

## VIII. ÖKOTOXIKOLÓGIAI KONFERENCIA előadás és poszter kötete

### *A konferencia helye*

Országos Közegészségügyi Központ Fodor József terem  
1097, Budapest, Nagyvárad tér 2.

### *Időpont*

2018. november 23. (péntek) 9:00-17:30

### *Szervező*

Magyar Ökotoxikológiai Társaság: *Csenki-Bakos Zsolt, Darvas Béla és Simon Gergely*

### *Társszervező*

Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Ökológiai Tanszék, Debrecen  
NAIK Agrár-környezettudományi Kutatóintézet, Budapest  
Szent István Egyetem MKK Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet, Gödöllő

### *Program házigazda*

Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Ökológiai Tanszék, Debrecen



Kapronczai Erika és Végh Júlia – [Plastic waste labyrinth](#) – Fotó: Darvas Béla<sup>©</sup>

A konferenciakötet főszerkesztője  
***Darvas Béla***

A szerkesztő bizottság tagjai  
***Csenki-Bakos Zsolt, Simon Edina és Székács András***

ISBN 978-963-89452-9-7

Kiadó  
***Magyar Ökotoxikológiai Társaság***  
Budapest  
2018

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>Balogh Erna, Bock Illés, Csenki-Bakos Katalin, Urbányi Béla és Csenki-Bakos Zsolt:</b> A zebradánió egyes szerveire gyakorolt toxikus hatás felderítése génextpressziós vizsgálattal víztisztítási melléktermék vizsgálata során	5
<b>Darvas Béla:</b> A mezőgazdasági géntechnológia mai gyakorlata és az Európai Unió	6
<b>Darvas Béla és Székács András:</b> A növénytermesztési célú genomszerkesztésről – európai nézőpont	7
<b>Fodor István, Svigruha Réka, Zrínyi Zita, Büki Gergely, Urbán Péter és Pirger Zsolt:</b> Gonadotropin-fel szabadító hormon (GnRH) expresszióvizsgálata progesztogénkezelt nagy mocsári csiga ( <i>Lymnaea stagnalis</i> ) központi idegrendszerében	9
<b>Gémes Borbála, Klátyik Szandra, Lázár Diána, Lenk Sándor, Barócsi Attila, Kocsányi László, Takács Eszter és Székács András:</b> Toxicitási tesztekben alkalmazott algabiomassza-bebecslési módszerek összehasonlítása	10
<b>Gyurcsó Gergő, Baska Ferenc, Mörthl Mária, Simon László, Pasaréti Gyula, Cséffán Tamás, Székács András és Darvas Béla:</b> Húszhetes glyphosate-expozíció hatása a zebradánió ivardeterminációjára	11
<b>Illár Máté, Simon Edina, Miskolczi Margit és Dévai György:</b> Környezeti tényezők hatásának bebecslési lehetőségei morfometriai jelegek alapján	13
<b>Ivánovics Bence, Gazsi Gyöngyi, Ács András, Csenki-Bakos Zsolt, Reining Márta, Urbányi Béla és Czimmerer Zsolt:</b> Szubletális, embrionális aflatoxin B1-expozíció hatása a zebradánió lárvális táplálékfelvételére és juvenilis túlélésére	14
<b>Klátyik Szandra, Mörthl Mária, Takács Eszter és Székács András:</b> A lineáris alkil-benzol-szulfonátok toxicitása és lebomlása felszíni vizekben önmagukban és neonikotinoidok jelenlétében	15
<b>Kollár Tímea, Kása Eszter, Csorbai Balázs, Urbányi Béla, Csenki-Bakos Zsolt és Horváth Ákos:</b> Halsperma vizsgálatára alapozott toxikológiai tesztrendszer kidolgozása	17
<b>Kukolya József, Vidács Ildikó, Inotai Katalin, Kosztik Judit, Sárkány Dorottya, Szekeres András, Kocsubé Sándor, Tóth Beáta, Balogh Krisztián, Risa Anita és Dobolyi Csaba:</b> Sztigmatoesztintermelő penészek izolálása, az általuk termelt mikotoxin biológiai hatásának és biodegradációs lehetőségeinek elemzése	18
<b>M-Hamvas Márta, Máthé Csaba, Jenei Nándor, Ajtay Kitti, Jámbrik Katalin, Karászi Alíz és Vasas Gábor:</b> Cianobaktériumok által termelt toxinok indukálta apoptózis és a sziklevek természetes szenescenciája fehér mustáron	19

<b>Molnár Éva, Fodor István, Takács Péter, Zrínyi Zita, Kuzma Mónika, Mayer Mátyás, Pirger Zsolt és Maász Gábor:</b> Gyógyszerhatóanyag-koncentrációk felmérése a Balatonban és annak vízgyűjtő területén a szezonális hatások figyelembevételével _____	20
<b>Molnár Vanda Éva, Tóthmérész Béla, Szabó Szilárd és Simon Edina:</b> Fafajok pormegkötésének és légszennyezettségi tolerancia indexének meghatározása _____	22
<b>Mónok Dávid és Kardos Levente:</b> Nehézfémek hatása a nagyvirágú bársonyvirág növekedési paramétereire _____	23
<b>Mónok Dávid és Strbik Dorina:</b> Ólom- és kadmiumsók fitotoxicitása angolperjére komposztal kezelt homoktalajon _____	24
<b>Mörtl Mária, Darvas Béla, Vehovszky Ágnes, Győri János és Székács András:</b> Neonikotinoidek megjelenése csávázott magokból a társnövények guttációs folyadékában _____	25
<b>Nyeste Krisztián, Rózsa János, Abonyi Tamás, Somogyi Dóra, Tóth Csilla Noémi, Harangi Sándor, Baranyai Edina, Simon Edina, Nagy Sándor Alex és Antal László:</b> A domolykó ( <i>Squalius cephalus</i> ) bioakkumulációs vizsgálata a Sajó vízgyűjtőjén _____	27
<b>Oláh Viktor, Kiss Izabella, Szecskó Dorina, Hepp Anna és Mészáros Ilona:</b> A klorofill fluoreszcencia-indukció paramétereinek alkalmazhatósága békalencsetesztekben _____	28
<b>Papp Dalma, Simon Edina, Mizser Szabolcs, Nagy Leila, Vidic Andreas és Tóthmérész Béla:</b> Toxikus környezet hatásának vizsgálata ízeltlábú szervezetek morfológiai jellemzőire és elemösszetételére _____	29
<b>Radó Júlia, Háhn Judit, Farkas Milán, Tóth Gergő, Kaszab Edit, Harkai Péter, Balázs Adrienn, Risa Anita, Kriszt Balázs és Szoboszlay Sándor:</b> A Balaton vízgyűjtő mikrobiológiai és ökotoxikológiai vizsgálata (2) _____	31
<b>Simon Edina, Tózsér Dávid, Simon László, Magura Tibor és Orlóci László:</b> Nehézfémekkel szennyezett talaj hatása néhány egyszikű haszonnövény növekedésére _____	32
<b>Simon László, Gyurcsó Gergő, Szikora Bence, Baska Ferenc, Matkó János, Takács Eszter, Székács András és Darvas Béla:</b> Húszhetes glyphosate-expozíció harmadára csökkenti a zebradánió ( <i>Danio rerio</i> ) granulocitaszámát _____	33
<b>Svigruha Réka, Zrínyi Zita, Fodor István, Kardos Vivien, G-Tóth László és Pirger Zsolt:</b> Gerinctelen vízi modellállatokban megfigyelhető változások progesztogén hatóanyagok hosszú távú terhelése során _____	35
<b>Szabó Borbála, Kocsis Ramóna és Mézes Miklós:</b> DON és T-2 mikotoxinok hatása a <i>Folsomia candida</i> ( <i>Collembola</i> ) faj túlélésére, utódprodukcijára és táplálékválasztására _____	36

<b>Takács Anita, Almeshal Wael és Záray Gyula: Felszíni vizek mikroműanyag-szennyezése</b> _____	37
<b>Takács Eszter, Klátyik Szandra, Mörtl Mária, Maureen Weber, Michael Maderthaner, Edith Gruber, Johann G. Zaller és Székács András: A glyphosate gyomirtószer-hatóanyag, mint expozíciós marker földigilisztatoxicitási vizsgálatokban</b> _____	38
<b>Tőzsér Dávid, Magura Tibor, Simon Edina és Tóthmérész Béla: Fűzfajok fitoextrakciós potenciáljának vizsgálata</b> _____	40
<b>Varga Csaba és Darvas Béla: A műanyagok hormonmoduláns összetevői</b> _____	41
<b>Vehovszky Ágnes, Farkas Anna, Csikós Vivien, Székács András, Mörtl Mária és Győri János: A neonikotinoid hatóanyagú rovarölő szerek módosítják az MXR celluláris védekező rendszer aktivitását Dreissena bugensis izolált kopoltyújában</b> _____	42
<b>Zsemberi Orsolya, Szabó Borbála és Sárospataki Miklós: Bordóilé NEO SC hatásai a földi poszméh (Bombus terrestris) mortalitására és táplálékválasztására</b> _____	43
<b>Index</b> _____	45

Adója társadalmi célra jutó 1%-át ajánlja fel a  
**Magyar Ökotoxikológiai Társaság Egyesületnek**  
 A kedvezményezett adószáma: **18220069-1-41**



Mathieu Asselin – *Monsanto: A photographic investigation*. Expo Arles, 2017 ([Vimeo](#)<sup>®</sup>)



*Plasticland* (Fotó: Darvas Béla<sup>®</sup>)

## A zebradánió egyes szerveire gyakorolt toxikus hatás felderítése génextpressziós vizsgálattal víztisztítási melléktermék vizsgálata során

**Balogh Erna, Bock Illés, Csenki-Bakos Katalin, Urbányi Béla és Csenki-Bakos Zsolt**

Szent István Egyetem MKK Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet, Gödöllő

A zebradánió-embriókat gyakran használják alternatív modellként a toxikológiában, hiszen nyomon követhetővé válik a vizsgált anyag hatása az ivadékok fejlődésére. Bizonyos szervek (idegrendszer, érrendszer, máj és vese) esetében azonban a vizuális vizsgálat nehezen végezhető el, illetve egyes tünetek rejtve maradhatnak az akut embrióteszt során. Ezekben az esetekben nyújthat nagy segítséget az adott célszervben zajló folyamatokról pontos képet adó gének expressziójának vizsgálata.

Kísérletünkben a vad genotípusú embriókban nehezen megfigyelhető szervek (pl. vese) működését jól jellemző szervspecifikus gének kiválasztása volt a célunk, amelyek kvantitatív *RT-PCR* alkalmazásával kellő mértékben előre jelzik a célszerv toxikus érintettségét, még azelőtt, mielőtt a vizsgált vegyület hatása fenotípusosan megjelenne. Munkánk során két anyagot a 2,3,7,8'-tetraklór-dibenzo-*p*-dioxint (*TCDD*) és a 3-amino-9-etil-karbazolt (3A9EC) használtuk fel, melyek károsító hatásukat a vesében, a májban, az idegrendszerben, valamint a szív- és érrendszerben fejtik ki.

A vizsgálatok során  $LC_{10}$  alatti dózissal kezeltünk a zebradánió-embriókat, majd ezt követően génextpressziós vizsgálatokat végeztünk a kezelt lárvákon *qRT-PCR* módszer segítségével. Irodalmi adatok és saját vizsgálatok alapján olyan géneket választottunk,<sup>1-2</sup> amelyek fontos szerep töltenek be az idegrendszer, a vese, az érrendszer és a máj megfelelő fejlődése során. Az idegrendszer esetében a vizsgált gének a *alT*, *gap43*, *ngn1*, *gfap*, *elavl3*, *syn2a*, *mbp*, az érrendszer esetében a *Fli-1*, *HIF1a*, *notch1a*, *A2a.1*, *A2a.2*, *A2b* a máj esetében a *gpx4b*, *got2a*, *mknk2b*, *scd*, a vese tekintetében pedig a *wt1b* voltak. Az eredményeket referenciagénhez viszonyítva az expressziós szinteket relatív értékben kaptuk meg.

Az eredmények azt mutatták, hogy a vizsgált anyagok hatására az összes gén esetében megfigyelhető volt a génextpressziós szintváltozása a kontrollcsoporthoz viszonyítva. A 3A9EC esetében minden vizsgált szerv károsodása megfigyelhető volt a génextpressziós vizsgálat során (idegrendszer: a 7 vizsgált gén expressziószint-változást mutatott, érrendszer: mind a 6 vizsgált gén kifejeződése eltérő volt, máj: mind a 4 gén expressziószintje eltérő volt, vese: a vizsgált gén expressziószintje alacsonyabb volt a kontrollgyedekhez viszonyítva). A *TCDD* esetében csak a vese károsodása nem volt kimutatható (idegrendszer: 7 vizsgált génből 4 esetben történt változás, érrendszer: mind a 6 vizsgált gén expressziószintje eltérő volt, máj: mind a 4 gén expressziószintje magasabb volt a kontrollgyedekhez viszonyítva). Azonban a változás mértéke nem minden esetben

<sup>1</sup> Fan *et al.* (2010) *Neurotoxicol. Teratol.* **32** (1), 91-98.

<sup>2</sup> Dhanasiri *et al.* (2013) *PLoS One.* **10**, 8(6):e65028

volt elég ahhoz, hogy megfelelően reprezentálja az adott szervben bekövetkező toxikus hatásokat.

Összességében megállapítható, hogy az általunk vizsgált gének alkalmasak lehetnek az adott szerv működésében bekövetkező változások felderítésére, elősegítve ezzel a vizsgált anyag hatásainak feltérképezését. A génexpressziós vizsgálatok emellett segítséget nyújthatnak az akut tesztek eredményein alapuló félkrónikus és krónikus tesztek dózisaiknak megtervezésénél is.

**Kulcsszavak:** Balogh Erna, Bock Illés, Csenki-Bakos Katalin, Urbányi Béla, Csenki-Bakos Zsolt, génexpresszió, RT-PCR, vese, máj, idegrendszer, érendszér, *Danio rerio*

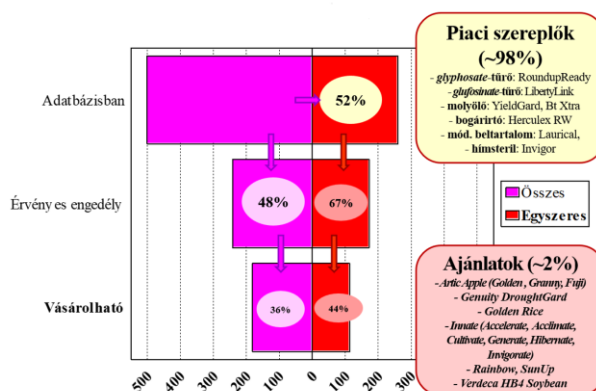
\*

## A mezőgazdasági géntechnológia mai gyakorlata és az Európai Unió

**Darvas Béla**

Magyar Ökotoxikológiai Társaság

A fajtatulajdonosok (*ISAAA*) adatbázisa 2018-ban 501 genetikai eseményt (*genetic event*) tart nyilván. Érvényes engedélye 48%-nak van. Ez a szám – a kereskedelmi fajtákat tekintve – 36%-ra csökken. Az összes nyilvántartott genetikai eseményből 52% egyszeres, melyek kombinációiból a többszörösek (*stacked*) előállíthatók. A kereskedelmi forgalomban lévő egyszeres genetikai események száma 114 (2018. szeptember). A fajták szinte mindegyike *Agrobacterium*-vektor vagy génpuska használatán alapul. A *GMO*-k 80%-a növényvédelmi célú (főként *glyphosate*-tűrő és *Bt*-növény), 13% beltartalmában módosított (főként az olaj- és keményítőtartalom érintett) és 6% hímsteril (kiemelhető az olajrepcé) fajtacsoport. A stressztűrő növények 1% alatti hányadot képviselnek. Az Európai Unió (EU) [adatbázisában](#) a genetikai események egyharmada található csak, és a vetés előtt továbbra is elzárkózunk.



A *pro-GMO* hírverés a nyilvántartott fajták közel 2%-át emeli ki pozitív példaként. Így a szárazságtűrő kukorica (*Genuity DroughtGard*) és szója (*Vedeca*

HB4), valamint pár géncsendesítéssel előállított fajtacsoport, mint a nem barnuló alma (*Artic Apple*), a sütéskor alacsony akril-amid-tartalmú burgonya (*Innate*) és az alacsony ligninszintű lucerna (*HarvXtra*). A *GMO*-k közül legtöbbet az aranyrizs (*Golden Rice*) körül kering a közbeszéd, amit 2017-ben engedélyeztek Ausztráliában és az idén Észak-Amerikában, de használhatósága az *FDA* szerint kétséges. E fajtacsoportok mindegyikét *Agrobacterium*-vektorral – vagyis nem genomszerkesztéssel – állították elő. A legkomolyabb siker a gyűrűsfoltosság-rezisztens papaja (*Rainbow, SunUp*) esete, amely fajtacsoportok Hawaii szigetén ma már szinte kizárólagos termesztésűek. Ezeket génpuskával állították elő.

A genomszerkesztés a géntechnológia új és pontosabb módszereit foglalja magában. A gyakorlat számára előállított fajtacsoportok csekély számúak. *CRISPR/Cas9* technológiával állították elő a nem barnuló csiperkét és az ipari célú viaszos kukoricát, valamint *ODM* alkalmazásával a szulfonil-karbamid gyomirtókat tűrő olajrepcét. Az *FDA* ezeket kivette a *GMO*-szabályozás alól, az EU azonban a *Curia* jogi állásfoglalása után aligha fog hasonlóan dönteni. Komoly gazdasági sikerek az eddigi eredmények nem nevezhetők; **ígéret** viszont sokféle van. Az európai jogi szabályozásnak újra kell gondolnia és korszerűsítene a törvényeit, hiszen a zárt (önbeporzók, állatok) és nyílt (idegenbeporzók) rendszerek, valamint a bírált termékek sokfélesége (*GMO, GEO, GSO*) ezt joggal követelik ki. Eltérően kell szabályozni a mikrobiális géntechnológiai eljárásokat is, ahol a tisztított terméket (főként gyógyszerek) használjuk (pl. *GM*-előállítású inzulin), és ezek már megelégedésre használatban vannak.

*Kulcsszavak:* Darvas Béla, *GMO, GEO, GSO*, genomszerkesztés, *CRISPR/Cas9, ODM, glyphosate*

\*

## A növénytermesztési célú genomszerkesztésről – európai nézőpont

Darvas Béla<sup>a</sup> és Székács András<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Magyar Ökotoxikológiai Társaság; <sup>b</sup>NAIK Agrár-környezettudományi Kutatóintézet, Budapest

A géntechnológia ma már a *GMO* (*genetically modified organism* – idegen gén jelenik meg) megnevezésén kívül, *GEO* (*genetically engineered organism* – itt: allélcseré) és *GSO* (*genetically silenced organism* – saját gén csendesítése) kategóriákat is felmutat. Ezek eltérő jogi szabályozása indokolt lenne, de ezzel jelenleg még az **európai jog** nem szolgálhat.<sup>3</sup> A Európai Unió Bírósága (*Curia*) ugyanakkor az *FDA* (*US Food & Drug Administration*) döntését követően azzal ellenkező értelmű döntést hozott, melyben a genomszerkesztéssel készült fajtacsoportokat is *GMO*-kra vonatkozó jogszabályok alá tartozónak minősítette.<sup>4</sup> Segíthette ebben a termékfüggetlen kutatókat tömörítő **ENSSER állásfoglalása**.

A genomszerkesztési eljárásokra (*ZFN, TALEN, CRISPR/Cas9, ODM, RNSi* stb.) az *FDA* döntése nyomán jelenleg semmilyen nyomon követés nem történik.

<sup>3</sup> Fontaine & Pagrotsky (2001) *Off. J. Eur. Comm.* **106**, 1-38.

<sup>4</sup> EUB (2018) 111/18. számú sajtóközlemény

Ennek konkrét esetei a *CRISPR/Cas9* (*CC*) technológiával készített, papírgyártáshoz alkalmas *CC*-viaszos kukorica (DuPont/Pioneer), a nem barnuló *CC*-csiperkegomba (*Pennsylvania State Univ.*), valamint az oligonukleotid-irányított mutagenézissel (*ODM*) előállított *SU-canola* (szulfonil-karbamid típusú gyomirtónak ellenálló repce – Cibus). A *CC*-csiperkegomba megjelenhet európai piacokon, miközben a **korát megállapítani nehéz**: a sérüléssel összefüggő barnulást nem mutatja [a polifenol-oxidáz (*ppo*) enzimet kódoló gének közül párat **elcsendesítettek**] a fehérjék bomlásának ütemét, ami így egészségügyi gondokat okozhat (puffadás, hasmenés).

Ígér a genomszerkesztés kutatása sokféle új típusú módosított fajtát, amelyek már érintik az emberi táplálékláncot.<sup>5</sup> Így a búzával kapcsolatban, amelyet eddig a nemzetközi cégek ebbéli tevékenysége nem érintett. Most *CC* és *TALEN* technológiával előállított lisztharmatrezisztens búza (*TaMLO*), mellett baktériumrezisztens rizs (*OsSWEET14*), valamint vírusrezisztens uborka (*eIF4E*) is az ígéreték közé tartozik. Előkerül ismételten a szárazságtűrő kukorica (*ARGOS8*) és a beltartalmában módosított burgonya (*VInv*) is.

Éppen az Innate burgonyák módosításának, pl. a *ppo* csendesítésének (*RNSi* technológia) a kritikájáról jelentetett meg könyvet Caius Rommens a Simplot burgonyák innovátora, és írta le kétségeit, ami miatt a céget is elhagyta.<sup>6</sup> A barnulás elmaradása csak a látvány, amely nem reprezentálja a mögöttes biokémiai folyamatokat, ahol a melaninképződés elmaradása miatt toxikus közti termékek halmozódnak fel. A géncsendesítés napjainkban igen népszerű termékei mögé is kérdőjel került. Nehéz a *GMO* és a genomszerkesztés (*GEO*, *GSO*) szétválasztása, és ezen belül is csak az esetről esetre eltérő bírálat tanácsolható. A *Curia* elővigyázatossági elven alapuló döntése helyes és iránymutató jogi megoldás volt.

A genomszerkesztés fontos jogi kérdése, hogyan alakul a jogvédelem gyakorlata. Miközben a *TALEN* és *ZNF* technológiák már alapszabadalommal védettek, a *CC* kapcsán ez még vita tárgya. A *TALEN* esetében a joggyakorlat meglehetősen egyszerű: a jelenlegi szabadalmas cégek (*Collectis*, *Thermo-Fisher* és *Two Blades Found.*) gyakorlatilag minden fejlesztőnek megadják a jogot, de a termékből jogdíjat igényelnek. Hasonló a helyzet a *ZFN* esetén, ahol két fő szabadalmast (*Sangamo* és *Sigma-Aldrich*) találunk. A *CC* kapcsán a jogállás sokkal összetettebb, hiszen nagyszámú általános és konkrét alkalmazási eljárásra született már szabadalom, így vita tárgya, ki az alapszabadalmas.

**Kulcsszavak:** Darvas Béla, Székács András, *GMO*, *GEO*, *GSO*, genomszerkesztés, *CRISPR/Cas9*, *ODM*, *TALEN*, *RNSi*, szabadalom



<sup>5</sup> Jung et al. (2018) *Plant Breeding* **137** (1), 1-9.

<sup>6</sup> Rommens (2018) *Pandora's Potatoes* Yimagine (Amazon)

## Gonadotropin-felszabadító hormon (GnRH) expresszióvizsgálata progesztogénkezelt nagy mocsári csiga (*Lymnaea stagnalis*) központi idegrendszerében

Fodor István,<sup>a</sup> Svigruha Réka,<sup>a,b</sup> Zrínyi Zita,<sup>a</sup> Büki Gergely,<sup>c</sup> Urbán Péter<sup>d</sup> és Pirger Zsolt<sup>a</sup>

<sup>a</sup>MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, Adaptációs Neuroetológiai Kutatócsoport, Tihany; <sup>b</sup>Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Környezettudományi Intézet, Limnológia Tanszék, Veszprém; <sup>c</sup>PTE ÁOK, Klinikai Központ, Orvosi Genetikai Intézet, Pécs; <sup>d</sup>PTE SZKK, Mikrobiális Biotechnológiai Kutatócsoport, Pécs

A jelenleg használt szennyvíztisztítási eljárások nem képesek az orális fogamzásgátló hatóanyag-maradványok teljes eltávolítására, így ezek a molekulák, valamint metabolitjaik, aktív formában bejuthatnak a természetes vizekbe.<sup>7</sup> Kutatócsoportunk korábban a Balaton és a Zala vízgyűjtőin 1-10 ng/l koncentrációtartományban mutatta ki a progesztogén-szennyezéseket.<sup>8</sup> A szennyezési koncentrációk megismerése után az élőlényekre gyakorolt lehetséges hosszú távú hatásait, a balatoni ökoszisztémát is jellemző gerinctelen és gerinces vízi állatokon, így például az ökotoxikológiai modellállatként is gyakran alkalmazott nagy mocsári csigán (*Lymnaea stagnalis*) vizsgáltuk.<sup>9</sup>

A gonadotropin-felszabadító hormon (*GnRH*) a gerinces reprodukciós folyamatok központi modulátora, amelyre a felszabaduló progeszteron negatív *feedback* hatással van.<sup>10</sup> A *GnRH*-szerű molekulát azonosították már néhány gerinctelen fajban is, azonban a molekula strukturális és funkcionális tulajdonsága még nem teljesen tisztázott. Igaz ez a csigák endokrin rendszerére is, ahol több gerinces szteroid analóg jelenlétét leírták. A koleszterolt, mint a *pregnenolon* (P5) *prekurzorát*, kimutatták a *L. stagnalis* idegszövetében is,<sup>11</sup> továbbá, a P5 – progeszterontranszformáció is igazolást nyert.<sup>12</sup> Kísérleteink során arra a kérdésre kerestük a választ, hogy a Balaton és a Zala vízgyűjtőin kimutatott progesztogének vajon képesek-e befolyásolni a *L. stagnalis* *GnRH*-expressziószintjét.

A saját tenyésztésből származó állatokat három csoportra (n=15 állat/csoport) osztottuk: kezeletlen kontroll, 10 ng/l és 500 ng/l. Az állatokat kontrollált laboratóriumi körülmények között 21 napig, a környezeti szituációt modellezve, progesztogénkeverékek (progeszteron, *drospirenone*, *gestodene*, *levonorgestrel*) terhelésének tettük ki, amely valós környezeti kockázatbecslésre ad lehetőséget. A *GnRH*-expresszió szintjének vizsgálatához első lépésben *in silico* azonosítottuk a *L. stagnalis* genomjában a potenciális *GnRH*-kódoló régiót, majd az állatok központi idegrendszeréből transzkriptumizolálás után kapilláris szekvenáló segítségével meghatároztuk a nukleotidszekvenciát. A kódoló régióra tervezett primerek segítségével, kvantitatív *real-time PCR* (*qRT-PCR*) készülékekkel vizsgáltuk a kísérleti csoportok egyedeiben a *GnRH*-expresszió szintjét. Megállapítottuk, hogy

<sup>7</sup> Liu *et al.* (2011) *Sci. Total Environ.* **409**, 5149-5161.

<sup>8</sup> Avar *et al.* (2016) *Drug Test Anal.* **8**, 123-127.

<sup>9</sup> Zrínyi *et al.* (2017) *Aquat. Toxicol.* **190**, 94-103.

<sup>10</sup> DiGiuseppe *et al.* (2003) *Nelson Biology 12*. Nelson Canada ELHI. Toronto, Ontario: Thomson Canada Ltd.

<sup>11</sup> Altelaar *et al.* (2005) *Anal. Chem.* **77**, 735-741.

<sup>12</sup> Jong-Brink *et al.* (1981) *Gen. Comp. Endocrinol.* **45**, 30-38.

a progesztogénkezelések hatására a *GnRH*-expresszió szintje szignifikánsan csökkent a központi idegrendszerben. Mivel a *GnRH* a csigák idegrendszerének fontos multifunkcionális modulátora, a molekuláris szinten kimutatott változás magyarázatot adhat a korábban megfigyelt progesztogének által indukált hosszú távú hatásokra.

**Köszönetnyilvánítás:** Nemzeti Agykutatási Program (No. 2017-1.2.1-NKP-2017-00002).

**Kulcsszavak:** Fodor István, Svigruha Réka, Zrínyi Zita, Büki Gergely, Urbán Péter, Pirger Zsolt, progesztogén, *drosiprenone*, *gestodene*, *levonorgestrel*, *GnRH*, *Lymnaea stagnalis*, RT-PCR

\*

## Toxicitási tesztekben alkalmazott algabiomassza-becslési módszerek összehasonlítása

**Gémes Borbála,<sup>a</sup> Klátyik Szandra,<sup>a</sup> Lázár Diána,<sup>a</sup> Lenk Sándor,<sup>b</sup> Barócsi Attila,<sup>b</sup>  
Kocsányi László,<sup>b</sup> Takács Eszter<sup>a</sup> és Székács András<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>NAIK Agrár-környezettudományi Kutatóintézet, Budapest; <sup>b</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Atomfizika Tanszék, Budapest

A növényvédő szerek maradványai bekerülhetnek felszíni vizeinkbe a kezelt területekről történő bemosódás vagy elfolyás által, így hatást gyakorolhatnak a vízi szervezetekre. A fotoautotróf algaközösségek jelentős részben hozzájárulnak a vízi ökoszisztémák primer produkciójához, ezért az élőhelyüket vagy fotoszintetikus aktivitásukat érő zavaró hatások a magasabb trofikus szintek változásait idézhetik elő. A gyomirtók azon csoportja, melyeknek hatásmechanizmusa a fotoszintézis gátlásán alapszik, fokozott veszélyt jelentenek a fotoautotróf algák számára.

Az édesvízi mikroalgák (pl. *Pseudokirchneriella subcapitata*) indikátorszervezetként szolgálnak a környezeti kockázatbecslési folyamatokban. A biomassa és a sejtsűrűség becslése a toxikológiai vizsgálatok során elengedhetetlen feltétele az algaszaporodás-gátlás meghatározásának, valamint az  $EC_{50}$  értékek kiszámításának. A különböző biomassa-becslési módszerek hatékonyságának és alkalmazhatóságának összehasonlítása érdekében biomassa-meghatározást végeztünk el egysejtű zöldalgafaj (*P. subcapitata*) tenyészetéből származó hígítatlan algaszuszpenzió, illetve az abból készített hígítási soron. Kísérleteink során a következő módszerek alkalmazhatóságát és hatékonyságát hasonlítottuk össze: sejtszámlálás Bürker-kamra alkalmazásával, optikai sűrűség mérése, klorofill-a-tartalom meghatározása, illetve klorofill-a-fluoreszcencián alapuló biomasszabecslés. Az optikai sűrűség meghatározása spektrofotométerrel történt 750 nm hullámhosszon. A minták klorofill-a-tartalmának meghatározását az ISO 10260:1992 szabvány alapján végeztük el. A klorofill-a lézerindukált fluoreszcens jelét (az algasejtek által sötétadaptációt követően kibocsátott fluoreszcencia maximális szintje) két hordozható műszerrel (*FluoroMeter Modul – FMM* és *Chlorophyll Fluorometer – CFM*) detektáltuk 690 és 735 nm hullámhosszon.<sup>13</sup> A kiválasztott módszereket összehasonlítottuk a *glyphosate* IPA-sója, egy *glyphosate*-tartalmú készítmény (Roundup Classic) és annak egy összetevője (polietoxilált

<sup>13</sup> Barócsi et al. (2000) *Meas. Sci. Technol.* **11**, 717-729.

faggyúamin, *POEA*) algaszaporodásra gyakorolt hatásainak értékelése során is, egy az OECD 201 irányelvek alapján, szintén *P. subcapitata* fajon elvégzett vizsgálatot követően.

A különböző toxicitási tesztekben alkalmazott algabiomassza és növekedésgátlás becslésére szolgáló módszerek determinációs együtthatóit statisztikai úton számítottuk ki az ökotoxikológiai tesztek értékelésére fejlesztett ToxRat szoftver segítségével. A Bürker-kamrás számlálás és az optikai sűrűség mérési eredményei közötti korreláció értéke  $0,999\pm 0,001$  volt három független ismétlésben, míg a klorofill-a-tartalom és a klorofill-a-fluoreszcencia közötti korreláció  $0,997\pm 0,003$  illetve  $0,997\pm 0,002$ , habár a fluoreszcens jel intenzitása a CFM esetén körülbelül százszoros volt az FMM-hez viszonyítva. A szaporodásgátlási tesztekben a hatóanyag alacsony koncentrációinál a biomassa és a klorofill-a-tartalom is nőtt (hormézisz), mely sem a készítmény, sem a formázóanyag esetében nem volt megfigyelhető. Ennek értelmében feltételezésünk szerint a *glyphosate* alacsony koncentrációban tápanyagforrásként szolgálhat az algafajok számára. A vizsgált anyagok között a formázóanyagként alkalmazott *POEA* bizonyult a legtoxikusabbnak.

*Köszönetnyilvánítás:* Munkánkat az OTKA K112978 és NVKP\_16-1-2016-0049 pályázatok támogatták.

*Kulcsszavak:* Gémes Borbála, Klátyik Szandra, Lázár Diána, Lenk Sándor, Barócsi Attila, Kocsányi László, Takács Eszter, Székács András, *Pseudokirchneriella subcapitata*, algaszaporodás-gátlás, klorofill-a

\*

## Húszhetes *glyphosate*-expozíció hatása a zebra-dánió ivardeterminációjára

Gyurcsó Gergő,<sup>a</sup> Baska Ferenc,<sup>b</sup> Mörzl Mária,<sup>a</sup> Simon László,<sup>a</sup> Pasaréti Gyula,<sup>a</sup> Cséffán Tamás,<sup>a</sup> Székács András<sup>a</sup> és Darvas Béla<sup>c</sup>

<sup>a</sup>NAIK Agrár-környezettudományi Kutatóintézet, Budapest; <sup>b</sup>Állatorvos-tudományi Egyetem, Exotikus- és Vadállat-egészségügyi Tanszék, Budapest; <sup>c</sup>Magyar Ökotoxikológiai Társaság

Némely halfajról ismert, hogy külső hormonális terhelés (ösztrógenek, androgének és agonistáik/antagonistáik) befolyásolja a hallárvák ivarát. Eszerint élővizeink szennyezettsége hormonmodulánsokkal (*EDC*) katasztrofális hatású lehet az ivararány alakulására. A hallárvákban egységesen hermafrodita (petefészekre emlékeztető) ivari képletet találunk, és zebra-dániónál (*Danio rerio*) a 43-71 nap közötti *fejlődési kapunál* a külső és belső hormonális viszonyok döntik el, hogy hímivar felé fejlődnek-e tovább a példányok. Külső *EDC*-kezelésre a petefészekszigeteket (*ovotestis*) tartalmazó here sem ritkaság halaknál. Az akvarisztikában – a műanyagalkatrészek gyarapodásával – ivari magatartásformákat nem mutató *hímek* és *nőstények* előfordulása gyakori. Munkahipotézisünk Maack és Segner cikkén alapult,<sup>14</sup> akik 3-10 ng/l etinil-ösztradiol alkalmazásakor a 71. napon csak nőstény zebra-dániókat találtak, ami revezibilis volt, a kezelés elhagyásával a 190. napon ismét mindkét ivart észlelték ismét.

Vizsgálatainkat 2016-2017-ben végeztük, amikor a víz- és

<sup>14</sup> Maack & Segner (2004) *Comp. Biochem. Physiol. C* **139**, 47-55.

levegőrendszerben műanyagot nem tartalmazó, speciális akváriumsorozatot készítettünk. Az egyes akváriumok azonos hőfokon és megvilágítás mellett, hasonlóan táplálva végeztük el a szubletális kezeléseket gyomirtószer-hatóanyaggal (*glyphosate*), annak formázott készítményével (Roundup Classic) és formázó szerével (polietoxilált faggyúamin, *POEA*). Az induló koncentrációt előkísérlet alapján döntöttünk el. A hetente egyharmaddal, az eredeti kezeléssel frissített vízben a *glyphosate*-tartalmat *HPLC-UV* módszerrel monitoroztuk. 2016-ban az akváriumokban (3 sorozat) 50-85 ng/l *glyphosate*-ot és növekvő koncentrációjú bomlástermékét (*AMPA*) jegyeztük fel. A 140. napon az állatokat elaltattuk, mértük egyedi tömegeiket, és az ivarukat boncolással állapítottuk meg. A 2016-os kísérletsorozatban, amelyet összesen 60-60 kéthetes állattal kezdtünk, a kezeléseket *glyphosate* (*GL*, 100 µg/l), *POEA* (*PO*, 37 µg/l) és etinil-ösztadiol (*EE*, 5 ng/l) vegyületekkel történtek. Mortalitás nem fordult elő, és a kísérletzáraskori tömegek sem tértek el egymástól szignifikánsan. A hímek átlagos aránya ~50% volt a *GL*- és a kezeletlen kontrollban, míg ~40% a *PO*- és *EE*-kezelésekben.

A 2017-ben emelt koncentrációkkal dolgoztunk, amelyben 80-80 kéthetes állattal kezdtük a kezeléseket *glyphosate* (*GL*, 500 és 2500 µg/l – előfordulhatnak a kiemelkedően szennyezett élővizekben<sup>15</sup>), *POEA* (*PO*, 187 és 935 µg/l – készítmény-ekvivalens koncentráció), Roundup Classic (*RC*, 500 és 2500 µg/l), etinil-ösztadiol (*EE*, 30 ng/l) és 17 $\alpha$ -metil-tesztoszteron (*MT*, 100 ng/l) anyagokkal. Az *EE*-kezelésben ~70%-os mortalitás fordult elő, de ebben a toxikus dózisban sem akadályozta meg a ~50% hímarányt. Inkább a fejlődésben való visszamaradás volt jellemző. Az *EE*- és *MT*-kezelésekben a hímek és nőstények tömege is szignifikánsan csökkent. Az *MT*-kezelés 83%-ra emelte a hímarányt. Mindkét *GL*- és a magasabb *RC*-koncentrációban ~30%-ra csökkent a hímek előfordulása.

Eredményeink nem erősítik meg azt, hogy etinil-ösztadiollal a nőstények száma emelhető (a *glyphosate* magasabb koncentrációi erre utalók), de a hímek (lásd [AquAdvantage](#) GM-lazac) száma tesztoszteronagonistákkal növelhető. További méréseink folyamatban vannak.

**Köszönetnyilvánítás:** A vizsgálatokat részben az OTKA K 109865 támogatta.

**Kulcsszavak:** Gyurcsó Gergő, Baska Ferenc, Mörzl Mária, Simon László, Pasaréti Gyula, Cséffán Tamás, Székács András, Darvas Béla, *Danio rerio*, *glyphosate*, *POEA*, Roundup Classic, etinil-ösztadiol, metil-tesztoszteron, ivararány, hormonmoduláns



Mathieu Asselin [diasorozata](#), 2017<sup>©</sup>

<sup>15</sup> Székács & Darvas (2018) *Front. Environ. Sci.* 6, 78. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00078>

## Környezeti tényezők hatásának becslési lehetőségei morfometriai jellegek alapján

**Illár Máté,<sup>a</sup> Simon Edina,<sup>b</sup> Miskolczi Margit<sup>a</sup> és Dévai György<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Hidrobiológiai Tanszék, Debrecen; <sup>b</sup>Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Ökológiai Tanszék, Debrecen

A különböző környezeti tényezők közül a sótartalom jelentős hatással van a vízi szervezetek eloszlására, az ozmoregulációra kifejtett hatása révén. A legtöbb szitakötőfaj lárvája hiperozmotikus szabályozásra képes, így alkalmas indikátor a nagy sótartalom hatásának becslésére.<sup>16</sup> A fluktuáló aszimmetria, amellet, hogy használható a fejlődési stabilitás becslésére, a környezeti stressz indikátorának is tekinthető.<sup>17</sup> Ezek alapján vizsgálataink célja a nagy sótartalom hatásának tanulmányozása volt a szitakötőgyedek morfológiai jellegeinél.

A szitakötőgyedeket két mintavételi helyről gyűjtöttük, a nagy sótartalommal jellemezhető tiszavasvári Fehér-szikről (vezetőképesség: 5600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) és a kontrollként használt hajdúsámsoni Sámsoni-legelői-mocsárból (vezetőképesség: 569  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Mindkét mintavételi helyen a foltösszárnyjegyű rabló (*Lestes barbarus*) egyedeket fogtuk be. A testalkatbélyegek közül mértük a test és a potroh teljes hosszát és a fej szélességét. Az aszimmetriavizsgálatokhoz a szárnyak négy metrikus (mérhető) és négy merisztikus (számolható) bélyegét választottuk ki.<sup>18</sup>

A testméretadatokra elvégzett statisztikai elemzések eredményei szerint a tiszavasvári nőstény egyedek testhossza és potrohossza szignifikánsan nagyobb volt, mint a hajdúsámsoniaké. A diszkriminancia- és a főkomponens-analízis is a két populáció jó szétválását mutatja, az elkülönülés a Hotelling-teszt eredménye szerint szignifikáns. A főkomponens-analízis szerinti szórásfelhők csak kis mértékben fednek át, s a hajdúsámsoni minta szórásfelhője nagyobb, ami az itteni nőstények nagyobb egyedi variációjára utal. Ugyanakkor a hímek esetében a főkomponens-analízis szerint a két populáció egyedeinek szétválása kisebb, mint amit a nőstényeknél tapasztaltunk, s a hímek esetében a tiszavasvári egyedek szórásfelhője a nagyobb. A hímeknél a tiszavasvári egyedek testének teljes hossza, a potroh teljes hossza és a fejszélesség szignifikánsan nagyobb volt, mint a hajdúsámsoniaké. A diszkriminanciaanalízis eredménye itt is a két populáció jó szétválását mutatja, s a Hotelling-teszt szerint az elkülönülés a hímeknél is szignifikáns. A főkomponens-analízis azt mutatja, hogy a hímeknél a két populáció egyedeinek szétválása kisebb mértékű, mint a nőstényeknél.

A szárnybélyegek elemzése során szignifikáns különbséget tapasztaltunk a jobb és bal oldali mérhető jellegekben a Fehér-szikről gyűjtött hím egyedek hátulso szárnya, illetve a Sámsoni-legelői-mocsárnál gyűjtött hím egyedek elülső szárnya esetében. A merisztikus szárnysejtek számát tekintve a jobb és a bal oldal között szignifikáns különbséget tapasztaltunk a szikes élőhelyről gyűjtött nőstény egyedek

<sup>16</sup> Corbet (1999) *Dragonflies: Behaviour and Ecology of Odonata*. Harley Books.

<sup>17</sup> Palmer & Strobeck (1992) *Acta zool. fenn.* **191**, 57-72.

<sup>18</sup> Vajda et al. (2011) *Studia odonatol. hung.* **13**, 5-25.

elülső szárnyánál, illetve a mocsárból származó nőstény egyedek elülső szárnya és a hím egyedek hátulsó szárnya esetében.

Eredményeink szerint mind a testméretekben, mind a szárnybélvegekben számos esetben van szignifikáns különbség a két populáció között, amelyek azonban nem mutatnak egy irányba. Így annak a kérdésnek az eldöntéséhez sem nyújtanak elegendő támpontot, hogy a két víztér sótartalma közötti jelentős különbség milyen hatással van a foltösszárnyjegyű rabló két populációjára a vizsgált bélvegek vonatkozásában.

**Kulcsszavak:** Illár Máté, Simon Edina, Miskolczi Margit, Dévai György, vezetőképesség, sótartalom, testméretek, szárnybélvegek, aszimmetria, szitakötő, *Lestes barbatulus*

\*

## Szubletális, embrionális aflatoxin B1-expozíció hatása a zebradánió lárvális táplálékfelvételére és juvenilis túlélésére

Ivánovics Bence,<sup>a</sup> Gazsi Gyöngyi,<sup>a</sup> Ács András,<sup>a</sup> Csenki-Bakos Zsolt,<sup>a</sup> Reining Márta,<sup>a</sup> Urbányi Béla<sup>a</sup> és Czimmerer Zsolt<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Szent István Egyetem, MKK, Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet, Halgazdálkodási Tanszék; <sup>b</sup>Debreceni Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Biokémiai és Molekuláris Biológiai Intézet

Az *Aspergillus*-penészgombafajok által termelt aflatoxin B1 (AFB1) az egyik legjelentősebb akut és krónikus toxicitással bíró mikotoxin. A klímaváltozás okozta környezeti változások kedvező körülményeket biztosíthatnak többek között az *Aspergillus*-fajok szaporodásához és/vagy toxintermeléséhez, amely fokozott humán- és állategészségügyi kockázatot vonhat maga után.<sup>19</sup> A szennyeződött élelmiszerek vagy takarmányok fogyasztása a terhes anyák, illetve a vemhes állatok esetén kiemelt veszélyt hordoz, mivel az AFB1 átjut a magzatburok védelmi rendszerén. Munkánk során a szubletális AFB1-koncentrációkkal történő embrionális expozíció teljes testhosszra, juvenilis túlélésre, lárvális táplálékfelvételre és az ahhoz kapcsolódó lárvális viselkedésre gyakorolt hatásait vizsgáltuk zebradánión.

Az általunk alkalmazott alacsony, szubletális AFB1-koncentrációkat előzetes 120 órára kiterjesztett *Fish Acute Embryo Toxicity* teszt során meghatározott LC-értékek alapján jelöltük ki. Az alkalmazott koncentrációsor felső határát az LC<sub>10</sub>-érték képezte. Ennek alapján 0,025, 0,05, 0,075 és 0,1 mg/l koncentrációkkal végeztük el a kezeléseket. Az AFB1-expozíció az embrionális fejlődés időszakára (120 óra) korlátozódott. A kezelést követően 5-, illetve 12-napos korban meghatároztuk a lávák teljes testhosszát, illetve két héten keresztül naponta monitoroztuk a túlélésüket. A túlélési görbéket Kaplan–Meier-féle analízis által határoztuk meg. A táplálékfelvétel mértékének becsléséhez fluoreszcensen jelölt mikrogöngyöt alkalmaztunk, és fluoreszcenciamikroszkóp alatt fényképeztük a lárvákat. Ezt követően ImageJ szoftver segítségével határoztuk meg a fluoreszcens jel intenzitását. A viselkedésvizsgálatot *ZebraLab* (ViewPoint) rendszerben

<sup>19</sup> Battilani et al. (2016) *Scientific Reports* 6, srep24328.

hajtottuk végre, ahol videófelvétel készült a lárvák mozgásáról haltáp hiányában, illetve annak jelenlétében, amelynek során a szoftver számszerűsítette a lárvák által adott idő alatt megtett távolságokat.

Az embrionális AFB1-expozíció enyhe mértékű csökkenést eredményezett az 5-napos lárvák testhosszában, amely 12-napos korban már minden kezelési csoport esetén szignifikáns különbséget mutatott a kontrollcsoportokhoz képest. A juvenilis fejlődés során drasztikus mortalitást tapasztaltunk, ahol a legalacsonyabb koncentrációhoz (0,025 mg/l) tartozó csoport is szignifikánsan eltért a kontrollcsoportoktól. A lárvák bélcsatornájában mindegyik kezelési csoportot tekintve szignifikánsan alacsonyabb volt a fluoreszcens jel intenzitása a kontrollcsoportokhoz viszonyítva. Mindemelett a magasabb koncentrációknál a száj-garat-üreg területén drasztikus mikrogyöngy-felhalmozódást figyeltünk meg. A lárvák mozgási aktivitása nem mutatott jelentős különbséget az egyes kezelési és kontrollcsoportok között, azonban haltáp jelenlétében minden csoportban számottevő mértékben megnövekedett a lárvák által bejárt út hossza. Eredményeink szemléltetik az embrionális korban történő szubletális AFB1-expozíció szignifikáns biológiai következményeit, amely többek között csökkent lárvális táplálékfelvételben, jelentős mértékű juvenilis mortalitásban és fejlődésbeli lemaradásban nyilvánult meg. A táplálékfelvétel és az ahhoz kapcsolódó viselkedés vizsgálatának eredményei arra utalhatnak, hogy a csökkent táplálékfelvétel mögött első sorban az emésztőcsatorna egyes szakaszaiban (pl. garat) bekövetkező elváltozások állhatnak, mintsem a lárvák mozgási aktivitásának csökkenése.

**Kulcsszavak:** Ács András, Csenki-Bakos Zsolt, Czimmerer Zsolt, Gazsi Gyöngyi, Ivánovics Bence, Reining Márta, Urbányi Béla, *Danio rerio*, aflatoxin

\*

## **A lineáris alkil-benzol-szulfonátok toxicitása és lebomlása felszíni vizekben önmagukban és neonikotinoidok jelenlétében**

**Klátyik Szandra, Mörzl Mária, Takács Eszter és Székács András**

NAIK Agrár-környezettudományi Kutatóintézet, Budapest

A lineáris alkil-benzol-szulfonátok (LAS) a világon legnagyobb mennyiségben előállított anionos detergenscsoport, amelyeket növényvédőszer-készítményekben nagy mennyiségben használnak fel adjuvánsként. A neonikotinoid-készítmények összetevői fizikai és kémiai tulajdonságaik és a nem megfelelő növényvédelmi technológiák következtében bekerülhetnek a felszíni vizekbe, ahol káros hatást fejthetnek ki a vízi szervezetekre.<sup>20-21</sup> A növényvédőszer-készítmények adalékanyagait (pl. detergens<sup>22</sup>) sokáig inaktívnak minősítették, azonban a vizsgálatok számos esetben igazolták az aktív hatóanyag(ok) és adalékanyagok együttes antagonista, szinergens vagy additív hatását, illetve a formázó anyag önálló

<sup>20</sup> Vehovszky et al. (2015) *Aquat. Toxicol.* **167**, 172-179.

<sup>21</sup> Takács et al. (2017) *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **97**, 885-900.

<sup>22</sup> Klátyik et al. (2017) *Front. Vet. Sci.* **4**, 146.

toxicitását.<sup>23</sup> A felületaktív anyagok az aktív hatóanyagok környezeti sorsát is befolyásolhatják.<sup>24</sup>

A LAS egyedi, illetve a neonikotinoid típusú *acetamiprid* (ACE) hatóanyaggal kombinált akut toxicitását *Daphnia magna* tesztszervezeten az [OECD 202](#) irányelvek alapján határoztuk meg. A LAS és ACE együttes hatását egy ACE hatóanyag-tartalmú és formázó anyagként LAS-t tartalmazó készítmény, a Mospilan 20 SG, illetve a készítmény összetételének megfelelően elkészített tiszta hatóanyag és LAS-keverék formájában vizsgáltuk. A kombinált hatások értékelése során a meghatározott  $EC_{50}$ -értékeket a hatóanyag- illetve LAS-tartalomra korigáltuk. A LAS lebomlását tiszta detergenskeverék, illetve szintén a formulált készítmény formájában 9 napon keresztül vizsgáltuk desztillált vízben, illetve dunai felszíni vízben. Kísérleteink során a LAS lebomlási kinetikáját különböző neonikotinoid hatóanyagok jelenlétében is vizsgáltuk 14 napon keresztül. A vizsgált vízminták LAS-tartalmát HPLC-UV technikával, illetve ELISA módszerrel határoztuk meg.

A LAS egyedi toxicitása ( $EC_{50}=13\pm 3$  mg/l) szignifikáns mértékben meghaladta a vizsgált hatóanyag toxicitását, mely utóbbi 200 mg/l koncentrációnál sem gyakorolt megfigyelhető káros hatást a vizsgált egyedekre. Az együttes toxicitás vizsgálata során a LAS és ACE vegyületek keverékének, illetve a formázott készítmény is nagyobb toxicitást mutatott a tiszta hatóanyagnál. A legerősebb szinergens hatást a LAS és ACE Mospilan 20 SG összetételében feltüntetett koncentrációkkal ekvivalens mennyiségben történő együttes vizsgálata során tapasztaltuk. A hatóanyag- és formázóanyag-tartalomra korigált  $EC_{50}$ -értékek a LAS és az ACE esetében  $0,3\pm 0,2$  és  $2\pm 1$  mg/l. Jelentős különbség volt megfigyelhető a LAS két vizsgált víztípusban tapasztalt lebomlása között. A tiszta detergens keverék formájában a LAS lebomlási üteme jóval meghaladta a Mospilan 20 SG formájában tapasztalt lebomlás mértékét. A felszíni vízmintákban jelentősen befolyásolta a  $DT_{50}$ -értékek alakulását a különböző neonikotinoid hatóanyagok jelenléte. A legjelentősebb mértékben a *thiacloprid* gyakorolt hatást a LAS felezési idejére, míg a *clothianidin* és a *thiamethoxam* nem befolyásolta a LAS felszíni vizekben történő disszipációját.

**Köszönetnyilvánítás:** Munkánkat az OTKA K112978 és OTKA K109865 pályázatok támogatták.

**Kulcsszavak:** Klátyik Szandra, Mörtil Mária, Takács Eszter, Székács András, *Daphnia magna*, LAS, neonikotinoid, lineáris alkil-benzol-szulfonát, *acetamiprid*, szinergizmus



Műjéghegy (Grafika: [Plastic Waste Management](#)<sup>©</sup>)

<sup>23</sup> Székács et al. (2014) *J. Biol. Vet. Agric. Food Engineer.* **8**, 213-218.

<sup>24</sup> Klátyik et al. (2017) *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **97**, 901-921.

## Halsperma vizsgálatára alapozott toxikológiai tesztrendszer kidolgozása

**Kollár Tímea,<sup>a</sup> Kása Eszter,<sup>a</sup> Csorbai Balázs,<sup>a</sup> Urbányi Béla,<sup>a</sup>  
Csenki-Bakos Zsolt<sup>a</sup> és Horváth Ákos<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Szent István Egyetem, MKK Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet, Halgazdálkodási Tanszék

A halak a legfontosabb toxikológiai modellszervezetek közé tartoznak, mivel vízi életmódjukból adódóan a környezeti hatásoknak a leginkább kitett élőlények. A vízi toxikológiában az *in vitro* tesztrendszerek széleskörben elterjedtek az *in vivo* tesztrendszerekkel szembeni gyakorlati és etikai előnyeik miatt. A halsperma mérhető paraméterei miatt (mozgó sejtek aránya, mozgás sebessége, a mozgás útvonalának egyenessége stb.) alkalmas modell szervezet lehet az efféle vizsgálatokhoz, ráadásul gyorsan, frissen kinyerhető, így nem szükséges speciális sejtvonalak és szövettényészetek költséges fenntartása.

Az eddigi tanulmányok, melyekben halspermát alkalmaztak toxikológiai modellként, nem egységesek, sem a felhasznált spermát szolgáltató halfaj, sem a kezelést követően mért végpontok tekintetében. A zebra-dánio és a ponty az *OECD* (Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet) által kidolgozott, nemzetközileg használt toxikológiai vizsgálati protokollokban széleskörűen használt halfajok, ennek ellenére a halsperma használatát toxikológiai vizsgálatokhoz egyetlen szabvány sem említi. A sperma mérhető paraméterei miatt pedig igen jó toxikológiai modell lehet, ami ráadásul szükségtelenné teszi az élő teszttállatok használatát.

Munkánk során célul tűztük ki gyors, könnyen kivitelezhető és megismételhető *in vitro* toxikológiai tesztrendszer kidolgozását halspermára. Kísérleteink végpontjai a spermiumok progresszív motilitása (*PMOT*, %), sebessége (*VCL*,  $\mu\text{m/s}$ ), valamint a mozgás egyenessége (*LIN*, %) voltak. A módszer kidolgozásához ismert hatású nehézfém-sókat [króm(III)-nitrát-nonahidrát, cink-nitrát-hexahidrát, nikkel-nitrát-hexahidrát, kadmium-nitrát-tetrahidrát, réz-nitrát-trihidrát, arzén-trioxid, higany(II)-nitrát-monohidrát] használtunk fel.

A zebra-dánio- és pontyegyedektől fejés útján nyertünk spermát, melyet pontyféléknél használt immobilizáló oldatban (200 mM KCl, 30 mM Tris, pH 8) tároltunk a motilitási képesség megőrzése érdekében. A spermán minden nehézfém-só esetében négy koncentrációt, valamint egy kezeltlen kontrollcsoportot teszteltünk. Az expozíciós idő 4 óra volt; a motilitási paramétereket (*PMOT*, *VCL* és *LIN*) 30 percenként, számítógépes spermavizsgáló rendszerrel (*CASA*) mértük.

Zebra-dánio- és pontysperma esetében is azt találtuk, hogy a három vizsgált változó közül a *PMOT* volt a legérzékenyebb mind a hét nehézfém-só vizsgálata során: dózis-hatás-reakció volt megfigyelhető az expozíciós idő függvényében. A *VCL* esetében ez a hatás nem volt ennyire kifejezett: ugyan megfigyelhető volt minden nehézfém-só vizsgálata során a dózis-hatás-összefüggés, ám ennek kiváltásához magasabb koncentrációk voltak szükségesek. A *LIN* pedig a legkevésbé adekvát paraméternek bizonyult: dózis-hatás-választ csak a higany-só esetében tapasztaltunk mindkét halfajban, illetve az arzén-só esetében a pontysperma vizsgálata során, viszont a többi nehézfém-só esetében legfeljebb csak a legmagasabb

koncentráció okozott csökkenést. A nikkelsó esetében változás nem volt megfigyelhető a *LIN* értékében, a kadmiumsó esetében csak a pontysperma vizsgálata során volt mérhető hatás.

A zebra-dánió és a ponty megfelelő donornak bizonyultak a spermatoxikológiai vizsgálatok során. A sperma progresszív motilitása gyors és kellőképpen érzékeny bioindikátora a vízi szennyezéseknek, mely alkalmas lehet előtesztelésre, adott anyag lehetséges toxikus hatásának feltérképezésére. A halsperma toxikológiai célú felhasználása tehát állatvédelmi, valamint környezetvédelmi szempontból is megfontolandó.

**Kulcsszavak:** Kollár Timea, Kása Eszter, Csorbai Balázs, Urbányi Béla, Csenki-Bakos Zsolt, Horváth Ákos, *Danio rerio*, *Cyprinus carpio*, sperma, CASA, nehézfém

\*

## Szterigmatocisztintermelő penészek izolálása, az általuk termelt mikotoxin biológiai hatásának és biodegradációs lehetőségeinek elemzése

**Kukolya József,<sup>a</sup> Vidács Ildikó,<sup>a</sup> Inotai Katalin,<sup>a</sup> Kosztik Judit,<sup>a</sup> Sárkány Dorottya,<sup>a</sup> Szekeres András,<sup>b</sup> Kocsubé Sándor,<sup>b</sup> Tóth Beáta,<sup>c</sup> Balogh Krisztián,<sup>d</sup> Risa Anita<sup>c</sup> és Dobolyi Csaba<sup>a,c</sup>**

<sup>a</sup>NAIK Agrár-környezettudományi Kutatóintézet, Budapest; <sup>b</sup>Szegedi Tudományegyetem TTK Mikrobiológiai Tanszék, Szeged; <sup>c</sup>NAIK Növénytermesztési Önálló Kutatási Osztály, Szeged; <sup>d</sup>Szent István Egyetem, MKK Takarmányozástani Tanszék, Gödöllő; <sup>e</sup>Szent István Egyetem, MKK Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet, Gödöllő

A szterigmatocisztin (STC) az *Aspergillus* nemzetségbe tartozó penészek által szintetizált poliketid-mikotoxin, ami az aflatoxin B1 (AFB1) szintézisútjának közti terméke. Legjelentősebb termelője az *Aspergillus versicolor*. A genotoxicitása miatt veszélyes szterigmatocisztinról érdekes módon igen kevés publikáció érhető el napjainkig. A rendelkezésre álló adatok alapján elmondható, hogy a toxin alacsony szinten jelen van európai gabonamintákban. A vizsgálatba vont európai gabonátételek között eddig nem volt magyar eredetű minta.<sup>25</sup>

Az STC-termelő penészek után kutatva az elmúlt három évben több mint hatvan, az *Aspergillus* nemzetségbe tartozó penészigazlatot gyűjtöttünk hazai gabonatermő területekről és malmokból. Az izolátumok ITS és kalmodulin szekvenanciaanalízisen alapuló molekuláris taxonómiai identifikálása során eddig öt *A. versicolor*-törzset azonosítottunk. A szterigmatocisztintermelést vékonyréteg-kromatográfiás és *HPLC*-analitikai módszerekkel igazoltuk. Méréseink szerint a legnagyobb mértékű STC-termelésre az *A. versicolor* 2663 törzs volt képes. Rizsszubsztráton, 27 °C-on történő inkubálás mellett a végső toxinszint meghaladta a 80 mg/kg értéket.

Az SOS-Chromoteszt az AFB1 és a szterigmatocisztin genotoxicitása között nem mutatott ki szignifikáns különbséget, ami lényegesen különbözik az Ames-teszten alapuló publikációkban közölt, az AFB1-hez képest tizednyi mutagenicitási

<sup>25</sup> Mol et al. (2015) EFSA supporting publication 2015: EN-774, 56 pp.

értéktől.<sup>26</sup> Az STC toxicitását kéthetes brojlercsirke-etetési tesztben vizsgáltuk. A vizsgált paraméterek, a testtömeg és a takarmányhasznosítás mellett, a lipidperoxidációs markerek változásának követése, a redukált glutation szintjének a glutation-peroxidáz aktivitásának a meghatározása voltak. A kísérlet végén a kontrollhoz képest az STC-vel kezelt állatoknál szignifikánsan kisebb máj- és testtömegértékeket kaptunk, és míg a lipidperoxidációs markerek szintje megemelkedett, a glutation-peroxidáz aktivitásában nem volt szignifikáns különbség.

A szterigmatocisztin biodegradációjának vizsgálatokor meglepő eredmény volt a *Rhodococcus* nemzetség rendkívül jó aflatoxinbontó törzseinek teljes inaktivitása az STC-szubsztráton. A vizsgált több mint száz baktériumtörzs közül négy mutatott 80%-feletti bontást: a *Micrococcoides histrixii* TSL3, *Fontibacillus aquaticus* M176, *Micrococcus terreus* KJ13 és *Cellvibrio sp.* Ka43 valamennyien a Gram-pozitív baktériumok közé tartoznak.

*Köszönetnyilvánítás:* A munkát az OTKA K116631 támogatta.

*Kulcsszavak:* Kukolya József, Vidács Ildikó, Inotai Katalin, Kosztik Judit, Sárkány Dorottya, Szekeres András, Kocsubé Sándor, Tóth Beáta, Balogh Krisztián, Risa Anita, Dobolyi Csaba, szterigmatocisztin, aflatoxin, *Aspergillus versicolor*, SOS-Chromoteszt, glutation, glutation-peroxidáz, biodegradáció

\*

## Cianobaktériumok által termelt toxinok indukálta apoptózis és a sziklevelek természetes szenescenciája fehér mustáron

*M-Hamvas Márta,<sup>a</sup> Máthé Csaba,<sup>a</sup> Jenei Nándor,<sup>a</sup> Ajtay Kitti,<sup>a</sup> Jámbrik Katalin,<sup>a,b</sup> Karászi Alíz<sup>b</sup> és Vasas Gábor<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>Debreceni Egyetem TTK BÖI Növénytan Tanszék; <sup>b</sup>Bessenyei György Gimnázium és Kollégium Kisvárda

A toxikus vegyületeket termelő cianobaktériumok tömeges elszaporodása az úgynevezett *vízvirágzás* a klímaváltozás következtében ma már globális jelenség, amely komoly környezetvédelmi és egészségügyi kockázatot jelent. A cianobaktériumok által termelt toxikus vegyületek két fontos csoportja a mikrocisztinek és a cilindrospermopszinok. A mikrocisztin-LR (*MCY-LR*) az eukariótákban a szerin- és treonin-protein-foszfátázok specifikus inhibitora, a cilindrospermopszin (*CYN*) pedig fehérje- és nukleotidszintézis-gátló. A fehér mustár (*Sinapis alba*) ökotoxikológiai tesztekben, mint *csírázási-teszt* általánosan alkalmazott. Gyökérzetükkel és levelükkel is képesek felvenni ezeket a cianotoxinokat.

4- és 8-napos kezeléseket alkalmazva régóta vizsgáljuk a *MCY-LR/CYN*-kezelt mustárcsíránövények növekedését, morfogenezisét. Eredményeink bizonyítják, hogy a kezelés időtartamától és az alkalmazott toxin koncentrációjától függő módon mindkét cianotoxin befolyásolja a csírázást. Szöveti, citológiai és biokémiai hatásait elemezve olyan változásokat detektáltunk, mint például a sejtmag integritásának megszűnése, az oxidatív stressz kivédésében fontos peroxidázok (*POD*) aktivitásának szignifikáns emelkedése, a sejthalál folyamatokban

<sup>26</sup> McCann *et al.* (1975) *PNAS* **72**, 5135-5139.

kulcsfontosságú proteáz és nukleáz enzimek mintázatában és aktivitásaikban mért eltérések, amelyek arra utaltak, hogy sejthalál folyamatokat indukálnak a teszt növényekben.<sup>27-28</sup>

A csíranövények szikleveleinek morfogenezise magában foglalja a növekedést és zöldülést, a lomblevélpárok megjelenéséig a fotoszintetizálást, majd a pusztulást. A folyamat végig követésével, a különböző fejlettségi állapotokat reprezentáló minták pigmenttartalom-(klorofillok, karotinoidok, antocianinok) és enzimológiai (*POD*, nukleázok, proteázok) vizsgálatával a sziklevelek szenescenciáját, mint természetes sejthalál folyamatot jellemeztük. Az eredményeket összevetettük a cianotoxinok okozta sejthalál folyamatokkal. Eredményeink alapján a cianotoxinok a hajtásban a természetes szenescenciához hasonló változásokat indukálnak. A feltárt hasonlóságok megerősítésére olyan kísérletet is összeállítottunk, melyben a növények egyik csoportjának szikleveleit csak vízzel, másik csoportját 5 µg ml<sup>-1</sup> *MCY-LR*-tartalmú vizes oldattal ecseteltük, az öntözés okozta cianotoxin-terheléseket modellezve. Ezek eredményei is azt mutatták, hogy az oxidatív stresszt is kiváltó *MCY-LR* felgyorsítja a sziklevelek öregedését; rövidebb ideig működtek, pigment- és enzim mintázatuk pedig a szenescens kontroll-levelekével volt azonos.

A szélsőségesen meleg nyári hónapokban felszíni vizeinkben a cianobaktérium-tömegtermelés gyakoribbá válhat, miközben az ezekből történő öntözés szükségessége is megnő. Speciális anyagcseretermékeik lehetséges növényélettani hatásainak vizsgálata ezért fontos eredményekkel szolgálhat a környezetvédelem és a növénytermesztés számára.

**Köszönetnyilvánítás:** A munkát az NKFIH K120638 és K119647, UT-2016-0009, EFOP-3.6.1-16-2016-00022 pályázatok támogatták.

**Kulcsszavak:** M-Hamvas Márta, Máthé Csaba, Jenei Nándor, Ajtay Kitti, Jámbrik Katalin, Karászi Alíz, Vasas Gábor, *Sinapis alba*, mikrocisztin-LR, cilindropermozsin, peroxidáz, nukleáz, proteáz

\*

## Gyógyszerhatóanyag-koncentrációk felmérése a Balatonban és annak vízgyűjtő területén a szezonális hatások figyelembevételével

**Molnár Éva,<sup>a</sup> Fodor István,<sup>a</sup> Takács Péter,<sup>b</sup> Zrínyi Zita,<sup>a</sup> Kuzma Mónika,<sup>c</sup>  
Mayer Máttyás,<sup>c</sup> Pirger Zsolt<sup>a</sup> és Maász Gábor<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, Adaptációs Neuroetológiai Kutatócsoport, Tihany;

<sup>b</sup>MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, Hidrozoológiai Osztály, Tihany; <sup>c</sup>Pécsi Tudományegyetem, Igazságügyi Orvostani Intézet, Pécs

Az elmúlt évszázadban az orvos- és gyógyszer tudomány jelentős fejlődésen ment keresztül, aminek nagy szerepe volt az átlagéletkor növekedésében, az életkörülmények javulásában és az emberi népesség szaporodási ütemének ugrásszerű fokozódásában. Azonban ezzel egyidejűleg a fogyasztott

<sup>27</sup> Máthé *et al.* (2013) *Marine Drugs* **11** (10), 3689-3717.

<sup>28</sup> M-Hamvas *et al.* (2017) *Apoptosis* **22**, 254-267.

gyógyszerhatóanyagok típusai és mennyisége is megváltozott. Habár a szennyvízkezelési technikák folyamatosan fejlődnek, számos gyógyszerhatóanyag még mindig megjelenik a tisztított szennyvízben, ezáltal a természetes felszíni vizekben is, ami komoly ökológiai kockázatot jelent a benne élő vízi élőlényekre.

A különböző aktív gyógyszerhatóanyagok párhuzamos vizsgálata környezeti mintákból (víz, üledék, biológiai szövet) meglehetősen bonyolult feladat, ugyanis a komponensek koncentrációja általában nagyon alacsony (ng/l), a vegyületek száma magas (>100), továbbá a kiindulási mátrixtól való elválasztás is nehézségeket okoz. A detektálást megelőző megfelelő előkészítő műveletek megválasztása és kivitelezése kulcsfontosságú.

Kutatásunk célja annak felmérése volt, hogy a nyári turisztikai szezon vajon mekkora hatást gyakorol a Balaton vízminőségére a gyógyszerhatóanyag-koncentrációk tekintetében. Tíz különböző mérési ponton vizsgáltuk 134 aktív komponens jelenlétét a Balatonban és annak vízgyűjtő területén (Zala folyó, Kis-Balaton) évszakos gyakorisággal. A célvegyületek biológiai hatásuk alapján többek között antiepileptikumok, kardiovaszkuláris szerek, antipszichotikumok és hormonmodulánsok voltak.

A mérésekhez felhasznált vízmintákat a vízoszlop felénél vettük, előkészítésük az analitikai vizsgálatra a következőképpen zajlott. A mintákat (0,7 µm porúsátmérőjű) üvegszálas szűrőpapír segítségével leszűrtük, majd automata szilárd fázisú extrakciós berendezés (SPE) segítségével tisztítottuk és töményítettük (1 l-ről 5 ml-re). Az extrakciót követően kapott eluátumokat nitrogéngáz alkalmazásával bepároltuk. A szárazra párolt mintákat ezután visszaoldottuk, szükség esetén derivatizáltuk, majd szuperkritikus fluidkromatográfiával csatolt tömegspektrometriás (SFC-MS/MS) technika segítségével analizáltuk. Az előkészítési műveletek során esetlegesen fellépő anyagveszteségek nyomonkövetése érdekében belső standardokat alkalmaztunk.

Eredményeink alapján kijelenthető, hogy a nyári turisztikai szezon szignifikáns hatással bír mind a detektált hatóanyagok számát, mind azok koncentrációját tekintve. A 134 vizsgált gyógyszerhatóanyag közül összesen 69-et detektáltunk a 10 mintavételi ponton a felmérési időszakban. Mérésink szerint a vízmintákban leggyakrabban (>95%) és legnagyobb átlagkoncentrációval (50-300 ng/l) előforduló komponensek a *carbamazepine* és a *lamotrigine* hatóanyagok voltak.

**Köszönetnyilvánítás:** A munkát a PD-OTKA (124161), a Balaton Fejlesztési Tanács (NFPF/248/2016-NEM\_SZERZ) és a Nemzeti Agykutató Program (2017-1.2.1-NKP-2017-00002) támogatták.

**Kulcsszavak:** Molnár Éva, Fodor István, Takács Péter, Zrínyi Zita, Kuzma Mónika, Mayer Máttyás, Pirger Zsolt, Maász Gábor, Balaton, *carbamazepine*, *lamotrigene*, vízminőség, *SPE*, *SFC-MS/MS*



## Fafajok pormegkötésének és légszennyezettségi tolerancia indexének meghatározása

Molnár Vanda Éva,<sup>a</sup> Tóthmérész Béla,<sup>b</sup> Szabó Szilárd<sup>a</sup> és Simon Edina<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Debreceni Egyetem TTK Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Debrecen; <sup>b</sup>MTA-DE Biodiverzitás Kutatócsoport, Debrecen; <sup>c</sup>Debreceni Egyetem TTK Ökológiai Tanszék, Debrecen

A városi légszennyezettég hatásainak kutatása terén hatékony alternatív lehetőséget jelent a növényzet biokémiai változásainak vizsgálata. Az egyes fajok légszennyezéssel szembeni tűrőképességét számszerűsíti a légszennyezettségi toleranciaindex (*APTI*), melyet a levél aszkorbinsavtartalmából, relatív nedvességtartalmából, kivonatának pH-jából és klorofilltartalmából számolunk. Ezen paraméterek jellemzően módosulhatnak a levegőminőség függvényében, meghatározásukkal megbízható képet kaphatunk a városi levegőminőségről.

Debrecenben *Celtis occidentalis*-, *Tilia cordata*-, *Tilia platyphyllos*- és *Tilia* × *europaea*-egyedek *APTI*-értékét, illetve azzal párhuzamosan a levélfelszínre ülepedett por mennyiségét határoztuk meg. Célunk az volt, hogy felfedjük az összefüggéseket az *APTI* és a kiülepedett por mennyisége között. Emellett összehasonlítást végeztünk az *APTI* értékeit összevetve korábbi kutatásokkal. 2017 őszén Debrecenben 12 mintavételi ponton gyűjtöttünk levélmintákat, majd laboratóriumi körülmények között meghatároztuk az *APTI*-t, illetve a kiülepedett por mennyiségét. A szakirodalmi összehasonlításhoz az alábbi országokból állt rendelkezésünkre releváns adat: Kína,<sup>29</sup> India,<sup>30</sup> Indonézia,<sup>31</sup> Irán<sup>32</sup> és Nigéria.<sup>33</sup> Az adatokat a vizsgált terület jellege alapján csoportosítottuk ipari, útmenti és városi területhasználati kategóriába, majd elvégeztük az országok és területtípusok statisztikai összehasonlítását.

A meghatározott pormennyiség az *APTI* és annak paraméterei közül csak a klorofilltartalommal mutatott szignifikáns pozitív korrelációt, ami az  $r$  érték ( $r = 0,443$ ;  $p = 0,007$ ) alapján közepes erősségűnek mondható. A klorofilltartalom emelkedése a levélfelszínre ülepedett pormennyiséggel a fotoszintetikus aktivitás fenntartásának céljából következik be. Az *APTI* nem állt közvetlen összefüggésben a porszennyezéssel, mivel valószínűsíthetően a levegő és a talaj egyéb jellegű szennyező anyagainak komplex hatása is befolyásolja értékét.

Kínában és Indiában szignifikánsan magasabb *APTI* volt jellemző a debreceni értékekhez képest. Magyarország Indonéziával és Nigériával együtt középkategóriába sorolható, míg a legalacsonyabb *APTI*-t Iránban mérték. A nagy népességű országokban a növényzet toleranciája védekező mechanizmusok eredményeként emelkedik, mivel a népesség száma arányos a potenciális antropogén szennyező források számosságával. Összehasonlítva az ipari, útmenti és városi mintaterületeket az *APTI* alapján, szignifikánsan a legmagasabb értékeket az ipari területek hozták, ezt követték rendre az útmenti és a városi területek. Ez alapján a légszennyezettségre érzékeny fajok számára ideálisabbnak bizonyul a városi

<sup>29</sup> Liu & Ding (2008) *WSEAS Transact. Environ. Devel.* **4** (1), 24-32.

<sup>30</sup> Gupta *et al.* (2016) *Arab. J. Geosci.* **9** (136), 1-15.

<sup>31</sup> Sulistijorini *et al.* (2008) *HAYATI J. Biosci.* **15** (3), 123-129.

<sup>32</sup> Gholami *et al.* (2016) *J. Anim. Plant Sci.* **26** (2), 475-480.

<sup>33</sup> Ogunkunle *et al.* (2015) *Agroforestry Syst.* **89**, 447-454.

környezet, míg a toleránsabb fajok jobban elviselik az ipari tevékenységek potenciálisan negatív környezeti hatásait. A nagy forgalmú utak menti területek átmenetet jelentenek az előbbi két típus között a növényzetre kifejtett környezeti terhelés szempontjából. Az *APTI* alapján jól becsülhető a városok levegőjének általános minősége és az antropogén környezet hatása az élővilágra.

**Köszönetnyilvánítás:** A munkát a KH 126481, KH 126477, TNN 123457 és OTKA K 116639 pályázatok támogatták.

**Kulcsszavak:** Molnár Vanda Éva, Tóthmérész Béla, Szabó Szilárd, Simon Edina, *Celtis occidentalis*, *Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos*, *Tilia × europaea*, klorofill, *APTI*, légszennyezettség

\*

## Nehézfémek hatása a nagyvirágú bársonyvirág növekedési paramétereire

*Mónok Dávid és Kardos Levente*

Szent István Egyetem KERTK Talajtan és Vizgazdálkodás Tanszék

Talajaink nehézfém-tartalmának csökkentésére különböző fitoremediációs eljárásokat alkalmazhatunk, melyek előnye, hogy költséghatékonyak és környezetkímélők. A közelmúltban számos dísnövény fitoremediációs képességét vizsgálták, melyek olyan területeken jelenthetnek megoldást, ahol a talaj tisztítása mellett fontos a növény esztétikai megjelenése is.<sup>34</sup> Korábbi kutatások alapján a nagyvirágú bársonyvirág (*Tagetes erecta*) alkalmas lehet a nehézfémek talajból való fitoextrakciójára, mivel nagy mennyiségű nehézfémet képes akkumulálni a hajtásában.<sup>35</sup> Arról azonban kevés információ található, hogy a nehézfémeknek milyen toxikus hatása van a növény növekedésére. Ennek vizsgálata azonban elengedhetetlen, hiszen a növényi biomasza csökkenése rontja a növények fitoextrakciós potenciálját.<sup>36</sup>

Tenyészedényes kísérletünkben négy különböző nehézfém (réz –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , kadmium –  $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ólom –  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , cink –  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) hatását vizsgáltuk a nagyvirágú bársonyvirág növekedési paramétereire (száraz és nedves tömeg, növénymagasság, gyökérhossz, levélszám, levélfelület). Az alkalmazott dózisosok a 6/2009. KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben foglalt ún. B talajszennyezettségi határérték 0, 1, 2 és 4-szeresei voltak. A kísérletben felhasznált talaj típusa réti talaj volt. A kísérlet eredményeinek értékeléséhez *ANOVA* és *Dunett*-tesztet alkalmaztunk.

A tesztnövény számára az Pb és a Zn bizonyult a legtoxikusabbnak a vizsgált nehézfémek közül. A kétszeres Pb-kezelés már szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) csökkentette a bársonyvirág száraz és nedves tömegét, valamint levélfelületét, míg a négyszeres kezelés hatására már minden növényi paraméter szignifikánsan csökkent a kontrollhoz képest. kétszeres Zn-kezelés hatására szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) csökkent a növény magassága, valamint a levelek száma, míg a négyszeres kezelés az

<sup>34</sup> Nakbanpote et al. (2016) *Bioremed. Bioecon.* 179-217.

<sup>35</sup> Bosiaci (2009) *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 8 (2), 15-26.

<sup>36</sup> Khan & Sajad (2013) *Chemosphere* 91 (7), 869-881.

ólomhoz hasonlóan minden mért paramétert csökkentette. A legnagyobb koncentrációban a réz szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) csökkentette a növény magasságát, azonban a többi növényi paraméterre nem volt szignifikáns hatással. A Cd-kezelések hatására pedig csak a gyökér hossza csökkent szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) a kontrollhoz képest.

Eredményeink alapján a nagyvirágú bársonyvirág alkalmas lehet a Cd és a Cu talajból való fitoextrakciójára, mivel ez a két nehézfém nem okozott jelentős káros hatást a növény föld feletti részeiben. A növény széleskörű alkalmazását a gyakorlatban elősegíti, hogy megfelelő tápanyagellátás esetén esztétikai értéke is jelentős.<sup>37</sup> A módszer alkalmazása esetén, a tenyészidőszak végén, a keletkezett növényi biomasszát – más fitoremediációs eljárásokhoz hasonlóan – ellenőrzött körülmények között kell feldolgozni (pl. növényi anyag égetése és hamujának veszélyes hulladékként kezelése).

**Köszönetnyilvánítás:** Munkánkat az ÚNKP-18-3-I-SZIE-38 programja támogatta.

**Kulcsszavak:** Mónok Dávid, Kardos Levente, *Tagetes erecta*, fitoremediáció, nehézfém

\*

## Ólom- és kadmiumsók fitotoxicitása angolperjére komposztal kezelte homoktalajon

**Mónok Dávid<sup>a</sup> és Strbik Dorina<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Szent István Egyetem KERTK Talajtan és Vizgazdálkodás Tanszék; <sup>b</sup>Szent István Egyetem MKK Környezettudományi Intézet, Talajtani és Agrokémiai Tanszék

Az ólom és a kadmium jelenléte a talajban környezeti és humánegészségügyi kockázatokkal jár. A növények nagy mennyiségben akkumulálhatják az említett két nehézfémet, ami különösen a savas kémhatású, alacsony humusztartalmú talajokon okozhat jelentős problémát.<sup>38</sup> A növényi szervezetben nagy mennyiségben akkumulált ólom és kadmium gátolja a növények fotoszintézisét, sejtosztódását, vízfelvételt és gyökérképződését.<sup>39</sup> A zöldkomposztok jelentős mértékben képesek megkötni a talajban lévő nehézfémeket, így csökkentve azok mobilitását és fitotoxicitását.<sup>40</sup> Ennek oka, hogy alkalmazásuk esetén javul a talaj szerkezete és vízháztartása, továbbá nő a talajok humusztartalma.<sup>41-42</sup> Korábbi vizsgálatok alapján, az angolperje (*Lolium perenne*) növekedési paramétereire gyakorolt károsító hatás érzékeny mutatója a nehézfémek fitotoxicitásának.

Kísérletünk során a  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (0; 0,75; 1,5; 3 mg/kg) és az  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  (0; 75; 150; 300 mg/kg) növekvő adagjainak hatását vizsgáltuk az angolperje növekedési paramétereire három különböző talaj–komposzt–arányú (0%; 5%; és 10% zöldhulladékból származó komposztot tartalmazó talaj) keverékben. A zöldkomposzt a Zöld Híd Régió Kft-től származott, legfontosabb paramétere a

<sup>37</sup> Bíró *et al.* (2016) *Kertgazdaság* **48** (2), 45-52.

<sup>38</sup> Mónok és Füleky (2017) *Agrokémia és Talajtan* **66** (2), 333-347.

<sup>39</sup> Nagajyoti *et al.* (2010) *Environ. Chemistry Lett.* **8** (3), 199-216.

<sup>40</sup> Elfoughi *et al.* (2011) *Agrokémia és Talajtan* **60** (1), 195-202.

<sup>41</sup> Singh & Kalamdhad (2013) *Ecol. Engin.* **52**, 59-69.

<sup>42</sup> Karami *et al.* (2011) *J. Hazard. Mater.* **191** (1-3), 41-48.

következők voltak:  $pH_{KCL}$ : 7,29;  $CaCO_3$  %: 1,24; Humusz %: 10,17; N: 1,07 %; AL- $P_2O_5$  132 mg/kg; AL- $K_2O$  1795 mg/kg. A kísérletben felhasznált teszttalaj Nyíregyházáról származó homoktalaj volt ( $K_a$ : 22;  $pH_{KCL}$ : 4,9; humusz %: 3,09;  $CaCO_3$  %: <0,01). A növények hajtás- és gyökérhosszát (cm), a hajtások friss- és száraztömegét (g), valamint a hajtások nehézfém-koncentrációit (AAS módszerrel, sósavas hidrolízist követően) 14-napos terhelés után határoztuk meg. Az adatok értékelését *Graphpad Prism* programmal végeztük, az értékeléshez kéttényezős ANOVA és *Tukey*-tesztet alkalmaztunk.

A növekvő nehézfémadagok szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) csökkentették a vizsgált növekedési paraméterek értékeit a kontrollhoz képest mind a három talaj-komposzt-keverék esetén. Már 75 mg/kg-os (talajszennyezettségi határérték alatti) ólomkezelés hatására is 10%-os csökkenés volt tapasztalható a növények hajtáshosszában és friss tömegében a komposztot nem tartalmazó talaj esetében. A 300 mg/kg-os ólomkezelés hatására mind a három talaj-komposzt-keverék esetén több mint 20%-kal csökkent a növények friss és száraz tömege, valamint több mint 15%-kal a hajtás és a gyökér hossza. Kadmium esetében a szennyezettségi határérték alatti kezelés (0,75 mg/kg) nem okozott jelentős káros hatást, azonban a legnagyobb kezelés (3 mg/kg) már közel 20%-kal csökkentette a vizsgált növekedési paramétereket minden talaj-komposzt-keverék esetén.

A zöldkomposzt hatására szignifikánsan nőtt az angolperje hajtásának hossza ( $p = 0,002$ ), valamint a friss tömege ( $p = 0,021$ ), azonban a komposzt arányának növekedése a talajban nem befolyásolta egyértelműen a vizsgált nehézfémek fitotoxicitását.

Eredményeink alapján az általunk alkalmazott angolperje-bioteszt alkalmas az ólom és a kadmium fitotoxicitásának vizsgálatára. A korábbi vizsgálatok során a zöldkomposzt csökkentette a nehézfémek fitotoxicitását, azonban az általunk alkalmazott savanyú homoktalajon, adott kísérleti körülmények mellett, nem tapasztaltunk szignifikáns hatást.

**Kulcsszavak:** Mónok Dávid, Strbik Dorina, *Lolium perenne*, kadmium, ólom

\*

## Neonikotinoidok megjelenése csávázott magokból a társnövények guttációs folyadékában

**Mörzl Mária,<sup>a</sup> Darvas Béla,<sup>b</sup> Vehovszky Ágnes,<sup>c</sup> Györi János<sup>c</sup> és Székács András<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>NAIK Agrár-környezettudományi Kutatóintézet; <sup>b</sup>Magyar Ökotoxikológiai Társaság; <sup>c</sup>MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet

A neonikotinoidok napjainkban a legnagyobb mennyiségben alkalmazott rovarirtó szerek. A méhekre kifejtett toxicitásuk miatt az Európai Unió 2013-ban korlátozta három hatóanyag (*imidacloprid*, *thiamethoxam* és *clothianidin*) használatát, majd 2018-ban további szigorította korábbi rendeletét.<sup>43</sup> Ezek a felszívódó hatású

<sup>43</sup> A Bizottság 485/2013/EU Végrehajtási Rendelete, *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, L 139/12; A Bizottság 785/2018/EU Végrehajtási Rendelete, *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, L 132/31-45.

hatóanyagok nemcsak a növényi részekben és a guttációs folyadékban jelennek meg, de jó vízoldhatóságuk miatt a talajbeli terjedésük is gyors, így a felszíni vizekben is gyakran detektálhatók. A rovarok kitettségének egyik útja a guttációs folyadék lehet, melyet Girolami és munkatársai tanulmányoztak neonikotinoidokkal csávázott kukorica esetében.<sup>44</sup> Korábbi eredményeink bizonyították, hogy a csávázott magokból átszennyeződés következik be a talajon keresztül és a közeli nem csávázott kukoricamagból kelt növény guttációs cseppeiben is megjelentek a csávázószer.<sup>45</sup> A terjedés folyamatát a talaj tulajdonságai (szervesanyag- és agyagtartalom) is befolyásolják.<sup>46</sup>

Jelen munkánkban<sup>47</sup> a neonikotinoidok felvételét tanulmányoztuk a csávázott magokból kelt kukorica, valamint két gyomnövény esetében, melyek a csávázott magok közelében fejlődtek. A *thiamethoxam* (TMX) és *clothianidin* (CLO) felvételét a guttációs folyadék hatóanyag-tartalmának mérésével jellemeztük. Az acatot (*Cirsium arvense*), a kukorica jól ismert gyomnövényét, valamint a pipacsot (*Papaver rhoeas*) választottuk modellként. Az eredmények megerősítették a talajon keresztül történő keresztaszennyezést, vagyis a neonikotinoid hatóanyagokat a gyomok felvették a szomszédos csávázott magról kelt kukoricánövényekből. Bár a gyomok guttációs folyadékában mérhető szintek az acatnál kisebbek, a pipacsnál pedig lényegesen kisebbek voltak, mint a kukorica esetében, a vegyületeket a kukoricamagok elültetése után akár 36 nappal is ki tudtuk mutatni. A legnagyobb TMX-koncentráció 150, illetve 21 mg/l, míg a CLO-szintje 70, illetve 21 mg/l volt a kukorica, illetve az acat esetében. A pipacsnál, feltehetően az intenzívebb guttáció következtében lényegesen alacsonyabb szinteket mértünk (0,74 mg/l).

Eredményeink rámutatnak arra, hogy ezek az utóbbi időben általános szennyezővé vált hatóanyagok a virágzó gyomokban is előfordulhatnak, ami a nem célzott szervezetek kitettségét növeli. Mivel a vizsgált hatóanyagok méhekre erősen mérgezőek, és előfordulhat, hogy a méhek a guttációs folyadékból isznak, ezért kockázatos a neonikotinoidok jelenléte a cseppekben. Az akut orális  $LD_{50}$  érték a CLO és a TMX esetében 3,8 és 5,0 ng/méh (EFSA). Az általunk mért legnagyobb koncentrációknál a napi bevitel alapján becsült elfogyasztott neonikotinoid mennyisége még a pipacsnál is a meghaladja az  $LD_{50}$  értékét. A kukorica és az acat esetében mért szinteknél jóval nagyobb a kockázat. Mindemellett nem elhanyagolható a kontakt toxicitás sem, ami a cseppek bepárlódása után hat a rovarokra, valamint azt is figyelembe kell venni, hogy a szubletális hatások a kolónia gyengítésével járnak.

**Köszönetnyilvánítás:** A munkát az OTKA 112978 támogatta.

**Kulcsszavak:** Mörthl Mária, Darvas Béla, Vehovszky Ágnes, Győri János, Székács András, neonikotinoid, csávázás, guttáció, *thiamethoxam*, *clothianidin*, *Cirsium arvense*, *Papaver rhoeas*



<sup>44</sup> Girolami et al. (2009) *J. Econ. Entomol.* **102** (5), 1808-1815.

<sup>45</sup> Mörthl et al. (2018) *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **97**, 868-884.

<sup>46</sup> Mörthl et al. (2016) *J. Chem.* ID 4546584.

<sup>47</sup> Mörthl et al. (2019) *Sci. Total Env.* **649**, 1137-1143.

## A domolykó (*Squalius cephalus*) bioakkumulációs vizsgálata a Sajó vízgyűjtőjén

Nyeste Krisztián,<sup>a</sup> Rózsa János,<sup>a</sup> Abonyi Tamás,<sup>a</sup> Somogyi Dóra,<sup>a</sup>  
Tóth Csilla Noémi,<sup>b</sup> Harangi Sándor,<sup>b,c</sup> Baranyai Edina,<sup>b</sup> Simon Edina,<sup>c</sup>  
Nagy Sándor Alex<sup>a</sup> és Antal László<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Debreceni Egyetem, Hidrobiológiai Tanszék, Debrecen; <sup>b</sup>Debreceni Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék, Atomspektroszkópiai Partner Laboratórium, Debrecen; <sup>c</sup>Debreceni Egyetem, Ökológiai Tanszék, Debrecen

A Sajó a XX. század során Európa egyik legszennyezettebb vízfolyása volt. Mostanra ez az állapot sokat javult, melyet a folyó értékes halközössége is indikál, de folyamatos szennyezések mai napig érik a teljes vízgyűjtőt. A vizeinket érő szennyezőanyagok közül kiemelkedő szereppel bírnak a nehézfémek. Ezek felderítésében különböző élőlények nyújtanak értékelhető információt, ugyanis ezek a szervezetek az élettartamuk alatti terhelések többségét integrálják a szervezetükben, így átfogó képet nyújtanak vizeink hosszú távú terheltségéről. Közülük is a magasabb trofikus szinten elhelyezkedő halak fontos szereppel bírnak, melyek a bioakkumulációs folyamatok tanulmányozásában is kiemelt fontosságúak. Emellett általánosságban elmondható, hogy a halak nehézfém-tartalmára irányuló vizsgálatok nemcsak ökotoxikológiai, hanem humánélelmészeti szempontból is kiemelkedő fontosságúak.

A domolykó (*Squalius cephalus*) Európa-szerte széles körben elterjedt áramlásokkal rendelkező halfaj. Emellett a trofikus hálózatokban betöltött jelentős szerepe, valamint a szennyezésekkel szembeni magasabb tűrőképessége alapján egész Európában a vízfolyások fémszennyezettségének vizsgálatában a legtöbbet használt modellszervezet.

Munkánk során domolykó egyedeket gyűjtöttünk be a Sajóból, a Hernádból, a Bódvából, valamint a Sajó torkolata alatti és feletti Tisza-szakaszokról. A begyűjtött egyedek izom-, kopoltyú- és májszövetének fémtartalmát vizsgáltuk induktív csatolású plazma-atomemissziós spektrometria (ICP-OES) módszerrel, mely során meghatároztuk a bárium (Ba), a kadmium (Cd), a kobalt (Co), a réz (Cu), a vas (Fe), a mangán (Mn), a nikkel (Ni), az ólom (Pb), a stroncium (Sr) és a cink (Zn) szövetenkénti koncentrációit. Megvizsgáltuk, hogy a domolykó mely szövettípusa a legmegfelelőbb indikátora az egyes fémszennyezéseknek, továbbá ezek alapján milyen a Sajó vízgyűjtőjének fémszennyezettségi állapota. Ezen túl kerestük a választ, hogy a domolykó fémtartalom-mintázata alapján a Sajó vízgyűjtője hogyan módosítja a Tisza fémtartalmát, valamint a vizsgált helyszíneken élő domolykó, mint kedvelt horgászhal fogyasztása a fémtartalom tekintetében jár-e egészségügyi kockázattal az egészségügyi határértékek és ajánlások alapján.

Az izomban az Al, Ba, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn; a kopoltyúnál Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn; a májban pedig Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, Zn esetén mértünk szignifikánsan nagyobb koncentrációkat a Hernádból származó domolykókban. A Hernádból származó minták esetén ezek közül is kiemelkedő volt a Cd, Cr és a Ni, melyek izomban mért mennyisége az egészségügyi határértéket is meghaladta. Az említett fémek jelentős terhelést jelenthetnek a Hernádon keresztül, ugyanis a Sajó alsó szakaszán, valamint a torkolat alatti Tisza szakaszon is

egészségügyi határértéket meghaladó koncentrációkat mértünk az ott élő domolykók izomszövetéből. Az elemek bioakkumulációs sajátosságai alapján megállapítottuk, hogy a nehézfémek zöme (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) a fő méregtelenítő szervben, a májban dúsul fel leginkább, de néhány elem a kopoltyúban volt a legnagyobb mennyiségben (Al, Ba, Mn). Eredményeink alapján megállapítható, hogy a vízgyűjtőt elsősorban a Hernádon keresztül érik jelentős szennyezések, melyek a befogadó Tiszában élő domolykók esetén is szignifikánsan megnövelték az akkumulált fémek koncentrációját.

*Köszönetnyilvánítás:* Munkánkat az FIKP DE 4. és az ÚNKP-18-3 program támogatta.

*Kulcsszavak:* Nyeste Krisztián, Rózsa János, Abonyi Tamás, Somogyi Dóra, Tóth Csilla Noémi, Harangi Sándor, Baranyai Edina, Simon Edina, Nagy Sándor Alex, Antal László, nehézfém, fémszennyezés, egészségügyi határérték, izom, máj, kopoltyú

\*

## A klorofill fluoreszcencia-indukció paramétereinek alkalmazhatósága békalencsetesztekben

**Oláh Viktor,<sup>a</sup> Kiss Izabella,<sup>a</sup> Szecskó Dorina,<sup>a</sup> Hepp Anna<sup>a</sup> és Mészáros Ilona<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Debreceni Egyetem TTK Növénytan Tanszék, Debrecen

A békalencsefajok (Lemnaceae) a felszíni vizek fontos primer producensei és az ökotoxikológiai kutatásokban is elterjedten használt modellnövények. A békalencse-növekedésgátlási teszt jelenleg az egyetlen szabványosított teszrendszer, mellyel a vízi makrofiták szennyezőanyagokra adott válaszait mérik. Az *OECD*-szabvány szerinti békalencsetesztekben a hatást a tenyészetek hétnapos növekedési rátájával jellemzik, így a vizsgálatok időigénye viszonylag nagy. Az *in vivo* klorofill fluoreszcencia-indukciós módszert régóta eredményesen használják a növények stresszállapotának jellemzésére, de az alkalmazása jó alternatíva lehet az ökotoxikológiai vizsgálatokban is a növekedési paraméterek mérése helyett. A képző klorofill fluorométerek lehetőséget kínálnak több minta szimultán történő vizsgálatára, amihez a kis méretű békalencsefajok optimális objektumok lehetnek. A tesztek elvégezhetőek mikrotiter lemezen és a klorofill fluoreszcencia paramétereinek vizsgálatával potenciálisan csökkenthetjük a tesztek időtartamát és/vagy növelhetjük az érzékenységet. A mérési eljárások és a mérésekből származtatható nagyszámú paraméter közül a megfelelőek kiválasztásához azonban előtanulmányok szükségesek. A munkánkban klorofill fluoreszcencia mérésén alapuló békalencse-tesztrendszert dolgoztunk ki, amely a későbbi, rutin ökotoxikológiai munkában nyújthat segítséget a legalkalmasabb protokoll és tesztvégpontok megtalálásában.

A vizsgálatokhoz a *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid. (bojtos békalencse) RDSC 5501 regisztrációs számú ökotípusát használtuk. A kezeléseket 12-lyukú mikrotiter lemezekon végeztük nikkellel (NiSO<sub>4</sub>), krómmal (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), illetve nátrium kloriddal (NaCl). A klorofill fluoreszcencia-vizsgálatokat Maxi Imaging-Pam klorofill fluorométerrel (Walz GmbH, Németország), a kezeléseket 72. órájában végeztük. Húszperces sötétadaptáció után mértük a potenciális fotokémiai hatékonyságot (Fv/Fm), majd 10-perces, a nevelési körülményeknek megfelelő megvilágítást követően az aktuális fotokémiai hatékonyságot (ΔF/Fm'). Ezt

követően a fényintenzitás növelésével mért gyors fényválaszok alapján meghatároztuk a maximális elektrontranszport-rátát ( $ETR_{max}$ ). A fenti végpontok 50%-os gátlásához szükséges effektív koncentrációkat ( $EC_{50}$ ) log-logisztikus regressziós modellekkel számoltuk.

Az eredményeink alapján a mikrotiter lemezekon végzett, klorofill fluoreszcencia-mérésen alapuló tesztrendszer már 72-órás kezelések hatásainak a kimutatására is alkalmas, így felhasználható a rutinvizsgálatokban. A különböző végpontok érzékenysége nagyon eltérő volt. A számolt  $EC_{50}$ -értékek mindhárom vegyület esetében az:  $Fv/Fm > \Delta F/Fm' > ETR_{max}$  sorrendben csökkentek. Az  $Fv/Fm$ -re és az  $ETR_{max}$ -ra számolt  $EC_{50}$  között a különbség a Ni és Cr(VI) esetében tíz- illetve ötszörös, a NaCl esetében pedig közel kétszeres volt az  $ETR_{max}$  javára, míg a  $\Delta F/Fm'$  az  $ETR_{max}$ -nál 30-50%-kal magasabb  $EC_{50}$ -értékeket mutatott. A 72-órás tesztekben a fluoreszcencia paraméterekre számolt  $EC_{50}$ -koncentrációk az OECD-szabvány szerinti növekedésgátlási tesztlejzereinkben kapott effektív koncentrációkat<sup>48-49</sup> azonban jelentősen meghaladták. Az  $ETR_{max}$   $EC_{50}$ -értéke a Ni és Cr(VI) esetében egy nagyságrenddel, a NaCl esetében pedig kétszer volt magasabb a növekedési rátákra számoltaknál.

**Kulcsszavak:** Oláh Viktor, Kiss Izabella, Szeckó Dorina, Hepp Anna, Mészáros Ilona, békalencse-teszt, *Spirodela polyrhiza*, klorofill fluoreszcencia, nehézfém

\*

## Toxikus környezet hatásának vizsgálata ízeltlábú szervezetek morfológiai jellemzőire és elemösszetételére

**Papp Dalma,<sup>a</sup> Simon Edina,<sup>a</sup> Mizser Szabolcs,<sup>b</sup> Nagy Leila,<sup>a</sup> Vidic Andreas<sup>c</sup> és Tóthmérész Béla<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Debreceni Egyetem, Ökológiai Tanszék, Debrecen; <sup>b</sup>MTA-DE Biodiverzitás Kutatócsoport, Debrecen; <sup>c</sup>Universität Wien, Department für Naturschutzbiologie, Vegetations- und Landschaftsökologie, Wien

Az urbanizáció jelentős hatást gyakorol környezetünk biotikus és abiotikus tényezőire.<sup>50</sup> Vizsgálataink célja az antropogén hatások, valamint ízeltlábú szervezetek elemösszetétele és morfológiai paramétereinek intraspecifikus variációjának közötti összefüggések becslése volt. Egy szárazföldi ászkafaj (*Armadillidium vulgare*) metrikus jelleget (testhossz, 3. pereomer szélessége, antennomerek és flagellomerek hossza), mikroelem-összetételét (Ba, Cu, Fe, Mn, Pb és Zn) és négy futóbogárfaj (*Abax parallelepipedus*, *Carabus scheidleri*, *Carabus violaceus* és *Pterostichus oblongopunctatus*) metrikus jelleget (flagellomerek, femur, tibia, elytrum hossza valamint a palpomerek hossza és szélessége) vizsgáltuk urbanizációs grádiensek (természetközeli, városzéli és belvárosi élőhelyek) mentén Bécs és Debrecen területén.

Debreceni mintavételi területeink az ászkaegyedek bárium- (Ba) és réztartalma (Cu) alapján szignifikánsan elkülönültek egymástól. A legnagyobb Cu-

<sup>48</sup> Oláh et al. (2015) *Chemosphere* **132**, 40-46.

<sup>49</sup> Hepp et al. (2018) *Proc. XIV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia* 127-131.

<sup>50</sup> Gál et al. (2008) *Ecotox Environ Safe*. **69**, 139-149.

koncentráció a városi, míg a legnagyobb Ba-koncentráció a természetközeli mintavételi terület egyedeinek szervezetében volt. Szignifikánsan nagyobb Ba-koncentrációt találtunk a nőstény egyedek szervezetében. A mért morfológiai jellegek paraméterei nem változtak szignifikánsan a vizsgált grádiens mentén. A nőstény és hím egyedek antennomerjeinek hossza szignifikánsan eltért egymástól. A vizsgált futóbogárfajok morfometriai paraméterei alapján a mintavételi területek, valamint a hím és nőstény egyedek szignifikánsan elkülönültek egymástól. Az *elytra* átlagos hossza szignifikánsan csökkent a városi mintavételi területek felé a *C. scheidleri* és a *C. violaceus* esetében. A két kisebb testmérettel rendelkező faj, az *A. parallelepipedus* és a *P. oblongopunctatus* esetében a legnagyobb átlagos *elytra*hossz a városszéli mintavételi területeken volt tapasztalható. Szignifikáns különbséget tapasztaltunk a hím és nőstény egyedek *palpus maxillaris*, *tibia* és *elytra* paraméterei között, minden vizsgált futóbogárfaj esetében. A *P. oblongopunctatus* hímek *elytra* hossza növekedett, míg a nőstényeké csökkent a városi területek felé.

Az elemösszetétel meghatározás alapján elmondható, hogy az ászkaegyedek Ba- és Cu-tartalmának jelentős változása összefüggésbe hozható a mintavételi területek eltérő eredetű és mértékű környezeti terheltségével. Míg a belvárosi területek fő Cu-forrása a gépjárműforgalom, a városszéli területek Ba-forrása a légszennyezettség és a szennyezőanyagok akkumulációját elősegítő domborzati és meteorológiai viszonyok.<sup>51</sup> Egyes metrikus paraméterek urbanizációs gradiens mentén jelentkező varianciája számos esetben az adott faj, ivar és jelleg stresszfaktorokkal szembeni érzékenységén alapszik. Különböző élőlénycsoportok, szervek eltérő mértékben mutatnak stresszfüggő, fenotípust befolyásoló fejlődést.<sup>52</sup> Eredményeink azt bizonyítják, hogy a nagy testméretű futóbogárfajok nőstény egyedei és a *P. oblongopunctatus* alkalmasnak bizonyulnak élőhelyük állapotának becslésére, mivel érzékenyen reagálnak az urbanizáció okozta környezeti változásokra.

**Köszönetnyilvánítás:** A projektet a KH 126481, KH 126477 és OTKA K 116639 támogatták.

**Kulcsszavak:** Papp Dalma, Simon Edina, Mizser Szabolcs, Nagy Leila, Vidic Andreas, Tóthmérész Béla, *Armadillidium vulgare*, *Abax parallelepipedus*, *Carabus scheidleri*, *Carabus violaceus*, *Pterostichus oblongopunctatus*, Carabidae, Isopoda, bioindikátor, stressz, urbanizáció, nehézfém



Lisa Rave – *Europium*®, 2014 (Forrás)

<sup>51</sup> Kertész *et al.* (2008) *Acta Geogr Debr.* **1**, 57-67.

<sup>52</sup> Lens *et al.* (2002) *Biol Rev.* **77**, 27-38.

## A Balaton vízgyűjtő mikrobiológiai és ökotoxikológiai vizsgálata (2)

**Radó Júlia,<sup>a</sup> Háhn Judit,<sup>b</sup> Farkas Milán,<sup>a</sup> Tóth Gergő,<sup>a</sup> Kaszab Edit,<sup>a</sup> Harkai Péter,<sup>a</sup> Balázs Adrienn,<sup>a</sup> Risa Anita,<sup>a</sup> Kriszt Balázs<sup>a</sup> és Szoboszlay Sándor<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Szent István Egyetem MKK Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet; <sup>b</sup>Szent István Egyetem Regionális Egyetemi Tudásközpont, Gödöllő

A Balatonból és befolyóiból származó víz- és üledékminták vizsgálatát összesen 48 mintavételi ponton évente több alkalommal végeztük. A kutatás második évére 23-ra szűkítettük a mintavételi pontok körét. A vízminták feldolgozása során lemezöntéssel meghatároztuk az összes élősejtszámot és különböző táptalajokról, összesen 585 baktériumtelepet izoláltunk. 462 baktériumtelep fajsztintú azonosítását végeztük el részleges vagy teljes 16S rDNS-szekvenciaanalízis alapján. A balatoni víztestből leggyakrabban az *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Chryseobacterium*, *Raoultella* és *Acinetobacter*, míg a befolyók mintáiból a *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Bacillus*, *Rahnella*, *Chryseobacterium*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Raoultella*, *Serratia* és *Pedobacter* nemzetség tagjait mutattuk ki. Megállapítottuk, hogy a befolyók tenyészhető mikroszervezetei fajsztintú azonosítás alapján, jelentősen eltérnek a Balaton mikrobiális ökoszisztémájának tenyészhető baktériumaitól.

Ökotoxikológiai vizsgálatokat a víz- és üledékmintákkal egyaránt végeztünk. Az első év eredményei szerint az élesztőalapú biorporter (*BLYES* és *BLYAS*) tesztek nem mutattak ösztrogén- és androgénhatást, a második évben azonban – azonosítatlan okkal – enyhe hormonmoduláns hatást jelző biolumineszcencia-növekedést detektáltunk. Az első évben *Aliivibrio fischeri* (*AVF*) ISO 11348-2 szabvány szerint elvégzett tesztekben egyik vízmintánál sem észleltünk akut citotoxicitást, azonban 7, befolyóból származó, a kiágazó Sióból és egy balatoni strandon vett iszapmintánál koncentrációfüggő hatást tapasztaltunk, utóbbi két esetben a minták toxikusnak bizonyultak. Az ok kémiaiilag feltáratlan maradt. A második évben az akut és krónikus *Aliivibrio fischeri* citotoxicitási tesztek több esetben kismértékű toxicitást mutattak. A 2018. áprilisi mintavétel alkalmával a balatoni víztest és a befolyók vizei közül 3 csak az akut tesztben, 9 az akut és krónikus *AVF*-tesztben is, 4 további minta csak a krónikus tesztben gyakorolt enyhe gátló hatást.

A *Comamonas testosteroni* fajnál androgén hatást csökkentő biodegradációs képességet találtak,<sup>53</sup> így a Balatonból izolált közeli rokonaival, a B194 (*Comamonas aquatica*) és a B207, B211 (*Comamonas thiooxydans*) jelölésű törzsekkel dihidro-tesztoszteron- és androszténdion-bontási kísérletet indítottunk. *BLYAS*-rendszerrel vizsgálva a B207 és B211 már egy nap után teljes mértékben megszüntette az androgén hatást. A Balatonban olyan további fajokat találtunk, melyek a szakirodalomban leírt biodegradációs képességeikkel szintén hasznos tagjai lehetnek az élőhelyük és közösségük anyagkörforgalmának. Ilyen például a *Bacillus megaterium*, mely képes hasznosítani a *mesotrione* növényvédő szert,<sup>54</sup> vagy a *Bacillus thuringiensis* (amely ismert és gyakorlatban hasznosított

<sup>53</sup> Chen *et al.* (2016) *Sci. Rep.* **6** (35386), 1-13.

<sup>54</sup> Dobrzanski *et al.* (2018) *PLoS One* **13** (4), e0196166.

rovarpatogén), a *Brachy bacterium paraconglomeratum*, melyek növényvédő szerek és szénhidrogének degradációjára képesek.<sup>55-56</sup> A *Novosphingobium aromaticivorans* és a *Pseudomonas veronii* számos aromás vegyületet képes bontani.<sup>57-58</sup>

**Köszönetnyilvánítás:** Munkánkat a GINOP-2.3.2-15-2016-00004 és az ÚNKP-18-3 támogatták.

**Kulcsszavak:** Radó Júlia, Háhn Judit, Farkas Milán, Tóth Gergő, Kaszab Edit, Harkai Péter, Balázs Adrienn, Risa Anita, Kriszt Balázs, Szoboszlay Sándor, Balaton, *Aliivibrio fischeri*, BLYAS, *Comamonas aquatica*, *Comamonas thiooxydans*

\*

## Nehézfémekkel szennyezett talaj hatása néhány egyszikű haszonnövény növekedésére

Simon Edina,<sup>a</sup> Tózsér Dávid,<sup>a</sup> Simon László,<sup>b</sup> Magura Tibor<sup>a</sup> és Orlóci László<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Ökológiai Tanszék, Debrecen; <sup>b</sup>Nyíregyházi Egyetem, Agrártudományi és Környezetgazdálkodási Intézeti Tanszék, Nyíregyháza; <sup>c</sup>Pannon Breeding Program, Törökszentmiklósi Mezőgazdasági Zrt., Törökszentmiklós

A talajokban található szennyező anyagok komoly kockázatot jelentenek az élőlények számára. Ennek megakadályozására számos módszer ismert, melyek közül kiemelt jelentőségű a fitoremediáció.<sup>59</sup> A fászfű mellett a lágyszárú növényzet fitoremediációs technológiákban betöltött szerepét tanulmányozni szükséges.

Vizsgálataink célja nehézfémekkel szennyezett talajok toxicitásának megállapítása lágyszárú fajok érzékenysége alapján. Toxikológiai vizsgálatainkhoz a Debrecen délnyugati határában elhelyezkedő, nehézfémekkel szennyezett, a már rekultivált, de korábban cinkkel, krómmal és rézzel erősen szennyezett Lovász-zugi utóülepítő törendszertől gyűjtöttünk talaj- és szennyvíziszap-mintákat.<sup>60-61</sup> Vizsgálatainkat a talaj- és iszapmintákon kívül szennyvíziszapból készült komposztból készített kivonatokkal is elvégeztük. Valamennyi mintából (talaj, iszap, komposzt) 3 különböző koncentrációjú kivonatot készítettünk (1, 3 és 5 g/kg). A toxikológiai tesztekhez a következő lágyszárúak 2-2 fajtájának magjait használtuk: tönkölybúza (GK fehér fajta és GK fehér DH vonal), cukorcirok (Róna 1 és GK Balázs) és szudánifű (Akklimat és DK Csaba). A toxicitás mértékének megállapításához a gyökérhosszon alapuló Németh-féle módszert használtuk.<sup>62</sup>

A tönkölybúza GK fehér DH vonal fajtája mutatott nagyobb érzékenységet, mivel a kontrollhoz képest (talaj) a komposzt kissé mérgező hatású volt a Németh-féle toxicitási mérték alapján. A cukorcirok mindkét fajtája toleránsnak mutatkozott, mivel sem a komposzt, sem az iszap nem volt gátló hatással a növények

<sup>55</sup> Lily et al. (2013) *Int. J. Environ. Sci.* **3** (4),1242-1252.

<sup>56</sup> Maiti et al. (2012) *J. Sci.* **1** (4),72-75.

<sup>57</sup> Bell & Wong (2007) *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **360** (3), 666-672.

<sup>58</sup> Lima-Morales et al. (2016) *Appl. Environ. Microbiol.* **82** (1), 167-173.

<sup>59</sup> Zhivotovsky et al. (2010) *Int. J. Phytoremediat.* **13**, 75-94.

<sup>60</sup> Tózsér et al. (2018) *Environ. Sci. Pollut. R.* **25**, 3275-3290.

<sup>61</sup> Tózsér (2018) Egyetemi doktori (PhD) értekezés. Debreceni Egyetem

<sup>62</sup> Németh (1998) Környezetgazdálkodási Intézet TOI Környezetvédelmi Tájékoztató Szolgálat, Budapest.

növekedésére. A szudánifű esetében a DK Csaba fajta volt érzékenyebb, mivel mind a komposzt, mind az iszap kissé mérgező hatású volt. A tönkölybúza GK fehér DH vonalának gyökérhossza alapján a komposztból és iszaptól készített különböző koncentrációjú oldatok között szignifikáns különbséget mértünk, illetve a szudánifű DK Csaba fajtája esetében a talajból készített különböző koncentrációjú oldatok között tapasztaltunk különbséget. A cukorcirok fajtái esetében sem a koncentrációk alapján, sem a mintatípusok között nem találtunk különbséget. A fajta-összehasonlítások során szignifikánsan nagyobb gyökérhosszt mértünk a GK fehér fajta esetében, mint a GK fehér DH vonalnál. A szudánifű esetében szignifikánsan nagyobb gyökérhosszt tapasztaltunk a DK Csaba vonalnál, mint az Akklimat esetében. A cukorcirok vizsgálatánál azt tapasztaltuk, hogy szignifikánsan nagyobb gyökérhossz volt jellemző a GK Balázs fajtára, mint a Róna 1-re.

Eredményeink bizonyították a különböző lágyszárú fajok különböző fajtáinak eltérő érzékenységét a szennyezett közeggel szemben. Eredményeink felhasználásával lágyszárúak talajba történő visszaforgatására alapozott, majd fásszárúak telepítésén alapuló fitoremediációs célú szabadföldi kísérletek megtervezésére és kivitelezésre van lehetőség, hozzájárulva ezzel a remediációs technológiák fejlesztéséhez.

**Köszönetnyilvánítás:** A kutatási munkát a GINOP-2.2.1-15-2017-00042 számú projekt támogatta.

**Kulcsszavak:** Simon Edina, Tözsér Dávid, Simon László, Magura Tibor, Orlóci László, gyökérhossz, fitoremediáció, tönkölybúza, *Triticum*, cukorcirok, *Sorghum*, szudánifű, nehézfém

\*

## Húszhetes *glyphosate*-expozíció harmadára csökkenti a zebradánió (*Danio rerio*) granulocitaszámát

Simon László,<sup>a</sup> Gyurcsó Gergő,<sup>a</sup> Szikora Bence,<sup>b</sup> Baska Ferenc,<sup>c</sup> Matkó János,<sup>b</sup> Takács Eszter,<sup>a</sup> Székács András<sup>a</sup> és Darvas Béla<sup>d</sup>

<sup>a</sup>NAIK Agrár-környezettudományi Kutatóintézet, Budapest; <sup>b</sup>ELTE Immunológia Tanszék, Budapest; <sup>c</sup>Állatorvostudományi Egyetem, Exotikus- és Vadállat-egészségügyi Tanszék, Budapest; <sup>d</sup>Magyar Ökotoxikológiai Társaság

A *glyphosate* gyomirtó hatóanyag gyakori – az Európai Unióban már betiltott – formázó anyaga a polietoxilált faggyúamin (*POEA*), ami oly mértékben toxikus, hogy a vele formázott *glyphosate* herbicid (pl. Roundup) toxikusabb, mint a hatóanyag. A *glyphosate* citotoxicitását többféle sejtvonalon is vizsgálták,<sup>63</sup> és a legérzékenyebb az emberi Burkitt's limfómából eredő, látens Epstein-Barr vírus genomot hordozó Raji sejtvonal volt,<sup>64</sup> de emellett emberi limfocitákon is genotoxicitást mutatott.<sup>65</sup> A *glyphosate* nemcsak a sejtpusztulást illetően, hanem más biokémiai citotoxicitás markereket (mitochondriális funkciók, laktát dehidrogenáz felszabadulás, sejtproliferáció, a membránintegritás, lizoszomális aktivitás) vizsgálva is, citotoxikusnak bizonyult.<sup>66</sup>

<sup>63</sup> Székács & Darvas (2018) *Front Env Sci.* **6**, doi.org/10.3389/fenvs.2018.00078

<sup>64</sup> Townsend et al. (2017) *Regul Toxicol Pharmacol.* **85**, 79-85.

<sup>65</sup> Santovito et al. (2018) *Environ. Sci. Pollut. Res.* – doi.org/10.1007/s11356-018-3417-9

<sup>66</sup> Defarge et al. (2018) *Toxicol Res.* **5**, 156-163.

A *glyphosate* zebraadánió vér sejtjes elemeire gyakorolt hatását vizsgáltuk. Kísérleteink során zebraadániókat (*Danio rerio*) kezeltünk 100 µg/l *glyphosate* hatóanyag (G), 37 µg/l *POEA* formázó szernek (P) és 5 ng/l etinil-ösztadiolnak (EE) kitéve 20 hétig. A 2 hetes zebraadániókat (hímek és nőstények vegyesen) 30-literes üvegakváriumokban (60/akvárium) helyeztük el, heti egyszeri, 10-literes vízcserével és kezelőanyag-pótlással. Az első tíz héten 0,1 g/nap, a második tíz héten 0,3 g/nap Ocean Nutrition tápanyagot kaptak. A kísérleti állatok vérében az apoptotikus sejtek számát, valamint az egyes vérsejtek populációméret-változásait vizsgáltuk. Az adatokat fluoreszcens *TUNEL* kit, illetve DiOC6 festés, valamint áramlási citométer (FACSAria III) segítségével mértük. Az egyes sejtpopulációkat szétválogatást és festést követően mikroszkópos vizsgálattal azonosítottuk.

A *TUNEL*+ sejtek száma a kezeletlen zebraadániók vérpreparátumához képest az EE-csoportban 83%-ra csökkent. A G-csoport átlagos *TUNEL*+ sejtszáma a kontrollénak 147%-a volt, míg a P-csoport *TUNEL*+ sejtszáma átlagosan a kontroll 143%-a volt. Az apoptózissal elpusztuló vérsejtek számának növekedését mértük *glyphosate* és *POEA* esetében is.

Az EE hím zebraadániók granulocitaszáma ( $32 \pm 19\%$ ;  $n=12$ ;  $p=0,0222$ ) és a G hím zebraadániók granulocitaszáma ( $31 \pm 2\%$ ;  $n=12$ ;  $p=0,0190$ ) szignifikánsan a kontrollcsoport granulocitaszámának átlagosan harmadára csökkent. Az EE hím zebraadániók vörösvérsejtszáma ( $110 \pm 3\%$ ) 10%-ot emelkedett a kontrollcsoportéhoz képest ( $p=0,0152$ ). A szórások meglehetősen nagyok. Mindez neutropeniára (a granulocitaszám-csökkenés kiváltotta szindrómára), a fertőzéseknek való fokozott kitévésre és vegyi hipoxiára utal. A *glyphosate* és bomlástermékei az európai talajok 45%-ában ~2 mg/kg koncentrációban vannak jelen a felső rétegben. Magyarországon a 2010 szeptemberében gyűjtött 42 felszínivíz minta fele volt *glyphosate*-szennyezett 540-980 ng/l koncentrációban.<sup>67</sup> A zebraadániók számára ez már hematológiai veszélyt jelent. Ismert tény, hogy a vegyi hatásokat tekintve az immunrendszerünk reagál legérzékenyebben.

**Köszönetnyilvánítás:** Vizsgálatainkat az OTKA K 109865 támogatta.

**Kulcsszavak:** Simon László, Gyuresó Gergő, Szikora Bence, Baska Ferenc, Matkó János, Takács Eszter, Székács András, Darvas Béla, *Danio rerio*, *glyphosate*, *POEA*, *neutropenia*



Biciklis palackposta (Fotó: [Cindy](#))

<sup>67</sup> Székács et al. (2015) *J Chem.* **2015**, Article ID 717948, 15 pages

## Gerinctelen vízi modellállatokban megfigyelhető változások progesztogén hatóanyagok hosszú távú terhelése során

Svigruha Réka,<sup>a,b</sup> Zrínyi Zita,<sup>b</sup> Fodor István,<sup>b</sup> Kardos Vivien,<sup>c</sup> G-Tóth László<sup>c</sup> és Pirger Zsolt<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Környezettudományi Intézet, Limnológia Tanszék, Veszprém; <sup>b</sup>MTA ÖK, Balatoni Limnológiai Intézet, Adaptációs Neuroetológiai Kutatócsoport, Tihany; <sup>c</sup>MTA ÖK, Balatoni Limnológiai Intézet, GINOP Fenntartható Ökoszisztémák Kutatócsoport, Tihany

Az egyes progesztogén hatóanyagok koncentrációja általában alacsony a környezetben (1 és néhány 100 ng/l között), de a valóságban ezeknek a hatóanyagoknak egyidejű kombinált jelenléte figyelhető meg. A progesztogének bioakkumulációja ismert folyamat gerinces és gerinctelen édesvízi szervezetekben egyaránt.<sup>68</sup> Ezekben a nem célzott egyedekben a progesztogének befolyásolják az endogén hormonok bioszintézisét és megzavarják az endokrin rendszert, amely negatívan befolyásolhatja a reprodukciót, a fejlődést, a gaméták érését vagy a párosodási viselkedést.<sup>69</sup>

Kutatócsoportunk a progesztogén hormonokat 0,1-15 ng/l koncentrációtartományban mutatta ki a Balatonban és annak vízgyűjtő területén (Zala folyó, Kis-Balaton) HPLC-MS módszer segítségével.<sup>70</sup> Ismeretes, hogy a progesztogének ökológiai kockázatot jelenthetnek a gerinctelen<sup>71-72</sup> és gerinces<sup>73</sup> vízi szervezetek számára. Ezért megvizsgáltuk a kimutatott hormonszennyezések lehetséges ökológiai hatásait a vízgyűjtőn is előforduló nagy mocsári csiga (*Lymnaea stagnalis*) embrióin és felnőtt egyedein, valamint az ágascápú rák (*Cladocera*, *Daphnia magna*) juvenilis egyedekben. A kísérletek elvégzésével a következő kérdésekre kerestük a választ: (i) vajon milyen növekedési változások figyelhetők meg a tesztállatok fejlődése során, és (ii) milyen viselkedési változások idézhetők elő a progesztogénkezeléssel? Vizsgálatainkban krónikus expozíciót (21 nap) alkalmaztunk 1, 10, 100, 500 ng/l progesztogénkeverékekkel (progeszteron, *levonorgestrel*, *drospirenone*, *gestodene*), modellezve a környezeti hatásokat kontrollált laborkörülmények között.

A szívverés frekvenciája jelentősen nem változott, míg a reszelőnyelv-öltögetések száma megnőtt a *L. stagnalis* embrionális fejlődése során 1 ng/l progesztogén jelenlétében. A felnőtt egyedekben a táplálkozási aktivitás jelentősen nőtt a kontrollcsoporthoz képest, míg a mozgási aktivitás lecsökkent azonos hormonkezelés hatására. A *D. magna* esetében a kikelés utáni növekedés a progesztogénkoncentráció függvényében változott. A hormonok hatására, a petét érlelő nőtények száma szignifikánsan nem nőtt vagy csökkent a kontrollcsoporthoz képest, ugyanakkor koncentrációfüggő mértékben változott a peteszám az állatokban. A kikelő utódok száma korrelált a kezelések adott szakaszában a peteszám növekedésével.

<sup>68</sup> Liu et al. (2011) *Sci. Total Environ.* **409**, 5149-5161.

<sup>69</sup> Orlando & Ellestad (2014) *Gen. Comp. Endocrinol.* **203**, 241-249.

<sup>70</sup> Avar et al. (2016) *Drug Test Anal.* **8**, 123-127.

<sup>71</sup> Donna et al. (2003) *Environ. Tox. Chem.* **23**, 1282-1288.

<sup>72</sup> Zrínyi et al. (2017) *Aquat. Toxicol.* **190**, 94-103.

<sup>73</sup> Maasz et al. (2017) *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **139**, 9-17.

A kapott eredmények rámutatnak arra, hogy az emberi eredetű szennyezések egy új, eddig kevésbé ismert típusa, a fogamzásgátló gyógyszerek és azok bomlástermékei terhelést gyakorolhatnak a vízi ökoszisztémára.

**Köszönetnyilvánítás:** A kutatási munkát a 2017-1.2.1-NKP-2017-00002 és az NTP-NFTÖ-18 támogatta.

**Kulcsszavak:** Svigruha Réka, Zrínyi Zita, Fodor István, Kardos Vivien, G-Tóth László, Pirger Zsolt, progesztogén, progeszteron, levonorgestrel, drospirenone, gestoden, *Lymnaea stagnalis*, *Daphnia magna*

\*

## **DON és T-2 mikotoxinok hatása a *Folsomia candida* (Collembola) faj túlélésére, utódprodukcójára és táplálékválasztására**

**Szabó Borbála, Kocsis Ramóna és Mézes Miklós**

Szent István Egyetem, Állattudományi Alapok Intézet, Gödöllő

A mikotoxinokkal fertőzött gabona által okozott humán tünetegyütteseket, a gazdasági állatokban takarmányok által okozott tüneteket és azok mechanizmusait már számos tanulmány vizsgálta.<sup>74</sup> A *Fusarium*-penészekkel fertőzött növényi anyag az aratást követően, a szántás során a talajba kerül, amelynek hatását szabadon élő talajlakó fajokra előtűnk nem vizsgálták. Vizsgálatunk során a DON és T-2 mikotoxinokat termelő *Fusarium graminearum* és *F. sporotrichioides* fajokkal fertőzött kukorica hatását vizsgáltuk *Folsomia candida* talajlakó ugróvilláson, amely részt vesz a szervesanyag-bontásban, a talajmikróbák terjesztésében és azok szabályozásában.<sup>75</sup> Alapvetően gombafogyasztó faj. Vizsgálatunk fő kérdése az volt, hogy a *F. candida* túlélése és szaporodóképessége csökken-e a mikotoxinkezelések hatására? Második kérdésünk az volt, hogy képes-e a *F. candida* elkerülni a toxintermelő *Fusarium*-micéliumból való táplálkozást?

A túlélés és az utódprodukciónak tesztelésére *OECD* 232 teszteket végeztünk a DON és T-2 toxinkeverékekkel. Eltérő mennyiségben fermentált, finomra darált kukoricát kevertünk a talajhoz. A koncentrációk a következők voltak (mg mikotoxin/kg száraz talaj), amelynek alsó határértéke a hatósági határérték (12 mg/kg kukorica) és annak többszöröse volt a DON esetében, illetve a hatósági határérték (0,5 mg/kg kukorica) és annak többszöröse volt a T-2/HT-2 esetében. Vagyis DON: 12 mg/kg, 24 mg/kg, 48 mg/kg, 96 mg/kg és 192 mg/kg; T-2/HT-2 0,5 mg/kg, 1 mg/kg, 2 mg/kg, 4 mg/kg és 8 mg/kg. A teszteket alternatív táplálék (sütőélesztő) hozzáadásával és annak hiányában is elvégeztük. A táplálékkelkerülést a fermentált örlemény<sup>76</sup> és a standard táplálék (sütőélesztő) felkínálásával végeztük egy hétig. A kísérlet során felhasznált kukoricaörlemény fermentáció utáni koncentrációja: 16324 mg DON/kg kukorica, valamint 671 mg T-2 toxin/kg és minimális mennyiségben a T-2 toxin aktív metabolitja, 0,002 mg HT-2 toxin/kg kukorica voltak.

<sup>74</sup> Speijers & Speijers (2004) *Toxicol. Lett.* **153**, 91-98.

<sup>75</sup> Hopkin (1997) *Biology of springtails*. Oxford University Press

<sup>76</sup> Szabó-Fodor et al. (2015): *J. Clin. Toxicol.* **5**, 4 – <http://dx.doi.org/10.4172/2161-0495>

Mindkét mikotoxincsoport esetében a túlélés a koncentráció növekedésével fokozatosan csökkent, amelyet az élesztő hiánya sem változtatott meg. Az utódprodukción mindkét mikotoxincsoport jelenléte jelentősen csökkentette. Az első táplálékválasztási tesztben az állatok táplálékot nem fogyasztottak, így megismételtük a kísérletet, amelyben szintén csak kis mennyiséget fogyasztottak. Ebben az esetben nem volt különbség az élesztő és a mikotoxin-tartalmú kukorica fogyasztása között. Tehát nem csak a toxinszennyezett táplálékot utasították el, hanem az élesztőt sem fogyasztották a toxin hatására.

A micéliumfogyasztó *F. candida* fajra a táplálékkelutasítás ellenére a kültakarón és a ventrális tubuluson keresztül<sup>77</sup> toxikus hatást gyakorolhattak a DON és a T-2 mikotoxinok. Ez a hatás azonban a későbbiekben megszűnt, mert az élesztő javította az állatok utódprodukciónját a teszt során. Eredményünk megegyezik a házityúkban tapasztalt T-2 toxin hatására bekövetkező takarmány visszautasítással,<sup>78</sup> annak mechanizmusa azonban feltehetően eltérő.

**Köszönetnyilvánítás:** Ezt a munkát az NVKP\_16-1-2016-0016 projekt támogatta.

**Kulcsszavak:** Szabó Borbála, Kocsis Ramóna, Mézes Miklós, *Folsomia candida*, mikotoxin, *Fusarium graminearum*, *Fusarium sporotrichioides*, DON, T-2, HT-2, táplálékkelutasítás

\*

## Felszíni vizek mikroműanyag-szennyezése

**Takács Anita,<sup>a</sup> Almeshal Wael<sup>b</sup> és Záray Gyula<sup>a,c</sup>**

<sup>a</sup>MTA Ökológiai Kutatóközpont, Duna-Kutató Intézet; <sup>b</sup>ELTE TTK Környezettudományi Doktori Iskola; <sup>c</sup>ELTE TTK Kémiai Intézet

Napjainkban növekvő számú tudományos közlemény foglalkozik a mikroműanyagok (MP) víztestekben való előfordulásával, mintavételével, elválasztásával és kémiai azonosításával. Már az 1960-as években beszámoltak a madarak emésztőrendszerében fellelt apró műanyagrészekről, majd 1970-ben planktonok mintázása során igazolták azok jelenlétét.

Browne 2007-ben írta le az MP-szennyezők első osztályozási szempontrendszerét.<sup>79</sup> Egyes szerzők a könnyebb megkülönböztetés és besorolás érdekében külön definiálják az elsődleges és másodlagos MP-szennyezőket. Elsődlegesek, azok, melyeket a felhasználási cél érdekében eleve kis méretben állítanak elő különböző gyártástechnológiákkal (pl. kozmetikai ipari termékek), másodlagosak pedig a nagyméretű műanyag hulladékok (pl. PET palackok) UV-degradációja vagy fizikai abrázója révén keletkeznek. Méret szerinti besorolásuk alapján két csoportot különítünk el, az LMP (*large microplastics*): 1–5 mm és a SMP (*small microplastics*): 1 µm – 1 mm.

Komoly kihívást jelent a víztestekből történő megbízható mintavétel és az azt követő analitikai tevékenység. A publikációk többségénél a NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*) *Marine Debris Program*<sup>80</sup> módszertanát

<sup>77</sup> Bruus-Pedersen *et al.* (1997) *Appl. Soil. Ecol.* **6**, 135-146.

<sup>78</sup> Diaz *et al.* (1994) *Br. Poult. Sci.* **35**, 393-405.

<sup>79</sup> Bergmann *et al.* (2015) *Marine Anthropogenic Litter*. Springer Open, **9**, 229-244.

<sup>80</sup> Masura *et al.* (2015) *NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48*, 1-31.

alkalmazzák, amely olyan minta-előkészítési lépéseket tartalmaz, mint az 5 mm-nél kisebb részecskék nedves szitálás útján történő elválasztása, majd ezen szemcseméret-frakció szárazanyag-tartalmának meghatározása, ezt követi nedves peroxidos feltárás (WPO), amely a részecskéket borító biofilmek és planktonok eltávolítását biztosítja, és végül a sűrűség szerinti elválasztás (pl. NaCl, NaI, ZnCl<sub>2</sub> tömény oldataival vagy enzimek segítségével). A minőségi analízishez, azaz a műanyag szemcsék azonosításához<sup>81</sup> több műszeres analitikai eljárás alkalmazható, például Raman-<sup>82</sup> vagy ATR-FT-IR spektroszkópia, Py-GC/MS, TDS-GC/MS, SEM/EDAX. Az európai folyók felületi rétegében (10-20 cm) végzett vizsgálatok adatai szerint a Rajnában 15-20, a Duna ausztriai szakaszán átlagosan 0,9 és a Tiszában 10-20 részecske/m<sup>3</sup> koncentrációt mértek.<sup>83</sup>

Az első feltáró jellegű és az elsődleges MP-szennyezők vizsgálatát célzó vizsgálatainkhoz Horiba LabRAM HR Raman-spektrométert és optikai mikroszkópot alkalmaztunk; ennek során például bőrradírokból 400-500 µm átmérőjű LDPE-t (nagy sűrűségű polietilén) és egy a kozmetikai iparban igen kedvelt pigmenttípust, ólom(II)-ftalocianint azonosítottunk. Terveink szerint követni szeretnénk az elsődleges MP-részecskék sorsát a szennyvíztisztítási technológia egyes fokozataiban, a befogadó felszíni vizek folyadékfázisában és az üledékekben, valamint a bióta vonatkozásában.

**Kulcsszavak:** Takács Anita, Wael Almeshal, Záray Gyula, mikroműanyag, MP, NOAA, Horiba, LDPE, ólom(II)-ftalocianin

\*

## **A glyphosate gyomirtószer-hatóanyag, mint expozíciós marker földigiliszta-toxicitási vizsgálatokban**

**Takács Eszter,<sup>a</sup> Klátyik Szandra,<sup>a</sup> Mörtl Mária,<sup>a</sup> Maureen Weber,<sup>b</sup>  
Michael Maderthaler,<sup>b</sup> Edith Gruber,<sup>b</sup> Johann G. Zaller<sup>b</sup> és Székács András<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>NAIK Agrár-környezettudományi Kutatóintézet, Budapest; <sup>b</sup>University of Natural Resources and Life Sciences Vienna Institute of Zoology, Bécs

A glyphosate-tartalmú növényvédőszer-készítményekben az alkalmazott hatóanyag különböző sók formájában fordul elő, mely vegyületek vízdoldhatósági tulajdonságaikban eltérést mutatnak. Minél nagyobb az adott vegyület oldhatósága vízben, annál gyorsabban jut a talaj mélyebb rétegeibe, illetve jut el a természetes felszíni vizekbe. Ebből következik, hogy ökotoxikológiai szempontból is eltérő toxicitási profilt mutathatnak adott tesztszervezet esetében. A mezőgazdasági gyakorlatban alkalmazott növényvédő szerek a hatóanyag mellett különböző adalékanyagokat is tartalmaznak, melyek önálló és a hatóanyaggal kombinált

<sup>81</sup> Hidalgo-Ruz et al. (2012) *Environ. Sci. Technol.* **46**, 3060-3075.

<sup>82</sup> Käppler et al. (2016) *Anal. Bioanal. Chem.* **408**, 8377-8391.

<sup>83</sup> Parányi Plasztik Talány, Wessling Hungary Kft. (<https://mikromuanyag.hu>)

toxikus hatásait a magyar kutatóintézet vízi közösségek fajain, az osztrák kutatóintézet talajlakó szervezeteken vizsgálta korábban.<sup>84,85,86,87,88</sup>

Környezetanalitikai vizsgálatainkban a jól alkalmazható analitikai eszköznek bizonyult az immunanalitika eljárás *glyphosate* hatóanyag környezeti mátrixokból (talaj, felszíni víz, talajvíz) való kimutatására (a kifejlesztett módszer paraméterei:  $IC_{50}$ :  $0,66 \pm 0,16$  ng/ml, a szigmoid meredeksége az  $IC_{50}$  pontban:  $1,52 \pm 0,76$  ng/ml, kimutatási határ:  $0,05$  ng/ml),<sup>89</sup> egyebek között a Duna monitorozásában növényvédőszer-hatóanyagok tekintetében, illetve a hatóanyag különböző vizes közegekben történő lebomlásának nyomon követésében.

A hazai felszíni vizekben a *glyphosate*-szennyezettséget  $0,54$ - $0,98$   $\mu\text{g/l}$  mértékűnek találtuk. A vizsgálati eredmények alapján a *glyphosate* környezeti sorsát felszíni vizekben befolyásolja a víz mikrobiológiai összetétele, a készítményben (pl. Roundup Classic) alkalmazott adalékanyagok, illetve a természetesen képződő biofilmek jelenléte. Vizsgálatainkban a Roundup Classic toxikus hatása 18-45-ször erősebbnek bizonyult *Daphnia magna* tesztszervezeten (az OECD 202 szabvány alapján) a hatóanyagénál ( $360$   $\mu\text{g/ml}$ ). Az osztrák Zoológiai Intézet *Lumbricus terrestris* és *Aporrectodea caliginosa* földigilisztafajokon vizsgálta a Roundup Alphée és a Roundup Speed gyomirtó szerek hatását a tesztszervezetek túlélésére, aktivitására és szaporodási paramétereire vonatkozóan. A két vizsgált faj érzékenysége a vizsgált készítményekkel szemben eltérő volt. A növényvédőszer-kezelést követő 4. hétben a túlélő egyedek száma *L. terrestris* esetében  $93 \pm 7\%$  és  $87 \pm 10\%$  volt, míg *A. caliginosa* esetében mortalitást nem tapasztaltunk, mely oka az életmódbeli különbséggel magyarázható. A szervezetek aktivitását mérő felszíni üledékszám *L. terrestris* esetében 46%-ra csökkent a kísérlet végére, míg a másik faj ezen paraméterét a kezelés nem befolyásolta. A vizsgált szaporodási paramétert, vagyis a lerakott kokonok számát azonban mindkét faj esetében szignifikánsan csökkentette a gyomirtószer-kezelés. Kutatási együttműködésünkben a *glyphosate* hatóanyagot biológiai markerként nyomon követjük a földigiliszta-toxicitási tesztek során.

**Köszönetnyilvánítás:** A munkát az OMAA 970u3 és az NVKP\_16-1-2016-0049 projektek támogatták.

**Kulcsszavak:** Takács Eszter, Mörtl Mária, Maureen Weber, Michael Maderthamer, Edith Gruber, Johann G. Zaller, Székács András, *glyphosate*, *Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea caliginosa*, Roundup, felszíni víz



<sup>84</sup> Zaller *et al.* (2014) *Scientific Reports* **4**, Article ID: 5634

<sup>85</sup> Gaupp-Berghausen *et al.* (2015) *Scientific Reports* **5**, Article ID: 12886

<sup>86</sup> Klátyik *et al.* (2017) *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **97**, 901-921.

<sup>87</sup> Takács *et al.* (2017) *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **97**, 885-900.

<sup>88</sup> Mörtl *et al.* (2019) *Sci. Total Environ.* **652**, 780-787.

<sup>89</sup> Mörtl *et al.* (2013) *Microchem J.* **107**, 143-151.

## Fűzfajok fitoextrakciós potenciáljának vizsgálata

Tózsér Dávid,<sup>a</sup> Magura Tibor,<sup>a</sup> Simon Edina<sup>a</sup> és Tóthmérész Béla<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Debreceni Egyetem, Ökológiai Tanszék, Debrecen; <sup>b</sup>MTA-DE Biodiverzitás Kutatócsoport, Debrecen

A környezetünkbe jutó fémek koncentrációjának csökkentésére jó lehetőséget nyújt a fitoremediáció, azaz a szennyezett közeg környezeti kockázatának növények által történő mérséklése.<sup>90</sup> A folyamat sikere érdekében olyan növényfajok telepítését célszerű előnyben részesíteni, melyekre jellemző a gyors növekedés, nagy biomasszahozam, nagyfokú fémtolerancia, illetve a fémek föld feletti növényi szervekbe irányuló intenzív transzlokációja.<sup>91</sup> A fenti feltételeknek számos fűzfaj eleget tesz.<sup>92</sup>

Munkánk során kilenc fűzfaj fitoextrakciós potenciáljának metaanalízises vizsgálata alapján értékeltük a fűzfajok remediációs célú alkalmazhatóságát. Elsőként arra kerestük a választ, van-e, s ha igen, milyen mértékű különbség van a szennyezetlen és fémekkel szennyezett talajokon nevelt fűzfajok egyedeinek (az egyes tanulmányok növényi szervekre vonatkozó nevezéktanát átvéve) gyökér, szár, ág és levél szerveiben mért fémkoncentrációja között. Megvizsgáltuk, hogy a kadmium (Cd) az ólom (Pb) és a cink (Zn) felvételét hogyan befolyásolja a talaj kémhatása és a fémek közötti interakciók jellege. Emellett tanulmányoztuk az expozíciós idő hatását a növényekben történő akkumuláció mértékére.

További kutatásként fémekkel szennyezett terület három eltérő szennyezettségű részén tenyésztő kosárfonó fűz (*Salix viminalis*) egyedeinek egészségi állapotát,<sup>93</sup> illetve a gyökérben és levélben akkumulálódott elemek (alumínium (Al), bárium (Ba), Cd, króm (Cr), réz (Cu), vas (Fe), mangán (Mn), nikkél (Ni), Pb, stroncium (Sr) és Zn) koncentrációját vizsgáltuk. Értékeltük, van-e korreláció a talajbéli elemkoncentrációk és a növények állapota között. Ezen felül megvizsgáltuk a gyökerek és levelek elemakkumulációs képességét (*BCF*), illetve a növényi szervek közötti transzlokáció (*TF*) mértékét.

A metaanalízis során a már publikált közleményekből 527 publikációt, illetve azok irodalomjegyzékét tanulmányoztuk át, melyekből 194 db összehasonlítás állt rendelkezésünkre. Megállapítottuk, hogy a szennyezett talajokon található fűzek szervei a Cd, Pb és Zn fémeket szignifikánsan nagyobb koncentrációban akkumulálták, mint a szennyezetlen területek egyedei. A talaj pH-értéke szignifikáns negatív korrelációt mutatott a szár Cd-koncentrációjával. A fémek akkumulációja közötti összefüggést vizsgálva szignifikáns pozitív korrelációt találtunk a Cd és Zn szárban történő akkumulációja között. Megfigyeltük, hogy a Cd ágakban és levelekben, illetve a Zn ágakban mérhető koncentrációja az expozíciós idő hosszával növekszik, egészen a kísérlet 36. hónapjáig. Mindezek alapján a fűzfajok fémakkumulációját általánosan hatékonyak tartjuk.

A kosárfonó fűz vizsgálatakor megállapítottuk, hogy átlagos kondíciójuk a szennyezett terület mindhárom részén elfogadható volt. Megfigyeltük, hogy a

<sup>90</sup> Courchesne *et al.* (2017) *Int J Phytoremediat.* **19**, 632-642.

<sup>91</sup> Dos Santos Utmazian & Wenzel (2007) *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **170**, 265-270.

<sup>92</sup> Yang *et al.* (2014) *J. Zhejiang Univ. -Sci. B.* **15**, 788-800.

<sup>93</sup> Webster (1978) *J. Arboric.* **4**, 247-249.

növények egészségi állapota a talajszennyezettség mértékének növekedésével romlott. A gyökerekben a Cd, Cu, Pb és Zn, míg a levelekben a Cd, Sr és Zn esetében figyeltünk meg nagy (>1) *BCF*-értékeket. A gyökerekből levelekbe történő transzlokáció a Mn, Cd, Sr és Zn esetében volt igen intenzív. Eredményeink alapján a faj fitoextrakciós alkalmazását javasoljuk.

**Köszönetnyilvánítás:** A munkát a TÁMOP 4.2.1./B-09/1/KONV-2010-0024, SROP4.2.2.B15/1/KONV20150001 és OTKA K 116639 pályázatok támogatták.

**Kulcsszavak:** Tözsér Dávid, Magura Tibor, Simon Edina, Tóthmérész Béla, *Salix viminalis*, bioakkumuláció, fitoremediáció, metaanalízis, talajszennyezés, nehézfém

\*

## A műanyagok hormonmoduláns összetevői

**Varga Csaba és Darvas Béla**

Magyar Ökotoxikológiai Társaság

A műanyagok igen sokfélék lehetnek. A polimer-alapanyag szerint nevezik el ezeket, viszont a segédanyagokat, katalizátorokat, színezékeket és lágyítókat nem tüntetik fel a terméken. A hét leggyakoribb műanyagnál háromszög alakú mezőben számokat találunk: 1. *PET* (polietilén-tereftalát); 2. *HDPE* (nagy sűrűségű polietilén); 3. *PVC* (polivinil-klorid, benne biszfenol-A-val (*BpA*) és ftalátokkal); 4. *LDPE* (alacsony sűrűségű polietilén); 5. *PP* (polipropilén); 6. *PS* (polisztirol); 7. egyéb műanyagok, köztük a *PC* (polikarbonát). A *BpA* műgyantákban is előfordul, így nem csoda, hogy az egyik legnagyobb mennyiségben gyártott szintetikus molekula (kapacitás: 4-8 millió tonna/év).

A műanyagokat bevonatok, szintetikus rostok és további ipari célú felhasználás jellemzi. Textilipari felhasználású a nylon (poliamid), akril (poliakrilonitril), elasztán (poliuretán) és poliészter. Égéscsillapító impregnálóként használják a perfluor-szénhidrogén-származékokat (*PFC*) (pl. perfluor-oktán-szulfonát, *PFOS*), edények tapadáscsökkentő bevonatához a politetrafluor-etilént (*PTFE*, teflon), és számos égésslátó is említhető. A katalizátorok között találjuk az antimont, mely kioldódik a *PET*-palackokból. A műanyagokat granulátumokból készítik, és az ebben alkalmazott, speciális tulajdonságokat biztosító – esetenként hormonmoduláns hatású – segédanyagokat üzleti titokként kezelik. Mindez árnyalja az újrahasznosítás kérdéskörét, mert a korábbi szennyeződéseiket magukkal viszik az új termékekbe. Ráadásul a vékony műanyagfóliákat az összetapadás ellen további anyagokkal kezelik. A műanyagok – apoláris lévén – felszínükön szennyeződések kötnek meg.

Napjainkban a műanyagok élő vizekbe kerülése, aprózódása (mikroműanyagok) igen sok kutató és döntéshozó fantáziáját megmozgatta. Összetettsége miatt keveset hallunk a gyártási segédanyagok többször hormonális hatással járó (ftalátok, *BpA*, antimon stb.) kioldódásáról és ökoszisztémában okozott problémáiról.<sup>94</sup> A tengerekben a poliklórozott bifenilek (*PCB*), a polibrominált-difenil-éterek (*PBDE*), a klórozott szénhidrogének (pl. *DDT*), a higany- és ólomsók

<sup>94</sup> Darvas et al. (2006) In. Darvas és Székács szerk. *Mezőgazdasági ökotoxikológia*. l'Harmattan.

a műanyagok felszínén és a biomagnifikáció jelensége miatt a táplálékláncokban akár százezerszeres mértékben is feldúsulhatnak.<sup>95</sup>

A hormonmoduláns hatású vegyületek megjelenése a környezetünkben drámai hatásként jelentkezik kétélűen és halakon. A genetikailag hímnek születő egyedek hermafrodita fejlődését válthatják ki (pl. *atrazine* gyomirtó).<sup>96</sup> Az ivarszervi deformációk és a csökkent spermaszám miatt utódnemzés-képtelenséggel járnak. E hatás napjainkban emberekről is ismert.<sup>97</sup> A policisztáspetefészek-szindróma, az endometriózis az *ipari forradalom* óta gyakori betegséggé vált, csakúgy, mint a nőgyógyászati és a férfi nemi szerveket érintő daganatok, számos neurológiai betegség, melyek sokszor ivari különbséget mutatnak (pl. autizmus, hiperaktivitás – *ADHD*, Parkinson- és Alzheimer-kór). Több modernizációs betegséghez is hozzájárulnak, mint a cukorbetegség, a nem alkoholos zsírmáj, az allergia és az asztma. A nemi hormonrendszert károsító anyagok közvetlenül és/vagy egyéb betegségeken keresztül közvetve csökkentik a teherbeesés esélyét, és hozzájárulnak a férfiak oligospermijához, ami a férfimeddség gyakori oka.<sup>98</sup>

**Kulcsszavak:** Varga Csaba, Darvas Béla, műanyagok, mikroműanyagok, *BpA*, *PFC*, *PFOS*, *PFCE*, *PET*, *PS*, *HDPE*, *LDPE*, *PP*, antimon, *atrazine*

\*

## A neonikotinoid hatóanyagú rovarölő szerek módosítják az *MXR* celluláris védekező rendszer aktivitását *Dreissena bugensis* izolált kopoltyújában

Vehovszky Ágnes,<sup>a</sup> Farkas Anna,<sup>a</sup> Csikós Vivien,<sup>a,c</sup> Székács András,<sup>b</sup>  
Mörtl Mária<sup>b</sup> és Győri János<sup>a</sup>

<sup>a</sup>MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, Tihany; <sup>b</sup>NAIK Agrár-környezettudományi Kutatóintézet, Budapest; <sup>c</sup>Eötvös Loránd Tudományegyetem, Élettani és Neurobiológiai Tanszék, Budapest

Helyhez kötött és egyúttal filtráló életmódjuk révén a kagylók alkalmas gerinctelen modellszervezetek toxikus vizsgálatok során a környezeti terhelés detektálására és monitorozására. A Balatonban is általánosan elterjedt vándor- és kvaggakagylók (*Dreissena* sp.) szervezetében – más vízi élőlényekhez hasonlóan –, az intracellulárisan felhalmozódó toxikus hatóanyagok (xenobiotikumok) eltávolításában résztvevő celluláris védekező mechanizmus (*MXR*, *MultiXenobiotic Resistance*) jelentős szerepet tölthet be. E rendszer funkcionálisan hasonló a gerinces sejtvonalakon *MDR* (*MultiDrug Resistance*) néven ismert sejtszintű detoxikáló mechanizmushoz, mely a sejtbe jutott és potenciálisan toxikus molekulákat egy transzportproteinek által vezérelt *efflux*pumpa segítségével juttatja vissza az extracelluláris térbe.

Bemutatott vizsgálatainkat kereskedelembe kapható neonikotinoid rovarölő szerekkel (*Actara SC* – *thiamethoxam*, *Apacs 50 WG* – *chlothianidin*, *Calypso 48*

<sup>95</sup> Darvas (2000) *Virágot Oikosnak*. l'Harmattan, Budapest (<http://mek.oszk.hu/09800/09886/>)

<sup>96</sup> Hayes et al. (2010) *PNAS* **107** (10), 4612-4617.

<sup>97</sup> Skakkebaek et al. (2016) *Physiol Rev.* **96** (1), 55-97.

<sup>98</sup> Vargas (2017) *Változó nemiség és kémiai evolúció*. Budapest.

SC – *thiacloprid*, Kohinor 200 SL – *imidacloprid*) végeztük. Az izolált *Dreissena bugensis* kopoltyúszövet *MXR* aktivitását modellszubsztrát, rodamin B szöveti akkumulációjának mérésével teszteltük, referenciaként az *MXR*-blokkoló *verapamil*-t alkalmazva. *In vitro* kísérletben, akut expozíció során az izolált kopoltyúkat rodamin és (1-250  $\mu\text{M}$ ) hatóanyagot tartalmazó rovarölő szer oldatával egyidőben inkubáltuk, mely a Calypso 48 SC- és Kohinor 200 SL-kezelt szövetek megnövekedett (max. 350%) rodaminakkumulációját eredményezte.

A rovarölő szerekkel *in vitro* inkubált kopoltyúszövetekből kémiai analízissel kimutattuk az aktív neonikotinoid hatóanyagok jelenlétét, valamint Actara SC, Apacs 50 WG és Calypso 48 SC szeres kezelés során a neonikotinoidok fokozott akkumulációját *verapamil* jelenlétében. Eredményeink alapján a *thiamethoxam*, *chlothianidin* és a *thiacloprid* az *MXR*-rendszer szubsztrátjaként tekinthetőek, míg Kohinor 200 SL-kezelés az *MXR*-mechanizmus közvetlen, dózisfüggő gátlását eredményezi.

*In vivo* kísérletben, intakt állatok alacsonyabb (1-20  $\mu\text{M}$ ) koncentrációkkal történő krónikus kezelése során a kopoltyúk rodamin tartalmának csökkenését és a *verapamil* gátló hatásának fokozatos növekedését figyeltük meg, mely Actara SC, Apacs 50 WG és Kohinor 200 SL esetén a kezelés 12-14. napjára szignifikáns szinteket ért el. A változások arra utalnak, hogy az alkalmazott rovarölő szerek jelenléte az *MXR*-aktiváció növekedését, vagyis ún. kemostimulátor hatást fejtett ki.

Bemutatott eredményeink szerint a neonikotinoid-tartalmú rovarölő szerek (melyeket elsősorban rovarok idegrendszerében ható rovarölő szerként alkalmaznak) nem célszervezetben (itt édesvízi puhatestűben) más, szisztematikus változásokat is előidézhetnek. Az *MXR*-rendszer hatékonyságának módosulása pedig befolyással lehet a környezetben egyidejűleg megjelenő egyéb bioaktív xenobiotikumok toxikusságára is.

*Köszönetnyilvánítás:* Kutatásainkat az OTKA K-112712 pályázat támogatta.

*Kulcsszavak:* Vehovszky Ágnes, Farkas Anna, Csikós Vivien, Székács András, Mörzl Mária, Győri János, neonikotinoid, *thiamethoxam*, *chlothianidin*, *thiacloprid*, *imidacloprid*, *Dreissena bugensis*, xenobiotikum, *MXR*

\*

## **Bordóilé NEO SC hatásai a földi poszméh (*Bombus terrestris*) mortalitására és táplálékválasztására**

**Zsemberi Orsolya, Szabó Borbála és Sárospataki Miklós**

Szent István Egyetem MKK Állattani és Állatökológiai Tanszék, Gödöllő

A poszméhek (*Bombus* sp.) növénybeporzásuk által kiemelkedő gazdasági jelentőséggel bírnak. Ökoszisztéma-szolgáltató szerepük jóval jelentősebb háziméh (*Apis mellifera*) társuknál. Növényvédőszer-kockázatbecsléseket háziméhekre rutinszerűen végeznek. A háziméhekre kapott eredmények azonban nem feltétlenül vonatkoztathatók poszméhekre is.

A tribázikus réz-szulfát hatóanyagú Bordóilé NEO SC készítmény széles körben elterjedt baktérium- és gombaölő szer. Ökológiai gazdálkodásban is engedélyezett, bár erősen kritizált készítmény, valamint méhveszélyességet illetően

nem jelölésköteles, vagyis virágzó növényállományban vagy méhek közelében alkalmazható.

Célunk a Bordóilé NEO SC akut és krónikus orális toxicitásának meghatározása földi poszméh (*Bombus terrestris*) modellszervezeten, a repellens hatás mértékének megvizsgálása, valamint a mérgezés hatására esetlegesen bekövetkező rendellenes viselkedésformák megfigyelése. Az akut orális toxicitási teszt kísérleti tervének kidolgozásához az *OECD 247*, a krónikus orális toxicitási teszthez pedig az *OECD 245* tesztmetodika szolgált alapul. A kísérletbe vont dolgozó földi poszméhimágókat a teszt ideje alatt egyesével elkülönítve tartottuk, az etetésük egyedileg történt. A Bordóilé NEO SC mértani hígítási sorozatát öt koncentrációban állítottuk be 50%-os (m/v) cukoroldatban elegyítve. A koncentrációk a következők voltak: akut orális tesztnél 0,25 g/l, 1 g/l, 4 g/l, 16 g/l és 64 g/l; krónikus orális tesztnél 0,049 g/l, 0,148 g/l, 0,44 g/l, 1,33 g/l és 4 g/l. Akut orális vizsgálatok során a 3 óra éheztetést egy 4-órás expozíció követte, majd a megfigyelés időszakára (48 óra) az egyedek kezeletlen cukoroldatot fogyasztottak (*ad libitum*). Krónikus orális tesztek során 10 napon keresztül folyamatos volt a Bordóilé NEO SC expozíciója, vagyis a földi poszméhek szükséglet szerint fogyasztották a kezelt cukoroldatot. Táplálékválasztási tesztben a földi poszméhek kezelt és kezeletlen cukoroldatot tartalmazó etetőt egyaránt tartalmazó edényekbe helyeztük. A mért fogyási értékekből vissza lehetett követni a preferenciájukat. A kezelések koncentrációi megegyeztek az akut orális toxicitási teszt során alkalmazott hígításokkal.

A túlélők száma mindkét teszt során szignifikánsan csökkent a koncentráció növekedésével. A Bordóilé NEO SC kijuttatási koncentrációja (1,05-1,4 g/l) akut vizsgálatoknál az expozíciót követő 48. órában elérte az  $LC_{50}$ -értéket, krónikus toxicitása a 10. napon szintén jelentősnek bizonyult. Akut tesztek során 1 g/l, krónikus esetben 0,44 g/l koncentrációnál kezdtek jelentkezni a mérgezés okozta megváltozott viselkedésformák, a mozgáskoordináció zavara, és a passzivitás. Táplálékválasztás során a földi poszméh nem tudott különbséget tenni a tiszta és a kijuttatási koncentrációval kezelt cukoroldat között. A réz repellens hatása jóval az alkalmazott koncentrációk fölött jelentkezett.

Vizsgálataink bizonyították, hogy a Bordóilé NEO SC elfogyasztva toxikus hatást gyakorolt a földi poszméhre. A Bordóilé NEO SC előírt hígításban kijuttatott koncentrációja nem hatott riasztóan a földi poszméhekre, ezért nem valószínű, hogy a réz repellens hatása érvényesülni tud a permetezett növényeken. Mivel a földi poszméhek természetvédelmi és gazdasági jelentősége is nagy, így nagyobb hangsúlyt kell fektetni a rájuk vonatkozó ökotoxikológiai vizsgálatokra.

**Köszönetnyilvánítás:** A munkát az ÚNKP-18-2 és a Tölgy Természetvédelmi Egyesület támogatta.

**Kulcsszavak:** Zsemberi Orsolya, Szabó Borbála, Sárospataki Miklós, *Bombus terrestris*, Bordóilé NEO SC, tribázikus réz-szulfát, táplálékválasztás



## Index

- A**
- Abax parallelepipedus* 29  
 Abonyi Tamás 27  
*acetamiprid* 15  
 Ács András 14  
 aflatoxin 14, 18  
 Ajtay Kitti 19  
 algaszaporodás-gátlás 10  
*Aliivibrio fischeri* 31  
 Antal László 27  
 antimon 41  
*Aporrectodea caliginosa* 38  
 APTI 22  
*Armadillidium vulgare* 29  
*Aspergillus versicolor* 18  
 aszimmetria 13  
*atrazine* 41
- B**
- Balaton 20, 31  
 Balázs Adrienn 31  
 Balogh Erna 5  
 Balogh Krisztián 18  
 Baranyai Edina 27  
 Barócsi Attila 10  
 Baska Ferenc 11, 33  
 békalenese-teszt 28  
 bioakkumuláció 40  
 biodegradáció 18  
 bioindikátor 29  
 BLYAS 31  
 Bock Illés 5  
*Bombus terrestris* 43  
 Bordóilé NEO SC 43  
*BpA* 41  
 Büki Gergely 9
- C**
- Carabidae 29  
*Carabus scheidleri* 29  
*Carabus violaceus* 29  
*carbamazepine* 20  
 CASA 17  
*Celtis occidentalis* 22  
*chlothianidin* 42  
 cilindrospermopszin 19  
*Cirsium arvense* 25  
*clothianidin* 25
- Comamonas aquatica* 31  
*Comamonas thiooxydans* 31  
 CRISPR/Cas9 6, 7  
 cukorcirok 32  
*Cyprinus carpio* 17  
 Czimmerer Zsolt 14  
 csávázás 25  
 Cséffán Tamás 11  
 Csenki-Bakos Katalin 5  
 Csenki-Bakos Zsolt 5, 14, 17  
 Csikós Vivien 42  
 Csorbai Balázs 17
- D**
- Danio rerio* 5, 11, 14, 17, 33  
*Daphnia magna* 15, 35  
 Darvas Béla 6, 7, 11, 25, 33, 41  
 Dévai György 13  
 Dobolyi Csaba 18  
 DON 36  
*Dreissena bugensis* 42  
*drospirenone* 9, 35
- E**
- Edith Gruber 38  
 egészségügyi határérték 27  
 érrendszer 5  
 etinil-ösztradiol 11
- F**
- Farkas Anna 42  
 Farkas Milán 31  
 felszíni víz 38  
 fémszennyezés 27  
 fitoremediáció 23, 32, 40  
 Fodor István 9, 20, 35  
*Folsomia candida* 36  
*Fusarium graminearum* 36  
*Fusarium sporotrichioides* 36
- G**
- Gazsi Gyöngyi 14  
 Gémes Borbála 10  
 génexpresszió 5  
 genomszerkesztés 6, 7  
 GEO 6, 7  
*gestoden* 9, 35  
 glutation 18

glutation-peroxidáz	18
<i>glyphosate</i>	6, 11, 33, 38
<i>GMO</i>	6, 7
<i>GnRH</i>	9
<i>GSO</i>	6, 7
G-Tóth László	35
guttáció	25
gyökérhossz	32
Győri János	25, 42
Gyurcsó Gergő	11, 33

**H**

Háhn Judit	31
Harangi Sándor	27
Harkai Péter	31
<i>HDPE</i>	41
Hepp Anna	28
Horiba	37
hormonmoduláns	11
Horváth Ákos	17
HT-2	36

**I**

idegrendszer	5
Illár Máté	13
<i>imidacloprid</i>	42
Inotai Katalin	18
Isopoda	29
Ivánovics Bence	14
ivararány	11
izom	27

**J**

Jámbrik Katalin	19
Jenei Nándor	19
Johann G. Zaller	38

**K**

kadmium	24
Karászi Alíz	19
Kardos Levente	23
Kardos Vivien	35
Kása Eszter	17
Kaszab Edit	31
Kiss Izabella	28
Klátyik Szandra	10, 15
klorofill	22
klorofill fluoreszcencia	28
klorofill-a	10

Kocsányi László	10
Kocsis Ramóna	36
Kocsubé Sándor	18
Kollár Tímea	17
kopolyú	27
Kosztik Judit	18
Kriszt Balázs	31
Kukolya József	18
Kuzma Mónika	20

**L**

<i>lamotrigene</i>	20
<i>LAS</i>	15
Lázár Diána	10
<i>LDPE</i>	37, 41
légszennyezettség	22
Lenk Sándor	10
<i>Lestes barbatus</i>	13
<i>levonorgestrel</i>	9, 35
lineáris alkil-benzol-szulfonát	15
<i>Lolium perenne</i>	24
<i>Lumbricus terrestris</i>	38
<i>Lymnaea stagnalis</i>	9, 35

**M**

Maász Gábor	20
Magura Tibor	32, 40
máj	5, 27
Máthé Csaba	19
Matkó János	33
Maureen Weber	38
Mayer Mátyás	20
Mészáros Ilona	28
metaanalízis	40
metil-tesztoszteron	11
Mézes Miklós	36
M-Hamvas Márta	19
Michael Maderthaner	38
mikotoxin	36
mikrocisztin-LR	19
mikroműanyag	37, 41
Miskolczi Margit	13
Mizser Szabolcs	29
Molnár Éva	20
Molnár Vanda Éva	22
Mónok Dávid	23, 24
Mörthl Mária	11, 15, 25, 38, 42
<i>MP</i>	37
műanyag	41
<i>MXR</i>	42

**N**

Nagy Leila	29
Nagy Sándor Alex	27
nehézfém	17, 23, 27, 28, 29, 32, 40
neonikotinoid	15, 25, 42
<i>neutropenia</i>	33
NOAA	37
nukleáz	19
Nyeste Krisztián	27

**O**

ODM	6, 7
Oláh Viktor	28
ólom	24
ólom(II)-ftalocianin	37
Orlóci László	32

**P**

<i>Papaver rhoeas</i>	25
Papp Dalma	29
Pasaréti Gyula	11
peroxidáz	19
PET	41
PFC	41
PFCE	41
PFOS	41
Pirger Zsolt	9, 20, 35
POEA	11, 33
PP	41
progeszteron	35
progesztogén	9, 35
proteáz	19
PS	41
<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	10
<i>Pterostichus oblongopunctatus</i>	29

**R**

Radó Júlia	31
Reining Márta	14
Risa Anita	18, 31
RNSi	7
Roundup	38
Roundup Classic	11
Rózsa János	27
RT-PCR	5, 9

**S**

<i>Salix viminalis</i>	40
------------------------	----

Sárkány Dorottya	18
Sárospataki Miklós	43
SFC-MS/MS	20
Simon Edina	13, 22, 27, 29, 32, 40
Simon László	11, 33
Simon László (NyE)	32
<i>Sinapis alba</i>	19
Somogyi Dóra	27
<i>Sorghum</i>	32
SOS-Chromoteszt	18
sótartalom	13
SPE	20
sperma	17
<i>Spirodela polyrhiza</i>	28
Strbik Dorina	24
stressz	29
Svigruha Réka	9, 35
szabadalom	7
Szabó Borbála	36, 43
Szabó Szilárd	22
szárnybélvegek	13
Szecskó Dorina	28
Székács András	7, 10, 11, 15, 25, 33, 38, 42
Szekeres András	18
Szikora Bence	33
szinergizmus	15
szitakötő	13
Szoboszlai Sándor	31
szterigmatocisztin	18
szudánifű	32

**T**

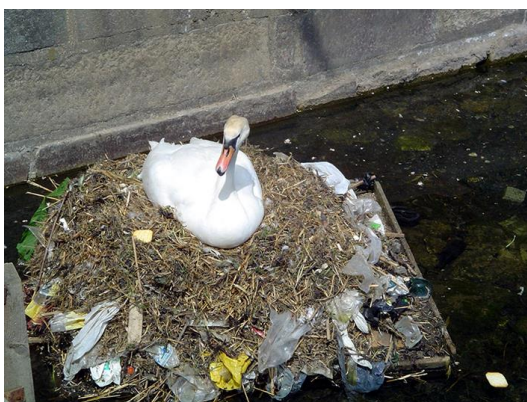
T-2	36
<i>Tagetes erecta</i>	23
Takács Anita	37
Takács Eszter	10, 15, 33, 38
Takács Péter	20
talajszennyezés	40
TALEN	7
táplálékfelvétel	36
táplálékválasztás	43
testméretek	13
<i>thiacloprid</i>	42
<i>thiamethoxam</i>	25, 42
<i>Tilia × europaea</i>	22
<i>Tilia cordata</i>	22
<i>Tilia platyphyllos</i>	22
Tóth Beáta	18
Tóth Csilla Noémi	27

Tóth Gergő	31	vezetőképesség	13
Tóthmérész Béla	22, 29, 40	Vidács Ildikó	18
tönkölybúza	32	Vidic Andreas	29
Tózsér Dávid	32, 40	vízminőség	20
tribázikus réz-szulfát	43	Wael Almeshal	37
<i>Triticum</i>	32		
<b>U</b>			
Urbán Péter	9	<b>X</b>	
urbanizáció	29	xenobiotikum	42
Urbányi Béla	5, 14, 17		
<b>V</b>			
Varga Csaba	41	<b>Z</b>	
Vasas Gábor	19	Záray Gyula	37
Vehovszky Ágnes	25, 42	Zrínyi Zita	9, 20, 35
vese	5	Zsemberi Orsolya	43

Abs. VIII. Ökotoxikológiai Konferencia, 2018  
Magyar Ökotoxikológiai Társaság, Budapest  
ISBN 978-963-89452-9-7



Az albatrosz tévedései (Fotó: [Chris Jordan](#))



A hattyú fészke (Fotó: [Lina D](#))