

TALAJVÍZMINTÁK NÖVÉNYVÉDŐSZER-MARADÉKAI ÉS BIOLÓGIAI ÉRTÉKELESÜK A NAGY VÍZIBOLHA (*DAPHNIA MAGNA*) FELHASZNÁLÁSÁVAL

FEJES ÁGNES^{1,2} – BOKÁN KATALIN² – MALOSCHIK ERIK² – FEKETE GÁBOR²

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

²Magyar Tudományos Akadémia Növényvédelmi Kutatóintézete, Ökotoxikológiai és Környezetanalitikai Osztály, 1022 Budapest, Herman Ottó u.15.

PESTICIDES RESIDUES IN GROUNDWATER SAMPLES AND THEIR BIOLOGICAL ASSESSMENT ON WATER FLEA (*DAPHNIA MAGNA*)

Á. FEJES^{1,2} – K. BOKÁN² – E. MALOSCHIK² – G. FEKETE^{2*}

¹Eötvös Loránd University, Faculty of Science, Pázmány Péter sétány 1/A, H-1117, Budapest, Hungary, *Corresponding author, e-mail: fekete@julia.nki.hu

²Plant Protection Institute of the HAS, Department of Ecotoxicology and Environmental Analysis, Herman Ottó u. 15., H-1022, Budapest, Hungary

KIVONAT: Különböző ipari, intenzív mezőgazdasági és ökológiai gazdálkodású termőföldekről származó talajvízminták növényvédőszer maradványainak tesztállatokra gyakorolt hatását vizsgáltuk. Célunk a különböző mintákban jelen lévő növényvédőszer maradványok kimutatása és biológiai hatásaik vizsgálata volt. Az immobilizációs tesztet *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) tesztállaton az ISO 6341:1996 szabvány leírása alapján végeztük. Előzőleg, analitikai vizsgálatok során megállapítottuk a vízmintákban mérhető növényvédőszer aktív hatóanyag- tartalmát. Az ipari területekről származó minták egy részében nagymértékű szerves növényvédőszer (*acetochlor*, *atrazine*, *diazinon*, *metolachlor*, *terbutryn*, *trifluralin*) jelenlétét mutattuk ki, melyek toxikus hatást gyakoroltak a tesztállatokra. Vizsgálataink arra mutatnak rá, hogy az egyes növényvédőszer, illetve más szennyezők hatásait nem elegendő egyenként elemezni, mivel a környezetben igen gyakran együtt fordulnak elő, így számolnunk kell a szennyezések és a mintákban előforduló természetes anyagok kölcsönhatásával is.

Kulcsszavak: *Daphnia magna*, vízibolha, bioteszt, növényvédőszer, vízszennyezés, ökotoxikológia

ABSTRACT: The effects of pesticides residues in water samples of industrial, agricultural or ecological origin have been studied on test animals. The aim of our work was to determine pesticides residues in the different water samples

and to analyze the potential biological effects of them on the living organisms. For this reason, immobilization tests were performed according to the ISO 6341:1996 standard on test organism *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea). The levels of pesticides active ingredients were evaluated in water samples prior to biotests. In one part of the industrial field samples, rather high concentration levels of some monitored pesticides (*acetochlor*, *atrazine*, *diazinon*, *metolachlor*, *terbutryn*, *trifluralin*) were detected which caused biological effects on the test animals. Our tests show that it is not enough to analyze the biological effects of pesticides or other pollutants separately, as they mostly occur together in the environment. Therefore, probable interferences in environmental sample compounds have to be taken into consideration. Further studies are required to elucidate some unexpected results while working with natural water samples in biotests.

Key words: *Daphnia magna*, water flea, toxicological test, biotest, pesticide, water pollution, ecotoxicology

Bevezetés

A mezőgazdasági termelés során a termés védelme érdekében számtalan kémiai vegyületet alkalmaznak évtizedek óta világszerte. A technológiák fejlődésével a régebben használt természetes hatóanyagokat felváltották a különböző szintetikus vegyületek. Ezek közül is kiemelkedően veszélyesek az ún. POP vegyületekhez (*Persistent Organic Pollutants*), megmaradó képes szerves szennyezők) tartozó klórozott szénhidrogén típusú rovarölő szerek. Ezek a hatóanyagok jelentős bioakkumulációra illetve biomagnifikációra képesek, így hosszú távú hatásaikkal is számolnunk kell.

A növényvédőszer (pesticidek) alkalmazása ugyanakkor különböző globális mértékű problémát is jelent. Alkalmazásuk során szennyezhetik a levegőt, a talajt, illetve bekerülhetnek ivóvízkészleteinkbe is. A nem megfelelő helyekre kijuttatott vagy kikerült növényvédőszer a célszervezeteken kívül károsíthatja a terület élővilágát, emellett bekerülhetnek az élelmiszerláncba. Egy vegyület nem célterületen való megjelenésének veszélyét növeli a perzisztencia, a vízzoldékonyság és a toxikus metabolitok keletkezése. A növényvédőszer helyi bomlását számtalan tényező befolyásolja, ezek közül a legfontosabbak a talaj pH értéke, oxigénnel való ellátottsága és mikrobiális aktivitása (DARVAS és TAKÁCS-SÁNTA 2006). Az egyes hatóanyagok toxicitásának meghatározására biológiai tesztek alkalmasak, amelyek alapján megítélhető a környezetre illetve emberre való veszélyességük. A mérgezésnek való kitettség alapján két toxicitás típust különböztetünk meg: az akut (heveny) és a krónikus (idült) toxicitást. Az előbbi esetben a mérgező anyaggal szembeni egyszeri rövid idejű, míg az utóbbinál huzamosabb idejű kitettség valósul meg. Akut toxicitás meghatározására az emlősök közül elsősorban vándorpatkányt (*Rattus norvegicus*), ritkábban házi egeret (*Mus musculus*) alkalmaznak. A hatóanyag bejuttatása leggyakrabban orálisan (szájon át) vagy perkután (bőrön keresztül) történik. Vízi gerincesek közül gyakran használt testállatok a szivárványos pisztráng (*Salmo gairdnerii*), a ponty (*Cyprinus carpio*) és a nagy naphal (*Lepomis macrochir*). A halakon mért toxicitási eredmények általában összhangban vannak a vízi ízeltlábúakon (*Daphnia spp.*) mért toxicitással. Az akut toxicitás mérésére alkalmasak még egyéb

alacsonyabbrendű állatok, mint a házi méh (*Apis mellifica*), valamint bizonyos talajlakó földigiliszták, ugróvillások, atkák is (DARVAS 2006).

A növényvédő szerek toxicitásának kifejezésére az egyik leggyakrabban használt mérőszám az LC_{50} érték. Egy adott vegyület azon koncentrációját (*concentration lethalis*, LC) fejezik ki, amely a vizsgált testállatoknál 50 %-os mortalitást eredményez. Minél kisebb ez az érték, a használt hatóanyag annál mérgezőbb az adott testszervezetre (HAMILTON et al. 1977).

A vízzeloldható növényvédőszer hatóanyagok bekerülve a talajba, gyorsan eléri a talajvizet, és ezáltal kapcsolatba kerülhetnek ivóvízkészleteinkkel. Ha egy nagy perzisztenciájú vegyület még bizonyos mértékű vízzeloldékonysággal is rendelkezik, akkor nagymértékben szennyezheti a talajvizet. Az egyik ilyen hatóanyag az *atrazine*, amely anaerob körülmények között alig bomlik, így a talajban lefelé haladva egyre kevésbé bomlékony. A hazai vizeket tekintve, a leggyakoribb vízszennyezők az *atrazine* és az *acetochlor*, de rendszeresen előfordul a vizsgált mintákban *diazinon*, *metolachlor* és *trifluralin* is (KÁROLY et al. 2001).

A különböző hatóanyagok együttes hatása antagonizmust és szinergizmust is eredményezhet, míg más esetekben ezen anyagok additív kölcsönhatásaival kell számolnunk. *Esisenia foelide* giliszta tesztben az *acetochlor* és a műtrágyaként alkalmazott urea keverékének alkalmazása minden dózis mellett alacsonyabb toxicitást mutatott, mint az *acetochlor* egyedüli hatása, azonos körülmények között (XIAO et al. 2004). Zooplankton – köztük *Daphnia* sp – és algák esetében egyes inszekticidek (*carbaryl*, *malathion*, *chlorpyrifos*, *diazinon*, *endosulfan*) keverékének együttes hatása nem tér el jelentősen az egyenkénti alkalmazás okozta toxicitástól, vagyis a hatások alapvizsgálatok eredményei alapján becsülhetőek. Ugyanezen rovarölőket kételtűeken alkalmazva szinergista hatás mérhető. Hasonló jelenséget figyeltek meg herbicidek (*acetochlor*, *metolachlor*, *glyphosate*, *2,4-D*, *atrazine*) keverékének vizsgálata során is (RELYEA 2009).

A hazai vizeinkben leggyakrabban előforduló, és általunk is kimutatott hatóanyagok néhány vízi szervezetre gyakorolt hatását az 1. táblázatban foglaltuk össze, a The e-Pesticide Manual alapján.

1. táblázat. A mért hatóanyagok vízi szervezetre gyakorolt hatásai (TOMLIN 2000)

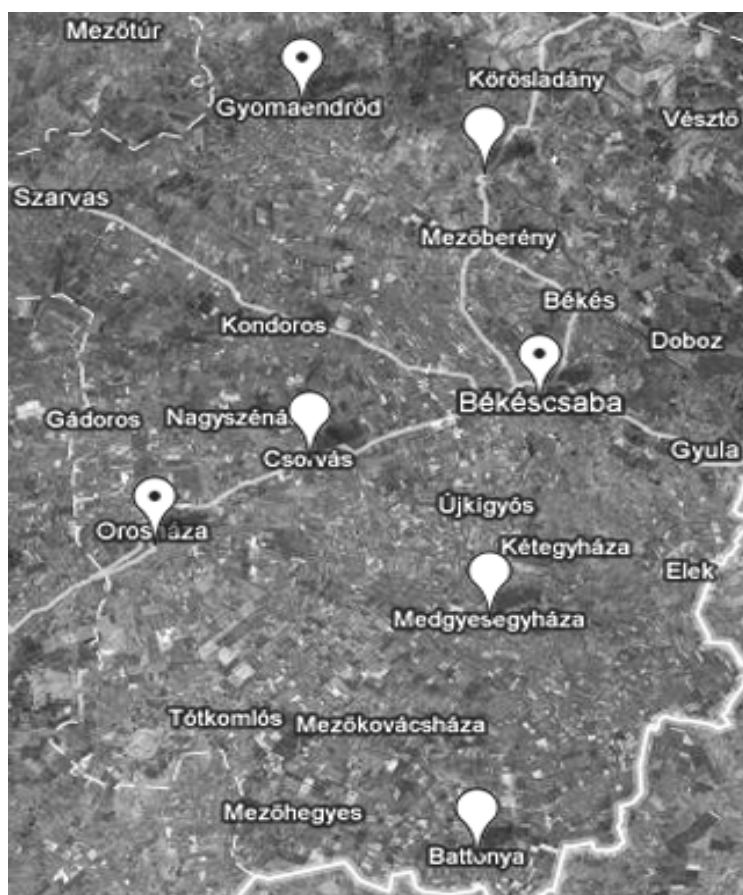
(* Magyarországon 2008-ban használata már nem engedélyezett (OCSKÓ 2008))

	Vízzeloldhatóság	LC_{50} értékek (<i>Daphnia magna</i>)	EC_{50} értékek (<i>Scenedesmus</i> -Sc <i>Selenastrum</i> -Se)	LC_{50} érték (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) (96 h)
<i>acetochlor</i>	223 mg/l (25°C)	9 mg/l 48 h	-	0,36 mg /l
<i>atrazine</i> *	33 mg/l (22°C) pH 7	87 mg/l 24 h	Sc – 0,043 mg/l 72 h	4,5-11,0 mg/l
<i>diazinon</i>	60 mg/l 20°C	0,96 µg/l	-	2,6-3,2 mg/l
<i>metolachlor</i>	488mg/l (25°C)	25mg/l 48 h	Sc – 0,1 mg/l	3,9 mg/l
<i>terbutryn</i> *	22 mg/l (22°C)	2,66 mg/l 48 h	Se – 0,013 mg/l	1,1 mg/l
<i>trifluralin</i>	0,221 mg/l (25°C) pH 7	0,245 mg/l 48 h	Se – 12,2 mg/l	0,088 mg/l

Anyag és módszer

Az általunk vizsgált környezeti minták Békés-megyéből származtak, míg az analitikai vizsgálatokat és a bioteszteket a MTA Növényvédelmi Kutatóintézete Ökotoxikológiai és Környezetanalitikai Osztályának laboratóriumában végeztük.

A vizsgálatokba ökológiai mezőgazdasági termelés alá vont-, intenzív mezőgazdasági-, és ipari területekről származó mintákat vontunk be. A talajvíz-mintavétel eredetileg meglévő, öntözési céllal létrehozott kutakból, vagy a területen lévő fúrt kutakból történt. Meglévő kút esetében a vízkivételre egyébként használt szerkezet által (szivattyú, hidrofor stb.) kivett vízből történt a vizsgálati mintavételezés. Ez esetben a minta homogén, a használatra jellemző paraméterekkel rendelkezik. Fúrt kútból nyert talajvíz minta az adott rétegre jellemző vízminőséget reprezentálja. A vizsgálati minta mennyisége minimálisan 5 l volt. Az analitikai vizsgálatok után választottuk ki a vízi szervezetekre potenciálisan veszélyt jelentő mintákat. A kísérlet során négy talajvízminta (V635, V639, V643, V645) fúrt kutakból, míg további négy minta (V651, V676, V677, V679) eredetileg meglévő, öntözésre használt kutakból származott.



1. ábra. Mintavételi helyszínek Békés-megyében (eredeti, felhasznált térkép forrása: GoogleMaps)

A vízminták GC-MS (gázkromatográfiás tömegspektrométeres) vizsgálathoz történő előkészítésére szilárd fázisú extrakciót (SPE) alkalmaztunk. A SPE technikához nem porózus, grafitizált széntöltetű SPE-oszlopot (CarboPrep-90 [Restek]) használtunk. A homogén, grafitizált széntöltet felszínén oxigénkomplexekeket tartalmaz, amelyek savas, bázikus illetve semleges komponenseket egyaránt megkötnek. Az SPE módszer jelentős előnye, hogy 500:1 – 1000:1 arányú töményítést (koncentrációt) tesz lehetővé. Az SPE eljáráshoz az oszlopokat (500 mg, 6 ml) vákuumos szívás mellett 5 ml diklór-metán/metanol (8:2), 2 ml metanol, majd 10 ml 10 mg/ml aszkorbinsavat tartalmazó desztillált vízzel kondicionáltuk. Ezután 1000 ml szűrt mintaoldatot eresztettünk át az oszlopon 10-15 ml/perc áramlási sebesség mellett, az oszlopot 7 ml desztillált vízzel öblítettük, levegő átszívásával 10 percig szárítottuk, 1 ml metanol/desztillált víz (1:1) oldattal mostuk, majd újra légszárazra szárítottuk. A semleges és bázikus mikroszennyezőket 1 ml metanol, majd 1 ml diklór-metán/metanol (8:2) eluens lassú átfolytatásával oldottuk le. Az egyesített szerves fázist nitrogéngáz alatt mintegy 0,1 ml térfogatra betöményítettük, a tömény oldathoz 2 ml izooktánt adtunk, majd 1 ml végtérfogatra töményítettük, s a műszeres analitikai eljárás elvégzéséig 4 °C-on tároltuk. Az előkészített minták növényvédő szerekre vonatkozó hatóanyag-maradványtartalmát mértük GC-MS-en. Kromatográfiás oszlopként a szerves vegyületek széles körének (alkoholok, aminok, aromás és alifás szénhidrogének, észterek, halogéntartalmú vegyületek stb.) elválasztására alkalmas, enyhén poláris tulajdonságú, 5% difenil- és 95% dimetil-polisziloxán töltetű kapilláris oszlopot alkalmaztunk. A talált hatóanyagok analitikai mintáival standard kromatogramokat vettünk fel, illetve ötpontos koncentráció kalibrációt végeztünk. (OLDAL et al. 2006)

A GC-MS vizsgálatokban talált vegyületeket részint analitikai standardok, részint GC-MS spektrumkönyvtárak (NIST 98, WILEY 7TH) segítségével azonosítjuk. A kísérleti körülmények. Az immobilizációs tesztet *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) tesztállaton az ISO 6341:1996 szabvány leírása alapján végeztük. A törzstenyészet a Palladin intézetből (Kijev, Ukrajna) és a LAB Research Hungary veszprémi intézetéből származik. A tenyészetet a tesztelőírás szerinti oldatban (*Daphnia* oldat) tartjuk, melynek elkészítéséhez négy féle adott koncentrációjú sóoldat (CaCl₂, MgSO₄, NaHCO₃, KCl) 25-25 ml-et elegyítjük, és 1 literre hígítjuk (ISO 6341: 1996). A megvilágítási idő napi 16 óra, a hőmérséklet 22 °C volt. A tesztállatok érzékenységét kálium-dikromát (K₂Cr₂O₇) tesztel mértük, amely során különböző koncentrációkban vizsgáltuk a tesztállatok alkalmasságát. A tesztek alapján a tenyészet megfelelőnek bizonyult a vízminta-vizsgálatra, mivel az LC₅₀ értékek minden esetben az elvárt 0,6 és 1,7 mg/l közé estek.

A kísérlet beállítása. A teszt során az állatoknak azt a tulajdonságát használjuk, hogy megfelelő körülmények között szűznemzéssel szaporodnak. Első lépésben a törzstenyészetből kiválogattuk az anyákat, melyeket kisebb főzőpohárba helyeztünk át. Az anyaállat testében szabad szemmel is jól kivehetők a fejlődő utódok. A teszthez a maximum 24 órás fiatal állatokat használtuk, ezeket eltávolítottuk az anyák mellől. Faeces poharakba a kontroll-csoport esetén 10 ml *Daphnia*-oldatot, a tesztcsoport esetén 10 ml mintát mértünk ki. A tesztek négy ismétlésben végeztük, ismétlésenként 10 állattal. 24 majd 48 óra elteltével vizsgáltuk az állatok mozgását, az immobilizációs protokoll alapján a mozgásképes egyedeket jegyeztük fel. A kísérlet befejeztével probitanalízissel kiszámoltuk az 50%-os mortalitást (illetve ebben az esetben immobilizációt) okozó koncentrációkat (LC₅₀-értékek). Ehhez a számításhoz az Microsoft® Office Excel 2003 programot használtuk.

Eredmények és értékelésük

A növényvédőszeresek közül mintegy 25, jelentős megmaradó képességgel rendelkező hatóanyag előfordulását vizsgáltuk a vízmintákban, az eddig beérkezettekben 6 peszticidet sikerült kimutatni. Ezek az *acetochlor*, *atrazine*, *diazinon*, *metolachlor*, *terbutryn* és a *trifluralin* hatóanyagok voltak.

Az előzetes kémiai analitikai vizsgálatok során megállapítottuk a minták hatóanyagtartalmát. A biológiai tesztelésre kerülő vízminták tehát az ily módon meghatározott hatóanyag-mennyiségeket tartalmazzák. A vizsgált mintákban a leggyakoribb szennyezők az *atrazine*, az *acetochlor* és a *metolachlor* voltak. A V677 és V679 minták ipari szennyezés után elvileg megtisztított kutakból származnak, azonban méréseink szerint mindkét hely továbbra is nagy mennyiségben tartalmaz növényvédőszer maradványokat. A V651-es minta ökológiai gazdálkodású területről származik, ahol a vizsgált hatóanyagok használata kizárt, ennek ellenére az jelentős mértékű *diazinon* szennyezést tartalmazott. A vegyület erősen perzisztens, tehát jelenléte lehet korábbi használat, vagy vízdékonyságából adódó terjedés következménye.

A 2. táblázatban összefoglaltuk a kiszámolt mortalitási- és az LC₅₀ értékeket, zárójelben az ehhez tartozó konfidencia intervallum értékek szerepelnek. A mortalitási % számolása során minden esetben a Henderson–Tilton képletet használtuk, mely a kezeléseket korigálja a kontroll kezelés mortalitásával. A továbbiakban a mortalitási százalék kifejezés alatt a Henderson–Tilton formulával korigált adatok értendők.

2. táblázat. A vizsgált minták hatóanyagtartalma és a tesztállatokon (*D. magna*) okozott mortalitása (* int: intenzív mezőgazdasági, öko: ökológiai, ip.: ipari **The e-Pesticide Manual 2000-2001).

Minta sorszáma/terület jellege*	Hatóanyag tartalom (ng hatóanyag maradék/liter víz)						Mortalitási (H-T)% (szórás) /LC ₅₀ (konf.int.)
	<i>acetochlor</i>	<i>atrazine</i>	<i>diazinon</i>	<i>metolachlor</i>	<i>terbutryn</i>	<i>trifluralin</i>	
V639/int.	-	-	-	4	-	-	0
V645/int.	-	-	-	<1	-	-	0
V651/öko.	-	-	840	-	-	-	0
V676/ip.	180	-	8	>10 ⁶	-	-	65 (8,66)
V677/ip.	>>10 ⁶	105	<1	1660	180	800	100 /6,4 (4,34-8,93)
V679/ip.	>10 ⁶	>10000	<1	560	350	9020	100 /13,34 (8,97-18,83)
LC ₅₀ értékek (<i>Daphnia magna</i>)**	9 mg/l 48 h	87 mg/l 24 h	0,96 µg/l	25 mg/l 48 h	2,66 mg/l 48 h	0,245 mg/l 48 h	

A V635 és a V643 sz. mintákban növényvédő szert nem sikerült kimutatnunk, azonban mindkettőben *dibutyl-phthalate* adalékanyagot találtunk – ahogy több peszticid maradványt tartalmazó mintában is – ezért kerültek a vizsgálati sorba. Megállapítottuk, hogy még nagy mennyiségű (100 ng/liter) *dibutyl-phthalate* sem befolyásolja érdemben a mérést. Akut toxicitást tehát nem okoznak, viszont ilyen

esetben érdemes krónikus toxicitási tesztet is elvégezni, hogy ezen anyagok hosszabb távú hatásait detektálhassuk.

A V639 és V645 sz. mintákban kis mennyiségű *metolachlor* hatóanyagot sikerült kimutatni, így a várt eredményt kaptuk, vagyis a minták nem okoztak mobilitás gátlást a tesztállatokon.

A V651 sz. minta esetében nem tapasztaltunk mobilitásgátlást, ami azért érdekes, mivel a minta mért *diazinon* tartalma ugyan nem éri el, de nagyon megközelíti a hatóanyagra meghatározott LC_{50} értéket. Ez esetben bizonyos mértékű mortalitást kellett volna tapasztalnunk. Feltételezhető, hogy a mintában található egyéb szennyeződések antagonista kölcsönhatások révén gátolhatták a vegyület biológiai hatáskifejtését.

A V676 sz. mintában kismértékű – biológiai hatását tekintve elenyésző – *diazinon* és *acetochlor*, illetve LC_{50} értéket mintegy kétszeresen meghaladó mennyiségű *metolachlor* szennyeződéseket határoztunk meg, amelyek 65 %-os mortalitást okoztak. Ennél a mintánál ismételtén felvetődik az esetleges antagonista hatások megjelenése.

A V677 sz. és a V679 sz. minták hígítatlan tesztelésekor a várthoz hasonló eredmény született, mivel mindkét esetben nagyságrendekkel több növényvédő szer hatóanyagot tartalmaz az analitikai mérés szerint, mint amennyi az LC_{50} értékben meg lett határozva. Mindkét esetben 100 %-os mortalitást tapasztaltunk.

Ezen két vízmintán 5-, 10-, 25-, 50-, és 100 - szorosan hígítottan is elvégeztük a méréseket. Az így kapott mortalitási eredményekből számítottunk LC_{50} értékeket. A 6,4- és 13,34-szeres hígításra számított LC_{50} értékek bár kimagasló toxicitást jelentenek környezeti vízminták esetén, valójában alacsonyabbak a vártnál. A két minta rendkívüli *acetochlor* – emellett a V677 jelűnél *trifluralin* – szennyezettsége alapján még a mértnél is jelentősebb toxicitásra számítottunk.

Irodalmi adatok alapján, a teszt szervezeten additív hatást feltételeztünk a vizsgált vizekben előforduló hatóanyagoknál. Bár kísérleteink elsősorban a környezeti vízminták valós toxicitásának meghatározására irányultak, előzetesen megállapítható, hogy a nagy víziből a mintáinkból kimutatott egyes herbicidek (*acetochlor*, *trifluralin*) antagonista hatásúak. Ennek igazolására azonban további célzott, tiszta hatóanyagok keverékével végzett vizsgálatok szükségesek.

Köszönetnyilvánítás: Jelen munka az NKTH JÁP „Montabio TSZ 071128” számú támogatásban részesült.

Felhasznált irodalom

- DARVAS, B (2006): A növényvédő szerek heveny toxicitása gerinceseken. In: DARVAS B. – SZÉKÁCS, A. (szerk.): Mezőgazdasági ökotoxikológia, L'Hartmann, Budapest, pp. 123–128.
- DARVAS, B. – TAKÁCS-SÁNTA, A. (2006): Globális környezeti problémáink, különös tekintettel a mezőgazdaságban használt vegyületekre. In: DARVAS B., SZÉKÁCS, A. (szerk.), Mezőgazdasági ökotoxikológia, L'Hartmann, Budapest, pp. 12–18.
- HAMILTON, M.A. – RUSSO, R.C. – THURSTON, R.V. (1977): Trimmed Spearman-Kärber Method for Estimating Median Lethal Concentrations in Toxicity Bioassays. – Environmental Science and Technology. 11(7): 714–719.

- ISO 6431:1996 Water quality - Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) - Acute toxicity test.
- KÁROLY, G. – GYÖRFI, L. – OCSKÓ, Z. (2001): Felszíni vizeink növényvédőszer-szennyezettségi vizsgálatai. – Növényvédelem, 37: 539–545.
- MSZ EN ISO 5667-2:1993 Vízmintavétel. A mintavételi technikák előírásai.
- MSZ 21464:1998 Mintavétel a felszín alatti vizekből.
- NIST – National Institute of Standards and Technology (2008): Mass Spectral Library – U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America.
- OLDAL, B. – MALOSCHIK, E. – UZINGER, N. – ANTON, A. – SZÉKÁCS, A. (2006): Pesticide residues in Hungarian soils. – *Geoderma* 135: 163–178.
- OCSKÓ, Z. (2008): Engedélyezett növényvédő szerek fontosabb adatai és felhasználási területük. In: SZABAD, G. (szerk.): Növényvédő szerek, termésnövelő anyagok I., pp. 8–433.
- RELYEA, R.A. (2009): A cocktail of contaminants: how mixtures of pesticides at low concentrations affect aquatic communities. – *Oecologia* 159: 363–376.
- SZÉKÁCS, A. – DARVAS, B. (2006): Talaj- és vízszennyező növényvédő szerek. In: DARVAS B. – SZÉKÁCS, A. (szerk.): Mezőgazdasági ökotoxikológia, L'Hartmann, Budapest, pp. 269–277.
- TOMLIN, C.D.S. (szerk.) (2000): The e-Pesticide Manual 2000-2001 (Twelfth Edition). – The British Crop Protection Council
- XIAO, H. – ZHOU, Q.X. – LIANG J.D. (2004): Single and joint effects of *acetochlor* and *urea* on earthworm *Eisenia foetida* populations in phaeozem. – *Environmental Geochemistry and Health* 26: 277–283.