos visszamérését az MTA, Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetének ICP laboratóriumában végezték.

Az előkészített talajra 10 kifejlett állatot helyeztünk, majd az edényeket lezártuk. A dobozokat fénymentes termosztátban, 18°C-os hőmérsékleten, 60%-os páratartalom mellett random módon helyeztük el. Egy kísérlet 42 napig tartott. Ez idő alatt hetente egyszer ellenőriztük a kísérleti edények állapotát, a talajok nedvességtartalmát és etettük az állatokat. A 6 hét letele után, az ERT által eredetileg javasolt alkoholos előlés és festés helyett, O'Connor által először az 1960-as években alkalmazott vizes-tölcséres futtatást alkalmaztam. A változtatások lényege, hogy az állatok kinyerésekor azok aktív mozgására, a fény és meleg előli menekülésére alapoz, így a statisztikai értékelésben ténylegesen csak a kísérleti idő végéig életben maradt állatok szerepelnek.

Az MTA, Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet ICP Laboratóriumának segítségével vizsgáltuk az „összes” (ccHNO₃ + cc H₂O₂ oldható Se) és a „felvehető” (NH₄-acetate + EDTA oldható Se) szeléntartalmak egymáshoz való viszonyát a különböző talajtípusokon és hogy miként változott a talajok szeléntartalma a kísérlet ideje alatt.

Az eredmények statisztikai értékelése

A kísérletek végpontjai a mortalitás és reprodukciós értékek voltak. A kapott adatokból LC₅₀, EC₅₀, LC₁₀, EC₁₀ és NOEC (még nem ható vizsgált koncentráció) értékeket számoltunk ki a ToxRat Light 2.08 (ToxRat) szoftverrel. A tesztek elvégeztük, mind az összes, mind a felvehető elemtartalomra vonatkoztatva. A programot kifejezetten ökotoxikológiai biotesztek statisztikai kiértékeléséhez fejlesztették ki. A tesztek kétoldalú próbákkal, 5%-os szignifikancia határt megadva végeztük el. Első lépésként egy utas ANOVA

analízissel a hatás meglétét, vagy hiányát állapítottuk meg. Ezt követően a Chocran's test segítségével az adatok homogenitását határoztuk meg. A NOEC érték megállapításához, amennyiben az adatok homogén eloszlást mutattak Williams féle többszörös, szekvenciális t-tesztet végeztünk. Inhomogén eloszlás esetén Welch féle t-tesztet végeztünk Bonferroni korrekcióval. Az EC_x, LC_x értékeket probit analízissel határoztuk meg.

EREDMÉNYEK

A mikroelem hatástartam vizsgálat eredményei – Nehézfémek

A kifejlett (adult) állatok mortalitását vizsgálva a kísérlet eredményei azt mutatták, hogy az általunk kiválasztott nehézfémek, sem a 90 mg/kg-os, sem a legmagasabb 270 mg/kg-os kijuttatási koncentrációban, hét évvel a kijuttatást követően, érdemben nem befolyásolták a tesztállat (*Enchytraeus albidus*) kifejlett egyedeinek túlélését.

A reprodukciós képesség, a fiatal állatok (juvenilis) egyedszám változása ugyanakkor erősen szignifikáns hatást igazolt. Az eredményeket elemezve megállapítható volt, hogy a legmagasabb kijuttatási koncentrációt (270 mg/kg) vizsgálva – a kijuttatást követő hét évvel – valamennyi nehézfém szignifikánsan csökkentette a fiatal állatok egyedszámát. Az alacsonyabb koncentrációt vizsgálva (90 mg/kg) – a kijuttatást követő hét évvel – már csak a cink (Zn) rendelkezett szignifikánsan kimutatható reprodukciós képességet csökkentő hatással.

A mikroelem hatástartam vizsgálat eredményei – Szelén

A szennyezést követő hét évvel történő vizsgálatoknál kimutatható hatást tapasztaltunk, mind a kifejlett (adult) állatok, mind a fiatalok (juvenilis) körében. A kontroll talajminta eredményeihez képest már a legkisebb (kijuttatási) szennyezési szinten (10 mg/kg) létszám és szaporulat csökkenést tapasztaltunk, ami a szennyezési koncentráció növekedésével egyre erőteljesebbé vált. A 30 mg/kg-os szennyezettségi szintnél már szignifikáns reprodukciós képesség csökkenés volt tapasztalható. A 90 mg/kg szelénnel szennyezett talajban – a kijuttatást követő hét évvel – a nagymértékű kifejlett állat pusztulás mellett szaporulatot már nem tudtunk kimutatni. Az ennél erősebb szennyezettségi szinten (270 mg/kg) pedig a kísérlet hatodik hete után, már egyáltalán nem találtunk élő egyedet.

Különböző szelénformák akut hatásvizsgálatának eredményei

Kompolti talajon végzett kísérletek eredményei – Na-szelenit

A kísérlet folyamán a talajokra kijutatott oldatok elemtartalmát vizsgálva megállapítható hogy, a kezelés az állatok mortalitására erős szignifikáns hatást eredményezett. Az életben maradt állatok aránya a legnagyobb koncentrációval kezelt talajokban 14,6%-ra csökkent (ANOVA $p < 0,001$). A NOEC értékét a program 8,89 mg/kg-ban határozta meg. A probit analízis eredményeként az LC₁₀ érték 6,13 mg/kg, az LC₅₀ érték 55,13 mg/kg.

A vizsgált elem reprodukcióra vonatkoztatott hatása erősebb. A legmagasabb koncentrációval kezelt talajokban a fiatal egyedek száma nullára csökkent (ANOVA $p < 0,001$). Reprodukció esetében a program a NOEC értékét 3,88 mg/kg-ban határozta meg. A probit analízis eredményeként az EC₁₀ érték 3,44 mg/kg, az EC₅₀ érték 17,06 mg/kg.

A felvehető szeléntartalom vizsgálatokor: a mortalitásra számított NOEC érték 0,61mg/kg. A probit analízis eredményeként az LC₁₀ érték 0,36mg/kg, az LC₅₀ érték 7,42mg/kg. A reprodukció vizsgálatokor kapott NOEC érték 0,26mg/kg, míg a probit analízis eredményei, EC₁₀: 0,19mg/kg, az EC₅₀: 1,48mg/kg.

A szeléntartalom alakulását vizsgálva a kísérletek idején, az alábbi eredményeket kaptuk: a kijuttatáskor mért összes szeléntartalom 19,93%-a volt felvehető, lebontáskor mértnek pedig 14,46%-a. A kísérlet időtartama alatt az össze szelén mennyisége közel 10%-ot csökkent. Ugyanezen idő alatt a felvehető szelénmennyiség, pedig majd 35%-ot.

Kompolti talajon végzett kísérletek eredményei – Na-szelenát

A kezelés hatására, a tesztállat mortalitása erősen szignifikáns módon nőtt (ANOVA $p < 0,001$). A legmagasabb koncentrációval kezelt talajokban nem találtunk élő állatot. A vizsgált legkisebb koncentráció is statisztikailag igazolható hatást eredményezett. A probit analízis eredményeként az LC₁₀ érték 1,49mg/kg, az LC₅₀ érték 6,92mg/kg.

A szelenát formában kijutatott szelén reprodukcióra gyakorolt hatása erős (ANOVA $p < 0,001$) gátlásban nyilvánult meg. Sem a legmagasabb, sem az azt megelőző koncentrációval kezelt talajokban nem születtek utódok. Az erős hatás miatt NOEC értéket nem tudtunk meghatározni. A probit analízis eredményeként az EC₁₀ érték 0,63 mg/kg, az EC₅₀ érték 1,79 mg/kg.

A felvehető szeléntartalom vizsgálatokor: a mortalitásra számított LC_{10} érték 1,45 mg/kg, az LC_{50} érték 6,69 mg/kg. A reprodukció vizsgálatokor a probit analízis eredményei alapján az EC_{10} érték: 0,56 mg/kg, az EC_{50} érték: 1,68 mg/kg.

A szeléntartalom alakulását vizsgálva a kísérletek idején, az alábbi eredményeket kaptuk: a kijuttatáskor mért összes szeléntartalom 93,27%-a volt felvehető. A lebontáskor mértnek pedig 93,85%-a. A kísérlet időtartama alatt az össze illetve a felvehető szeléntartalom egymáshoz viszonyított aránya nem változott.

Nagyhörcsöki talajon végzett kísérletek eredményei – Na-szelenit

Az összes elemtartalmat tekintve, a kezelés hatására, az állatok mortalitása szignifikánsan növekedett. A legnagyobb koncentrációjú szelénrel szennyezett talajon nem maradt életben állat (ANOVA $p < 0,001$). A NOEC értékét a program 6,21 mg/kg-ban határozta meg. A probit analízis eredményeként az LC_{10} érték 7,3 mg/kg, az LC_{50} érték 22,5 mg/kg.

A Na-szelenit reprodukcióra gyakorolt hatásának eredményeként, az általunk vizsgált legmagasabb koncentrációban a született utódok száma 1,1%-ra csökkent (ANOVA $p < 0,001$). A NOEC érték 2,35 mg/kg. A probit analízis által számított EC_{10} 2,8 mg/kg, az EC_{50} 7,3 mg/kg (24. ábra).

A felvehető szeléntartalom vizsgálatokor: a mortalitásra számított NOEC értéket a program 1,83 mg/kg-ban határozta meg. A probit analízis eredményeként, az LC_{10} érték 2,05 mg/kg, az LC_{50} érték 8,01 mg/kg. A reprodukcióra vizsgálva a NOEC érték 0,8 mg/kg, a probit analízis által számított EC_{10} 0,82 mg/kg, az EC_{50} 2,46 mg/kg.

A szeléntartalom alakulását vizsgálva megállapítható, hogy a kísérletek kezdetén a kijuttatott szelén 57,8%-a volt felvehető. Ez az arány a vizsgálati időszak végére 17,85%-ra csökkent. A kísérletek 6 hetes időtartam alatt az összes szeléntartalom 9,41%-ot csökkent, addig a felvehető elemtartalom ennek többszörösét, 72,03%-ot.

Nagyhörcsöki talajon végzett kísérletek eredményei – Na-szelenát

A nagyhörcsöki talajra, Na-szelenát formában jutott szelén, rendkívül erős, szignifikáns hatást fejtett ki. Nem csak a legmagasabb, de az azt megelőző koncentrációban is teljes pusztulást eredményezett tesztállatainknál. Statisztikailag igazolható hatás már a vizsgált első koncentrációban bekövetkezett,

ezért NOEC érték meghatározására nem volt mód. A probit analízis eredményeként az LC₁₀ érték 0,97 mg/kg, az LC₅₀ érték 5,69 mg/kg.

A Na-szelenát reprodukcióra gyakorolt hatásának eredményeként gondosan, a vizsgáló laboratórium kimutathatósági határáig elmenő, koncentráció sor beállítás ellenére sem sikerült NOEC értéket meghatározni. Már a beállított első koncentráció statisztikailag igazolható reprodukció csökkenést eredményezett. A probit analízis által megállapított értékek: EC₁₀ 0,29 mg/kg, EC₅₀ 0,41 mg/kg.

A felvehető szeléntartalom vizsgálatokor: a mortalitásra NOEC értéket nem tudtunk meghatározni. A probit analízis eredményeként, az LC₁₀ érték 0,67mg/kg, az LC₅₀ érték 4,74mg/kg. A reprodukcióra vizsgálva az EC₁₀ érték: 0,19mg/kg, az EC₅₀ érték: 0,28mg/kg.

A szeléntartalom alakulását vizsgálva megállapítható volt, hogy a 6 hetes kísérleti periódus alatt az összes és a felvehető elemtartalom aránya változatlan maradt. A kijuttatáskor mért szelén 98,32%-a volt felvehető, míg a vizsgálat végén 97,6%-a. A kísérlet ideje alatt az összes szeléntartalom 17,13%-kal csökkent, a felvehető pedig 17,74%-kal.

Karcagi talajon végzett kísérletek eredményei – Na-szelenit

Az összes elemtartalmat tekintve, a kezelés hatására, az állatok mortalitása szignifikánsan növekedett. A legnagyobb koncentrációjú szelénnel szennyezett talajon nem maradt életben állat ($p < 0,001$). A NOEC értékét a program 8,39mg/kg-ban határozta meg. A probit analízis eredményeként az LC₁₀ érték 4,29mg/kg, az LC₅₀ érték 19,77mg/kg.

A reprodukcióra gyakorolt hatás vizsgálatokor az első koncentrációban tapasztalt, de szignifikánsan nem igazolható utódszám növekedés után, a következő koncentrációkban erőteljes reprodukció csökkenés következett be. A probit analízis a NOEC értékét, hasonlóan a mortalitás vizsgálatához, 8,39mg/kg-ban határozta meg. Az EC₁₀ érték 4,61mg/kg, az EC₅₀ érték 14,64mg/kg.

A felvehető szeléntartalom vizsgálatokor a mortalitásra gyakorolt hatása a következő képen alakult: NOEC értéket a program 2,50mg/kg-ban határozta meg. A probit analízis eredményeként, az LC₁₀ érték 1,02mg/kg, az LC₅₀ érték 7,18mg/kg. A felvehető elemtartalom reprodukcióra gyakorolt hatásának vizsgálata a következő eredményeket hozta: NOEC értéket 2,50mg/kg, az EC₁₀ érték 1,08mg/kg, az EC₅₀ érték 4,85mg/kg.

A szeléntartalom alakulását vizsgálva megfigyelhető volt, milyen nagymértékben csökkent a talajban a felvehető szeléntartalom. A kísérletek kezdetén

a kijutatott szelén 58,9%-a volt felvehető. Ez az arány a vizsgálati időszak végére 17,38%-ra változott. A 6 hetes időtartam alatt az összes szeléntartalom 12,82%-ot csökkent, addig a felvehető elemtartalom ennek többszörösét, 74,28%-ot.

Karcagi talajon végzett kísérletek eredményei – Na-szelenát

A kezelés hatására, az összes elemtartalmat tekintve, a tesztállat mortalitása erősen szignifikáns módon nőtt ($p < 0,001$). A legmagasabb koncentrációval kezelt talajokban nem találtunk élő állatot. A beállított koncentráció mellett a NOEC érték: 3,41mg/kg. A probit analízis eredményeként az LC₁₀ érték 3,49mg/kg, az LC₅₀ érték 6,80mg/kg.

A szelenát formában kijuttatott szelén reprodukcióra gyakorolt hatásának statisztikai analízise a következő eredményeket hozta: NOEC érték: 3,41 mg/kg, EC₁₀ érték: 2,81 mg/kg, EC₅₀ 5,04 mg/kg.

A felvehető elemtartalom okozta hatást vizsgálva a mortalitásra az alábbi eredményeket kapjuk: NOEC érték: 2,56mg/kg, az LC₁₀ érték 2,90mg/kg, az LC₅₀ érték 6,23mg/kg. A reprodukciós képességre gyakorolt hatást elemezve: NOEC érték: 2,56mg/kg, az EC₁₀ érték: 2,54mg/kg, az EC₅₀ érték: 4,64mg/kg.

Vizsgálva az összes és felvehető elemtartalmat a kísérlet 42 napja alatt, megállapítható volt, hogy az egymáshoz viszonyított arányuk gyakorlatilag nem változott. A kísérletek kezdetén a kijutatott szelén 95,9%-a volt felvehető. Ez az arány a vizsgálati időszak végére sem csökkent 89,8% alá. A 6 hetes időtartam alatt az összes szeléntartalom 8,88%-ot csökkent, addig a felvehető elemtartalom ennek nem egész kétszeresét 14,67%-ot.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A szelén hosszú távú hatásait elemezve megállapítottam, hogy a nagyhőrsöki tartamkísérletben 1991-ben 90 kg/ha-os koncentrációban kijutatott hatóanyagának hét évvel a kijuttatást követően is a reprodukciós képességet szignifikánsan csökkentő hatás van. A magasabb kijuttatási koncentrációkat (270 kg/ha, 810 kg/ha) vizsgálva a mortalitás szignifikáns növekedése is kimutatható volt.
2. Különböző nehézfémek (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) hosszú távú hatásait vizsgálva megállapítottam, hogy a nagyhőrsöki tartamkísérletben ki-

- jutatott koncentrációkban, hét évvel a kijuttatást követően, kimutatható módon, nem befolyásolták a testállat mortalitását, ugyanakkor a legmagasabb koncentrációban valamennyi nehézfém szignifikánsan csökkentette a fiatal állatok egyedszámát. Alacsonyabb kijuttatási koncentráció (270 kg/ha) vizsgálatokor – az előzetes feltételezésekkel ellentétben – már csak a cink (Zn) rendelkezett a reprodukciós képességet szignifikánsan csökkentő hatással.
3. Különböző szelénformák (Na-szelenit, Na-szelenát) rövid távú hatásait három különböző talajtípuson vizsgálva megállapítható, hogy az *Enchytraeus albidus* testállatra talajtípustól függetlenül, az összes elemtartalomra vetítve (cc.HNO₃+cc.H₂O₂-ban oldott elemtartalom) a Na-szelenát a szignifikánsan toxikusabb forma, mind a mortalitást, mind a reprodukciós képességet tekintve. Ugyanezen paraméterek felvehető elemtartalomra (NH₄-acetate+EDTA-ban oldott elemtartalom) történő vizsgálatokor azt mutattuk ki, hogy az elemformák toxikussága talajfüggő hatást mutat. Amíg a nagyhorcsóki talajon egyértelműen a Na-szelenát rendelkezik toxikusabb hatással, addig a kompolti, illetve karcagi talajon a két elemforma hatása kiegyenlítődik, esetenként a Na-szelenit válik toxikusabbá.
 4. A különböző szelénformák (Na-szelenit, Na-szelenát) viselkedését vizsgálva a kísérletek 6 hetes időtartama alatt, megállapítható volt, hogy a Na-szelenát formában adagolt hatóanyag esetében a kísérletek kezdetén, illetve a lebontáskor mért „összes” és „felvehető” elemtartalom aránya gyakorlatilag változatlan maradt (csak a karcagi talaj esetében volt 8-15%-os csökkenés kimutatható). A Na-szelenit hatóanyag esetében a 9-12%-os „összes” elemtartalom csökkenés mellett 35-75%-os „felvehető” elemtartalom csökkenést tapasztaltunk a 6 hetes kísérletsorozatok végén.
 5. Új, Magyarországon még kevésbé ismert, nem alkalmazott – a földgigilisztával folytatott teszteknel rövidebb ideig tartó – öko-toxikológiai tesztmódszert vezettünk be, gyakorlatilag a módszer Ring-tesztjével egy időben. A metodikába bevezetett módszertani változtatással (O’Connor-féle tölcéses futtatással történő izolálás) biztonságosabbá és pontosabbá tettük a folyamatot. A módszertani változtatás előnye, hogy az alkoholos előléssel és a festéssel szemben nem alkalmazza további vegyszereket. Az állatok kinyerésekor azok aktív mozgására, a fény és meleg előli menekülésére alapoz, így a statisztikai értékelésben ténylegesen csak a kísérleti idő végéig életben maradt állatok szerepelnek.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Mikroelemek hatástartam vizsgálata

Az ökológiai rendszerekbe bekerült anyagok hatását pontosan megmondani, vagy akár csak megközelítő pontossággal megbecsülni nehéz feladat. Köszönhető ez annak, hogy a kijuttatott anyagokra – a vizsgálatunk konkrét példájánál maradva, a különböző fémionokat és mikro-elemeket tartalmazó vegyületekre egyszerre több tényező is hat. E tényezők hatása, az esetek túlnyomó többségében, nem egyforma méretű, időben nem állandó és sokszor a periodikusság is hiányzik. Ezért feltétlenül szükség van olyan vizsgálatokra, mely ugyanazon tényezőket más-más megvilágításban, eltérő körülmények között, különböző indikátorok segítségével teszteli.

A szelén vizsgálatok kapott eredmény magyarázatául szolgálhat, hogy megszokott talajon nagyon mozgékonyvá válhat, ami eredményeként könnyen felvehetővé válik, mind a növények, mind a táplálkozásukban valamilyen szinten ezekhez a növényekhez kötött állatok számára.

A nehézfémek hatását a két legmagasabb kijuttatási koncentrációban (270mg/kg, 90mg/kg) vizsgáltuk. A kifejlett (adult) állatok létszámváltozását, mortalitását – hét évvel a kijuttatást követően – egyik koncentráció sem befolyásolta kimutatható módon. A reprodukciós képesség változásának vizsgálatakor, a legmagasabb terhelési szinten valamennyi nehézfém szignifikáns hatást eredményezett, csökkentette a fiatal állatok egyedszámát. Az alacsonyabb eredeti terhelési szinten a kontroll eredményeihez képest, ebben a koncentrációban, szignifikáns hatással már csak a cink (Zn) rendelkezett.

A nagyhőrcsöki talajmintákon végzett kísérletek eredményeit összevetve más, szintén nehézfém és mikroelem toxicitást televényféregken vizsgáló kutatások eredményeivel, igazolva látom azt az általános tézist, mely szerint a természetest meghaladó, kellően nagy koncentrációban a legtöbb elem toxikussá válhat a talajlakó állatokra. A kutatások során leggyakrabban vizsgált – és ezek alapján toxikusnak minősített – fémek, mint a kadmium (Cd), a réz (Cu), a higany (Hg), a króm (Cr), a cink (Zn) és az ólom (Pb) a mi vizsgálatainkban is szerepeltek. Hasonlóan a feldolgozott kutatásokhoz a mi esetünkben is a reprodukcióra gyakorolt hatás volt erősebb. Kadmium és réz esetében több kutató is bizonyította valamiféle biológiai mechanizmus létezését, melyben az állatok képesek voltak a számukra toxikus elemek gyorsabb ütemű kiválasztására, vagy felvételük gátlására. Ugyan ezt a hatást a cink esetében viszont nem tapasztalták. A cinket a vizsgált televényféreg a környezeti koncentrációnak megfelelő szinten halmozta fel a testében. Talán ez a jelenség lehet oka annak, hogy a vizsgált nehézfémek esetében a cink bizonyult a

leginkább toxikusnak. Érdekes eredményekre vezethet, és pontosabb magyarázatot adhat ha a további elemek (Hg, Cr, Pb) esetében is folytatnának vizsgálatokat a felvétel gátlása, vagy a kiválasztás gyorsításának megállapítására.

A kapott eredményeket összehasonlítva a tanszéken más szervezetekkel elvégzett toxicitási tesztek eredményeivel, szintén ki kell emelnünk a cinket. Az ugróvillásokkal elvégzett szabadföldi toxicitási tesztben ennek az elemnek a legmagasabb koncentrációban sem sikerült a reprodukciós rátát befolyásoló hatását kimutatni, míg a közönséges televényféreg (*Enchytraeus albidus*) esetében ez szignifikánsan már a harmadik szintnél jelentkezett. Érdekesség továbbá, hogy amíg a legtöbb nehézfém esetében (Cd, Cr, Cu, Pb) az ugróvillások a legmagasabb koncentrációra egyedszám csökkenéssel (esetenként azzal sem) reagáltak, addig a televényférégek, kivétel nélkül minden nehézfém (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) esetén a reprodukciós képesség csökkenésével válaszoltak.

Megállapítható volt továbbá, hogy a vizsgált elemek közül messzemenően a szelén rendelkezett a leghosszabban tartó negatív hatással, némileg ellentmondva azoknak az információknak, hogy megfelelő közegben, optimális pH érték mellett könnyen mobilissá válik és a talaj mélyebb rétegeibe mosódik, vagy kipárolog.

Fontos kiemelni, hogy a kísérletsorozat igazolta a közönséges televényféreg talaj-ökotoxikológiai tesztekben való alkalmasságát, nagyfokú érzékenységet, abban az időszakban, mikor az állatokkal kialakítandó teszt módszer, az Enchytraeid Reproduktion Test (ERT) még csak tesztelés fázisában, a módszer leírása „draft” változatban létezett.

Mindezen információk együttesen alapozták meg a további kutatást és tették nyilvánvalóvá, hogy a szelén és annak különböző előfordulási formáinak vizsgálatával további fontos ismeretek birtokába kerülhetünk.

Különböző szelénformák akut hatásvizsgálata

Kísérleteink célja volt kideríteni, hogy különböző, a növények által felvehető szelénformák, miként hatnak a közönséges televényféregre különböző talajtípusokon. 2004 tavaszán kezdődtek el azok a vizsgálatok, melyekben három különböző talajtípust vizsgáltunk, figyelve arra, hogy a talajtípusok paramétereit még megfeleljenek a tesztállat ökológiai igényének, viszont szerkezetükben kellően különbözzenek ahhoz, hogy a szelén „felvehetőségét” – a szakirodalmi adatok alapján – befolyásolják.

Sajnálatos módon, bár jelentősége nagy, kutatása kiterjedt, széles körű, mezőgazdasági felhasználása egyre indokoltabb, a szelén talajállatokra gyako-

rolt hatását alig-alig vizsgálták. Nagyon kevés adat áll rendelkezésünkre, hogy azokra az állatokra, amelyek „átrágják” magukat a talajon – tehát mind a kültakarójuk, mind a tápcsatornájuk révén érintkeznek a talajjal – a szelén milyen hatást gyakorol. Érvényesek-e ezen állatokra is a növényeknél általánosan elfogadott pH-függő toxicitás? A biokémiai bomlásnak megfelelően, ezekre az állatokra is a szelénit hat-e toxikusabban? Van-e esetleg más törvényszerűség, ami sem a növényekre, sem a magasabb rendű állatokra nem jellemző?

A szelénit és szelenát (mint két vízdékony szelénforma) adszorpcióját a talajban több tényező is befolyásolhatja. Hasonló talajokon végzett összehasonlító analitikai vizsgálatok azt mutatják, hogy a szelénit adszorpciója a talajok szilárd fázisaihoz nagyobb, mint a szelenáté hasonló feltételek között. A talajok fokozatosan növekvő pH-jának megfelelően a szelén adszorpciók képességük csökken. A mi tanulmányunkban is hasonlóak voltak a talajok – szelén adszorpciót befolyásoló – főbb paraméterei, ezért azt gondoltuk, hogy a kísérletek ideje alatt a szelénformák között lényeges átalakulás nem következik be. Ezzel szemben a legmagasabb pH értékkel jellemezhető karcagi talajban tudtuk kimutatni a legerősebb szelén adszorpciót, a szelénittel kapcsolatban, aminek magyarázatát talán a magasabb mikrobiális aktivitásban lehet keresni.

Akár a mortalitást, akár a reprodukciós képességet vizsgáltuk megállapítható volt, hogy bármelyik szelénforma legalább egy nagyságrenddel mérgezőbb volt, mint a korábban ezekre az állatokra tesztelt nehézfémek vagy akár a Phenmedipham növény védőszer. A különböző irodalmi adatok összehasonlítása alapján megállapítható volt, hogy a szelén *E. albidus*-ra gyakorolt toxikus hatása erősebb, mint az egyéb talajlakó állatoknál, mint *Eisenia fetida*, *Lumbricus terrestris* vagy a *Megaselia scalaris*.

Eredményeink azt mutatják, hogy a vizsgált két elem (Na-szelénit, Na-szelénát) tekintetében, az összes elemtartalomra vonatkoztatva, az általunk alkalmazott kísérleti körülmények között jelentős a különbség a mért toxikus küszöbértékekben. A Na-szelénát mindhárom talajtípuson lényegesen toxikusabbnak bizonyult a Na-szelénitnél. Az a tény ugyanakkor, hogy a toxicitásbeli különbség eltűnik, ha nem az összes, hanem a felvehető elemtartalmat vizsgáljuk, azt engedi feltételezni, hogy a szelénit és szelenát felvételi módja különbözhet a tesztállatok esetében. A szelén felvétele (akár szelénit, akár szelenát) történhet a testfelszínen, vagy akár a bélcsatornákon keresztül. Megvalósulhat pusztán a pórusvíz által, de akár az emésztőrendszer segítségével a pórusvíz mellett a talajszemcséken és a táplálékon keresztül is. Az eredményeket elemezve feltételezhetjük azt is, hogy csak a pórusvízen ke-

resztül jut a szelén oldható elemtartalom része az állatokba. Ez is magyarázhatná, hogy a felvehető elemtartalmakat elemezve a ható koncentrációk közelítenek egymáshoz. Feltételezhetjük ugyanakkor azt is, hogy az emésztőrendszer enzimes és mikrobiális folyamatai is részt vesznek a szelén felszívódásában, hiszen a talajon átrágva magukat ezek az állatok a talajban lévő összes szeléntartalommal kapcsolatba kerülnek. Ez esetben élnünk kell azzal a hipotézissel, hogy a szelenit erősebben kötődve a talajszemcsékhez, nehezebben elérhető a bélflóra számára, mint a szelenát, hiszen nagyobb mennyiségben vált hasonló mértékben toxikussá. Mindkét feltételezést érdemes lehet a jövőben tovább vizsgálni.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Tudományos folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), lektorált, teljes szövegű tudományos közlemény

Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban:

Z. SOMOGYI, I. KISS, I. KÁDÁR, G. BAKONYI (2007): Toxicity of selenate and selenite to the potworm *Enchytraeus albidus* (Annelida: Enchytraeidae): a laboratory test, *Ecotoxicology, Springer Netherlands* 16 379-384 p. (IF: 2,405)

Z. SOMOGYI, I. KÁDÁR, I. KISS, T. JURÍKOVÁ, L. SZEKERES, S. BALLA, P. NAGY, G. BAKONYI (2012): Comparative toxicity of the selenate and selenite to the potworm *Enchytraeus albidus* (Annelida: *Enchytraeidae*) under laboratory conditions, *European Journal of Soil Biology*, 50 159-164 p. (IF: 1,578)

Magyar nyelvű, nem impakt faktoros hazai folyóiratban:

SOMOGYI Z., BAKONYI G., CSATHÓ P. (2004): A nátrium-szelenit hatása a közönséges televényféregre (*Enchytraeus albidus*), *Állattani Közlemények* 89 (1) 67-71 p.

SOMOGYI Z., BAKONYI G., KÁDÁR I., NAGY P., KISS I. (2004): Mikroelem terhelés hatása a közönséges televényféregre (*Enchytraeus albidus*), *Agrokémia és Talajtan* 53, (1-2) 155-164 p.

SOMOGYI Z., BAKONYI G., KISS I. (2005): Ökotoxikológiai vizsgálatok televényféreggel (Annelida: Enchytraeidae), *Agrokémia és Talajtan* 54, (3-4): 535-545 p.

Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények

Proceedings - nemzetközi:

Z. SOMOGYI, G. BAKONYI, I. KISS (2005): Effects of microelements in calcareous loamy chernozem soil on *Enchytraeus albidus* under laboratory conditions, Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol., 54, 4, 331-334

SCHMELZ, R., ARSLAN, N., BAUER, R., DIDDEN, W., DÓZSA-FARKAS, K., GRAEFE, PANCHENKO, I.U., POKARZHEVSKI, A., RÖMBKE, J., SCHLAGHAMERSKÝ, J., ŁUKASZ SOBczyk, L., **SOMOGYI, Z.**, STANDEN, V., THOMPSON, A., VENTINS, J., AND TIMM, T., (2005): Estonian, Enchytraeidae (Oligochaeta) 2. Results of a faunistic workshop held in May 2004. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences Biol. Ecol. 54,4: 255-270

SOMOGYI Z., RÉPÁSI V., TÍMÁR Á., NAGY P., BAKONYI G., KISS I., KÁDÁR I. (2006): Dose-dependent toxic effect of selenium on faunal elements of soil food web, Proc. Int. Symp. on Trace Elements in the Food Chain, p. 56-60

Proceedings - magyar:

SOMOGYI Z., BAKONYI G., KISS I. (2005): Na-szelenit és Na-szelenát hatásának vizsgálata a közönséges televényféregre (*Enchytraeus albidus*) nagyhőrcsöki csernozjom talajon, Proc. Erdei Ferenc III. Tudományos Konferencia I-II. (ISBN: 9637294-538) 793-797

NAGY P. BAKONYI G., RÉPÁSI V., SERES A., SOMOGYI Z. (2006): Talajlakó fonálféreg együttesek reakciói szimulált klímaváltozási hatásokra. In: Láng I., Jolánkai M., Csete László (Szerk.) - Globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A projekt záró konferenciájának kiadványai. MTA, Budapest