



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**CRY1- ÉS CRY3-TOXINT TARTALMAZÓ GM-KUKORICÁK NEM  
CÉLZOTT HATÁSAINAK VIZSGÁLATA**

DOKTORI (*PhD*) ÉRTEKEZÉS

**GYURCSÓ GERGŐ**

Gödöllő

2026

## A doktori iskola

**Megnevezése:** MATE Természettudományi Doktori Iskola

**Tudományága:** Környezettudományok

**Vezetője:** Csákiné Dr. Michéli Erika  
intézetvezető, egyetemi tanár, az MTA doktora  
(*DSc*), az MTA rendes tagja  
MATE, Szent István Campus  
Környezettudományi Intézet  
Talajtani Tanszék

**Témavezető:** Dr. Darvas Béla  
elnök, c. egyetemi tanár  
az MTA doktora (*DSc*)  
Magyar Ökotoxikológiai Társaság

**Társtémavezető:** Dr. Sárospataki Miklós  
tanszékvezető, egyetemi docens (*CSc*)  
MATE, Szent István Campus  
Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet  
Állattani és Ökológiai Tanszék

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezetők jóváhagyása

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ANYAG ÉS MÓDSZER .....</b>	<b>5</b>
<b>3. EREDMÉNYEK.....</b>	<b>6</b>
<b>4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....</b>	<b>11</b>
<b>5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK .....</b>	<b>13</b>
<b>6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK.....</b>	<b>17</b>

## 1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

A *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) toxintermelő kukoricák közül a *MON810* esemény Cry1Ab fehérjét termel, amely elsősorban a lepkék rendjébe (Lepidoptera) tartozó célkártévők ellen hatékony. A Pannon biogeográfiai régióban a kukoricatermesztés mozaikos tájszerkezetben, változatos táblaszegélyekkel és gyomközösségekkel valósul meg. A táblán belüli gyomflóra és a tábla menti védősávok növényzete döntően alakítja, hogy a hernyók számára milyen tápnövények állnak rendelkezésre a kukorica közelében. A csalánfélék (*Urtica* spp.) által dominált foltok különösen fontosak, mert több, csalánhoz kötődő lepkefaj lárvái itt fejlődnek, ilyen a nappali pávaszem (*Inachis io*) is. Magyarországon a 1996. évi LIII. törvény a természet védelméről rögzíti, hogy nagyszámú lepkefaj áll oltalom alatt (több száz védett, valamint több tucat fokozottan védett faj), így a kitettség és a fajspecifikus érzékenység pontosítása közvetlen természetvédelmi relevanciával bír, és a kockázatkezeléshez is szükséges. A Cry-toxinok hatásosságát és a kockázatértékelés kiindulópontjait tovább árnyalja a rezisztencia jelensége. A célkártévőkben kialakuló Cry-toxin-rezisztencia mezőgazdasági szempontból ismert probléma, ugyanakkor az érzékenység populációk között nem célszervezeteknél is változhat.

A kukorica halak takarmányozására is széleskörűen alkalmazott. Kína a legnagyobb haltenyésztő ország; 2021-ben a világ édesvízi haltermelés ~58%-át adta. Az édesvízi haltenyésztés egyik legfontosabb faja az amur – *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes), mintegy 5,76 millió tonna éves mennyiséggel (XING-GUO *et al.*, 2023). Mindemelett Kína a második legnagyobb kukoricatermesztő és felhasználó. Az elmúlt években 21 transzgenikus Cry1Ab-toxint termelő fajtát engedélyeztek (ZHANG és ZHOU, 2025). Az amur testtömegének 140%-át is képes elfogyasztani növényekből. Amurokat tenyésztő halgazdaságokban kukoricalevelet

felhasználhatnak takarmányként. Az engedélyezési dokumentumok és saját méréseink (SZÉKÁCS *et al.*, 2010) is azt mutatják, hogy a levélben a legmagasabbak a Cry-toxinok mennyiségei. Emellett a GM-kukorica hasznosításának egyik fő útvonala a takarmányozás: a termés jelentős hányada állati takarmányként kerül felhasználásra, így a Cry-fehérjetoxinokkal való találkozás a tápláléklánc magasabb szintjein is értelmezhető. Indokolt ezért annak értékelése, hogy eltérő Cry-toxinprofilú GM-kukoricák milyen hatással lehetnek a növekedésre, az anyagcserére, az immunrendszer működésére és a tápcsatorna szövettani jellemzőire, továbbá kimutatható-e Cry-toxin a takarmányban és halak szöveteiben. Jelen doktori értekezés két, kutatási irányt integrál. Egyrészt terepi és laboratóriumi megközelítéssel kockázatbecslést végez a *MON810* kukoricapollen nem célszervezet lepkékre gyakorolt lehetséges hatásaira, különös tekintettel az *I. io* fiatal lárváira és az érzékeny, illetve toleráns fenotípusok összevetésére. Ennek részeként feltárja a kukoricatáblák gyomközösségeit és a táblaszegélyek növényzetét, vizsgálja a csalánosokban előforduló lárvák jelenlétét, valamint számszerűsíti a pollenszórás időbeli mintázatát és a pollen Cry1Ab-toxintartalmát. Másrészt a dolgozat kontrollált etetési kísérletekben értékeli a növényevő amur válaszait GM-kukoricafajták (*MON810* és *DAS-59122*) és azok izogenikus vonalai felhasználásával.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A *MON810* kukoricapollen kockázatbecsléséhez a kukoricatáblák gyom- és szegélynövényzetét, valamint a nappali pávaszem (*I. io*) Cry1Ab-toxinnal szembeni tűrőképességének/rezisztenciájának lehetőségét vizsgáltuk. A gyomfelvételezéshez 2003 júniusában elvégzett hazai mintavételezést ismételtük meg 2024 júniusában összehasonlító céllal: a gyomborítottágot a kukoricatáblán belül négy zónában (-1, 2, 7 és 50 m-re a táblaszéltől). Valamint felmértük a táblák közeli erdősávok (mezővédő) növényzetét.

A rezisztenciavizsgálatban négy megtermékenyített nappali pávaszem nőstény utódvonalait használtuk; a kísérletekben az első tenyésztett generáció tojásosomóit alkalmaztuk, így négy független szülői vonalat kaptunk. Kukoricapollen szuszpenziót (*MON810* és izogén) csalán levélre vittünk fel. Néztük a mortalitást és mértük a lárvák tömegét a 8. napon.

Az amur (*C. idella*) etetéses kísérletekben a kitétség 1, 3 és 6 hónapig tartott, és minden periódus végén történt mintavétel és feldolgozás. A halakat 12 darab 200 literes akváriumban tartottuk (akváriumonként 20 egyed), 18–22 °C-on, heti részleges vízcserevel; a főkísérlet előtt a halakat takarmányváltással szoktattuk a kukoricalevél-őrlemény alapú nedves tápra. A kezelési csoportokat a takarmány növényi komponense adta: szárított kukoricalevelekből készített tápot etettünk *MON810* (Cry1Ab), annak közel izogénikus kontrollja, *DAS-59122* (Cry34Ab1/Cry35Ab1) és kontrollvonal, illetve összehasonlításként szudánifű alapú táp felhasználásával. A vizsgálatok a növekedés és kondíció követésére (testtömeg), vérkémiai és emésztőenzim-végpontokra, valamint boncolásra, szövettani értékelésre (máj és bélrendszer) és immunológiai jellegű mérésekre terjedtek ki; továbbá *ELISA*-val mértük a Cry-toxinok kimutathatóságát és sorsát az emésztett takarmányban és különböző szövetmintákban.

### 3. EREDMÉNYEK

#### *Gyomfelvételezés*

A kukoricatáblákban a virágzási időszak során feljegyzett, többé-kevésbé gyakori gyomfajok száma Magyarországon 2003-ban 44, míg 2024-ben 26 volt. A gyomborítottság egyetlen faj esetében sem haladta meg átlagosan a 20%-ot egyik zónában sem, beleértve a táblák –1 m-es szegélyét is. Az *Urtica dioica* jelentős borítást mutatott a kukoricatáblák szegélyeinél, ami azzal magyarázható, hogy a táblákat gyakran vízelvezető árkok határolják, a hazai, mintegy százötven évre visszanyúló hagyományos vízgazdálkodási gyakorlat eredményeként. Ez a gyomtársulás-típus nem érintett a gyomirtó-kezelésekben, mivel ezeket a területeket általában nem permetezik. Az *U. dioica* rendszerint csak a tábla első méteréig képes terjedni.

A kukoricatermesztő területekhez tartozó védősávokban (erdősávokban) a cserjék átlagos borítása igen alacsony volt. A kukoricatáblákhoz közeli védősávok leggyakoribb növénytársulásait ekkor a *Robinia pseudoacacia* (48%) uralta a lombkoronaszintben, a *Sambucus nigra* (10%) a cserjeszintben, míg a *U. dioica* és a *Rubus* fajok meghatározók voltak a lágyszárú szintben. A fás növények átlagos borítása 73,5%, míg a gyomoké 32,8% volt.

#### *Az nappali pávaszem lárvák előfordulása*

2024-ben június végén 8 táblát jártunk be Fejér megyében. Az eredmények alapján az arányok megegyeztek egy korábbi felvételezéssel, Mocsán észleltünk nappali pávaszem lárvák által előidézett kártételt. Felvételezésünk során a hazai kukoricatáblák kevesebb, mint 50%-ának szegélyében fordul elő csalánféle a tábla melletti nedves árkokban. Míg ezeknek a területeknek kevesebb, mint 20%-án figyelhető meg nappali pávaszem lárvák okozta kártétel, amely a terület kevesebb mint 1%-át érinti. A felmérések eredményei nagyon alacsony érintettséget jeleznek a nappali pávaszem állománya szempontjából. Legkedvezőtlenebb esetben is <50% lárvapusztulás várható,

ha nem alkalmazunk három címezett (vagy módosítatlan) szegélysort, ami a *Bt*-kukoricapollen csalánlevelekre való jutását megakadályozza.

Mindez a hatályos magyar természetvédelmi törvények értelmében (1996. évi LIII. törvény a természet védelméről) még nem teszi elfogadhatóvá a *MON810 Bt*-kukorica termesztését, mivel az az élőhely minőségét megváltoztatja.

#### *A nappali pávaszem Cry1Ab-toxinrezisztenciája*

A 120 ng Cry1Ab/g *MON810* kukoricapollen esetében a 350 pollen/cm<sup>2</sup> (ami a táblaszegélyen átlagosnak tekinthető) csak mérsékelt pusztulást idézett elő, míg a 460 pollen/cm<sup>2</sup> (szélnyomásos oldalon) két törzsnél is ('B' és 'D') jelentős pusztulást okozott, amelyek a másik kettőhöz ('A' és 'C') viszonyítva érzékenyebbnek tekinthetők eredményeink alapján. Eredményeink arra utalnak, hogy a szabadföldi *I. io* lárvák népségei nem viselkednek azonos módon a Cry1Ab-toxinra. A pusztulás mértéke a *MON810* konkrét fajta pollenében termelődő Cry1A-toxin mennyiségének és az *I. io* lárvák tűrőképességének a függvénye.

A Nagykovácsi térségből származó négy nappali pávaszem (*I. io*) utódvonal között markáns, egymástól eltérő válaszokat láttunk: két törzs Cry1Ab-hatásra érzékenynek, kettő pedig tűrőképesnek bizonyult, amit a túlélő lárvák mortalitása és 8. napi testtömege és fejlődési állapota is tükrözött. A *MON810* pollen általában fejlődési visszamaradást okozott (a lárvák a 8. napon is gyakran L1 stádiumban maradtak), ugyanakkor egyes törzsek ettől eltérően reagáltak, ami heterogén érzékenységre utal. Az eredmények értelmezését árnyalja, hogy a toxin/pollen hatására bekövetkező korai pusztulás szelektálta a népséget: a 8. napon sok esetben már csak az életképesebb egyedek tömegét tudtuk mérni, ezért a lárvatömeg-változások helyenként ellentmondásosnak tűnhetnek. A tűrőképesség háttérében több

mechanizmus is állhatott, például a táplálékfelvétel szakaszos leállása (kevesebb Cry-toxinfelvétel), mivel a Cry-toxin leállítja a bélperisztaltikát.

#### *Amur tömegmérés*

Az amur etetéses kísérletben a testtömeg-változást folyamatosan követtük, és az állatokat kiinduló tömegük alapján kis (A), közepes (K) és nagy (N) csoportokra bontva értékeltük. Egy hónap után szignifikáns fejlődési elmaradás kizárólag a legkisebb (A) csoportban, a szudánifűvel etetett halaknál jelentkezett ( $-4,93 \pm 2,49$  g), miközben a *MON810*-zel vagy *DAS-59122*-vel etetett csoportok testtömege nem különült el a közel izogénes kukoricával takarmányozottaktól. Három hónap után ugyanez az eredménymintázat ismétlődött: a kis tömegű, szudánifű-csoportban a növekedési visszamaradás továbbra is kimutatható volt (a nem fertőzöttek:  $-3,66 \pm 0,85$  g; a galandféreggel fertőzöttek:  $-4,06 \pm 1,48$  g), míg a GM-kukoricás (*MON810*, *DAS-59122*) kezelések továbbra sem okoztak szignifikáns testtömeg-eltérést a közel izogénes kontrollokhöz képest; hat hónap után sem vált el a GM-kukoricával etetett halak növekedése az izogénes kontrolloktól.

A hasüregi szervek tömegének mérése összességében ugyanezt támasztotta alá. Egy hónap után a szudánifűvel etetett A csoport esetében a hasi szervtömegek alapján is fejletlenebb állapot volt megfigyelhető. A nagy testtömegű (N) csoportban a *Bothriocephalus acheilognathi*-val fertőzött egyedeknél a *MON810*-csoportban szignifikánsan nagyobb hasi szervtömeget mértünk ( $2,29 \pm 0,49$  g), mint a nem fertőzötteknél ( $1,49 \pm 0,17$  g), ami inkább ödémás/vízvisszatartási jelenséggel magyarázható, mint közvetlen takarmányhatással. Három hónap után a hasi szervtömegekben nem volt szignifikáns különbség a *MON810*, *DAS-59122* és a közel izogén csoportok között; ugyanakkor a K csoportban, fertőzött egyedeknél a *MON810* kezeléshez társulhatott nagyobb hasi szervtömeg a nem fertőzöttekhez képest,

szintén ödémára utaló mintázattal. Összességében tehát sem a testtömeg, sem a hasúri szervek tömege alapján nem igazolódott következetes teljesítménycsökkentő hatás a GM-kukoricalevél-alapú takarmányoknál, a megfigyelt eltérések főként a szudánifű-táphoz és a parazitafertőzöttséghez kapcsolódtak.

#### *Amur vérkémia*

Az amur etetéses kísérletek vérkémiai eredményei összességében azt mutatták, hogy a GM-kukoricalevél-alapú takarmányok (*MON810*, *DAS-59122*) mellett a vizsgált szérumparaméterek többsége nem különült el következetesen a közel izogén kontrolltól, és a megfigyelt eltérések egy része a *Bothriocephalus acheilognathi*-fertőzöttség kizárásával megszűnt. Egy hónap után a szerves foszfát (jellemzően 2–5 mmol/l), a fruktózamin (150–350  $\mu$ mol/l) és a májenzimek (ALT: 1–5 U/l; AST: 40–150 U/l) alapján nem igazoltunk kezeléshatást; a foszfát enyhe emelkedése a szudánifű-csoportokban a parazitafertőzéshez volt köthető. Három hónap után a triglicerid- és koleszterinszint az A és N csoportokban nem változott *MON810* vagy *DAS-59122* etetés mellett, ugyanakkor az N csoportban a *MON810*-zel etetett egyedeknél a szérumalbumin szignifikánsan alacsonyabb volt a *MON810* közel izogén kontrollhoz képest (a *DAS-59122* nem okozott eltérést). A szerves foszfát és a kalcium esetében az N csoportban látszó kezelési különbségek (pl. *MON810* vs. közel izogén) a fertőzött egyedek kizárásával eltűntek. Az epesavaknál nagy szórást tapasztaltunk, ezért általános kezeléshatás nem volt kimutatható, viszont fertőzött halaknál egyes csoportokban kifejezett emelkedés előfordult.

#### *Amur enzimológia*

Az amur emésztőenzim-vizsgálatok alapján sem a *MON810*, sem a *DAS-59122* alapú takarmány nem okozott kimutatható változást a mért enzimaktivitásokban: az  $\alpha$ -amiláz (közép- és utóbél), a tripszin (utóbél) és a

leucin-aminopeptidáz (LAP; közép bél) aktivitása a GM-csoportokban nem tért el következetesen a közel izogén kontrolloktól. Ugyanakkor testtömegfüggő eltérések jelentkeztek: három hónapos etetés után a nagyobb testtömegű (N) csoportban a közép bél amilázaktivitása szignifikánsan magasabb volt a közepes (K) csoporthoz képest, ami inkább fiziológiai/anyagcsere-alkalmazkodással magyarázható, nem a takarmány genetikai eseményével.

#### *Cry34Ab1- és Cry1Ab-toxinok mennyisége az amur szöveteiben*

A Cry34Ab1- és Cry1Ab-toxinok amurban történő megjelenését *ELISA*-val követtük. A takarmány előállításához használt szárított kukoricalevél-őrlemény toxintartalma a *DAS-59122* esetében  $182,9 \pm 26,3$   $\mu\text{g/g}$  (Cry34Ab1), a *MON810* esetében  $25,7 \pm 2,1$   $\mu\text{g/g}$  (Cry1Ab) volt.

Három hónapos etetés után sem Cry34Ab1-, sem Cry1Ab-értékekben nem volt kimutatható különbség a K és N testtömegcsoportok között; a béltartalomban a Cry34Ab1 csak kevés mintában, alacsony szinten volt mérhető (átlag  $\sim 8,65$  ng/g), míg a Cry1Ab jellemzően a kimutatási határ alatt maradt.

Hat hónapos etetés után a Cry34Ab1 a béltartalomban minden halnál kimutatható volt (átlag  $\sim 10,86$  ng/g), és a vérben is megjelent (átlag  $\sim 12,59$  ng/ml); egy galandféreg-fertőzött egyedben magasabb vérszintet mértünk, ami a bélfal károsodásával összefüggő fokozott Cry-toxintranszportot valószínűsíthet. A Cry34Ab1 kis mennyiségben több szövetben is detektálható volt ng/g nagyságrendben (bél, máj, izom, vese, fejvese).

#### *Amur apoptotikus sejtek és immunológia*

A 6 hónapos etetés végén az apoptózist *TUNEL*-próbaival értékeltük vérmintákból. A *DAS-59122*-t tartalmazó takarmány nem okozott *TUNEL*-lel kimutatható változást az apoptotikus sejtek számában az izogén kontrollhoz képest, ezzel szemben a *MON810*-etetés a vérben az apoptotikus sejtek

számának szignifikáns növekedésével járt a hozzá tartozó izogén vonalhoz viszonyítva.

Az immunológiai (áramlási citometriás) vizsgálatok összképe enyhe, csoportfüggő sejtes eltolódásokat jelzett. A *MON810* 6 hónap után nem befolyásolta kimutathatóan az érett eritrociták számát, míg a *DAS-59122* mellett az N testtömegcsoportban szignifikánsan nőtt az érett eritrociták száma az izogén kontrollhoz képest; ugyanakkor egy kisebb méretű eritrocita-populáció (X6) az N csoportokban mindkét GM-kezelésnél csökkent. A fehérvérsejt-populációk közül a *DAS-59122* az N csoportban szignifikánsan emelte a limfocitaszámot, míg a *MON810* az N csoportban szignifikánsan csökkentette a trombociták számát, és a *DAS-59122* esetében az N csoportban a granulocitaszám az izogén kontrollhoz képest szignifikánsan alacsonyabb volt.

#### 4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A 2024-es szabadföldi felmérések alapján a kukoricatáblák közel felénél volt jelen csalános (*Urtica* spp.), és ezek mintegy 20%-ában fordultak elő foltosan a nappali pávaszem (*Inachis io*) lárvák; a károsítás esetenként legfeljebb a csalánfoltok ~1%-át érintette. Területre vetítve ez alacsony, a hazai *I. io* állomány szempontjából elhanyagolható *MON810*-pollen kitettséget jelentene.

2. Kísérletesen igazoltuk, hogy a Cry1Ab-toxintartalmú pollenexpozíció után maradnak túlélő, tűrőképes nappali pávaszem egyedek; több nőstény utódai között egyaránt előfordult érzékeny és toleráns csoport, ami a populáción belüli válaszkülönbségekre és a tolerancia/rezisztencia szelekciójának lehetőségére utal.

3. Az amur (*Ctenopharyngodon idella*) fiatal egyedein végzett 1-, 3- és 6-hónapos etetéses kísérletekben igazoltuk, hogy a *MON810* és a *DAS-59122* kukorica szárított levélbiomasszájával történő etetés (Cry1Ab: ~3-7 µg/hal/nap; Cry34Ab1: ~18-55 µg/hal/nap) nem okozott mortalitást, és nem eredményezett szignifikáns különbséget a testtömegben vagy a hasúri szervek tömegében a közel izogénes kontrollokhoz képest.

4. Az amurban vizsgált szérumbiokémiai paraméterek döntő többsége nem mutatott eltérést a kezelések között; *MON810* és izogénes párja esetén az N csoportban enyhe albumin-szint csökkenés jelentkezett, míg a *Bothriocephalus acheilognathi* féregfertőzöttség az ásványianyag-háztartással összefüggő mutatókat (pl. szervetlen foszfát, kalcium) befolyásolta. A szövettani vizsgálatok alapján sem a *MON810*, sem a *DAS-59122* etetés nem okozott kimutatható, kezelésspecifikus eltérést a májban és a bélrendszer alapvető morfológiai jellemzőiben; ezzel szemben a galandféreg-fertőzéshez társuló bélnyálkahártya-elvékonyodás és kísérő elváltozások jól megfigyelhetők voltak.

5. Igazoltuk, hogy az amurban a Cry-toxinok gastrointestinalis lebomlása rendkívül gyors; a Cry34Ab1 kimutatható volt a vérben (átlagosan ~12,6 ng/ml nagyságrendben), a Cry1Ab jellemzően csak a kimutathatósági határ közelében volt detektálható. A Cry34Ab1 a parazita (*B. acheilognathi*) mintáiban is kimutatható volt.

6. Kísérleteink igazolták, hogy az amurokban 6-hónapos etetés után enyhe immunológiai jellegű eltérések voltak megfigyelhetők: *MON810* esetén egy csoportban szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) nőtt az apoptotikus sejtek aránya és csökkent a trombociták száma, míg *DAS-59122* esetén a granulocitaszám a közel izogénes vonalhoz képest szignifikánsan csökkent.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

*A MON810 kukoricapollen kockázatbecslése Cry1Ab-toxinra érzékeny és toleráns nappali pávaszem fiatal lárvák esetében*

A vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a *MON810* kukorica Cry1Ab-toxint tartalmazó pollenje csak igen csekély valószínűséggel jelent tényleges kockázatot a kukoricatáblák peremén élő, csalánhoz kötődő védett lepkefajokra. A kockázat mértéke alacsonyabb, mint bármely, a vizsgált időszakban alkalmazott rovarölő szeres beavatkozásé. Magyarországon a kukorica – a csávázás kivételével – jellemzően nem kap rovarölő szeres kezelést, ezért a *Bt*-pollen a védett fajokra nézve figyelemre méltó, de hatását tekintve csak marginális jelentőségű tényező. A Cry1Ab-toxintartalom jelentős fajtavariabilitást mutat a *MON810* hibridek pollenjében, ami potenciálisan befolyásolja a környezeti kockázatot. Ennek ellenőrzése és egységesen alacsony szinten tartása elsősorban a vetőmag-előállítók feladata. Az EU rovarrezisztencia-kezelés programja azonban ezzel szemben az úgy nevezett *high-dose/refuge* stratégia értelmében a menedéksávok mellett a magas toxintartalmú fajták használatával szeretné megakadályozni a rezisztencia kialakulását a rovarkártevők esetében. A modellvizsgálatok és terepi eredmények összevetése azt mutatja, hogy a *Bt*-pollen által okozott várható népeségcsökkentésre vonatkozó korábbi predikciók túlzóak voltak. Az *I. io* lárvái elkerülik a magas pollensűrűségű mikrokozmoszokat (pl. levélek mélyedéseit, felső leveleket), és más ökológiai tényezők (pl. a lárvák természetes szétszóródása) tovább csökkentik a tényleges expozíciót. Többgenerációs fajok esetében (pl. *I. io*, *Aglais urticae*) a *Bt*-pollen csupán a második nemzedék egy részét érintheti. A természetes populációkban toleráns egyedek jelenléte kimutatható, és hosszú távon is valószínűsíthető a rezisztencia kialakulása – hasonlóan más kukoricakártevőkben megfigyelt jelenségekhez. Ez tovább mérsékli az ökológiai

kockázatot. A terepi expozíció egyszerű és hatékony módon csökkenthető: három sor címezett szegély alkalmazásával a táblaszegélyen mért pollenszórás átlagosan 350 pollen/cm<sup>2</sup>-ről mintegy 50 pollen/cm<sup>2</sup>-re mérsékelhető. Ez a beavatkozás gyakorlatilag megszünteti a védett fajok veszélyeztetésének lehetőségét. Ökológiai szempontból fontos megállapítás, hogy a vizsgált területeken a védősávok és mezővédő erdősávok tervezése jelenleg nem adekvát. A túlnyomórészt *Robinia pseudoacacia* és *Sambucus nigra* alkotta, fajokban szegényes állományok nem képesek betölteni ökoszisztéma-szolgáltatói szerepüket. A folyamatos virágzású fák, cserjék és aljnövényzet (pl. *Apiales*) telepítése egyaránt támogathatná a beporzást és a madárfajok fészkelőhelyeinek kialakulását. Jogszabályi szempontból Magyarország rendelkezik az EU-n belül az egyik legszigorúbb élőhelyvédelmi szabályozással, amely szankcionálja a védett fajokon okozott környezeti kárt. Más tagállamokban hasonló szintű szabályozás nem jellemző. Az EFSA korábbi állásfoglalásai helytállóak, és összhangban vannak a hazai moratórium indokoltságával.

#### *Az amur vizsgálata*

Halakkal végzett tanulmányok lényegesen kisebb számban állnak rendelkezésre, mint haszonállatokon végzett vizsgálatok, de megfelelő tudományos szigorral. A lazacfélék takarmányozásakor a szója alkalmazása azért igényel kiemelt figyelmet, mert az abban található anti-nutritív komponensek a belekben gyulladásszerű (*enteritis*) elváltozásokat és funkcionális változásokat idézhetnek elő, ezt a jelenséget a szakirodalom gyakran szója-hatásként írja le, amelynek mértékét elsősorban az inklúziós szint és az alapanyag feldolgozottsága határozza meg. Fiatal atlanti lazacok 3-hónapos etetésében RR-szója (*MON-04032-6*) mellett nem észleltek mortalitást és a növekedésben sem volt szignifikáns különbség, ugyanakkor a lép tömegében és a *distalis* bélszakasz tömegében és állapotában már

megjelentek eltérések a kontrollhoz viszonyítva. A bélre vonatkozó részletesebb vizsgálatok arra utalnak, hogy szójatartalmú takarmányon – a GM-státusztól részben függetlenül – *enterális* stresszre utaló szövettani jelek (pl. enterocita-szerkezet változásai, a *lamina propria* szélesedése) és csökkent enzimaktivitás (leucinaminopeptidáz, maltáz) is előfordulhat, miközben egyes immunválasszal összefüggő markerek elmozdulása (pl. lizozim, alkalikus foszfatáz) megfigyelhető. Magasabb *RR*-szója-inklúzióánál anyagcsere- és testösszetétel-változásokat (pl. alacsonyabb plazma triglicerid- és glükózsztint, zsírsavarányok eltolódása), valamint nagyobb léptömeget is leírtak, és a hemoglobin-léptömeg kapcsolat gyengébb immunválasz lehetőségét veteti fel. Hosszabb távú (7-hónapos) etetésben a GM és nem GM-szója közötti különbségek többnyire mérsékeltek és időben változók voltak, ami azt jelzi, hogy a szója-hatás jelentős része életciklusfüggő.

A *Bt*-kukoricával (*MON810*) végzett lazac-kísérletek már közvetlenebb összevetési alapot adnak a saját *Bt*-kukoricalevél-etetési eredményeinkhez. Lazacon a táplálkozás kontextushoz biomarker-szinten enyhe stressz- és immunválasz-jelzések társultak (antioxidáns enzimek aktivitásának eltolódása, HSP70 emelkedése, fehérvérsejt-arányok változása), ami arra utal, hogy *MON810* esetén a lazacban a hatások gyakran finom, rendszer-szintű alkalmazkodási válaszként jelennek meg. Juvenilis lazacban ezzel összhangban a növekedési végpontok sokszor kevésbé érzékenyek, viszont kisebb, de szignifikáns enzimaktivitás eltérések (pl. leucinaminopeptidáz- és maltázaktivitás csökkenése, amilázaktivitás változása, epesók eltolódása) megjelenhetnek. Ezzel szemben a mi vizsgálatunkban a növényevő amur *MON810* és *DAS-59122* kukoricalevelekkel történő etetése során – 1-, 3- és 6-hónapos expozíció mellett – nem tapasztaltunk különbséget sem a testtömegben, sem a hasúri szervek tömegében, és a vérkémiiai paraméterek döntő többsége (pl. epesavak, triglicerid, koleszterin, *ALT/AST*) sem mutatott

olyan következetes mintázatot, amely egyértelműen a vizsgált GM-eseményekhez lenne köthető; a *MON810* enyhe, csoportfüggő albuminszint-csökkenéssel járt, míg a *DAS-59122* esetében 3 hónap után nem észleltünk vérparaméter-változást. Ugyanakkor a *Bt*-komponens sorsát toxinkinetikai oldalról követtük: a takarmány toxinterhelése *ELISA* méréseink alapján *MON810* esetén Cry1Ab  $25,7 \pm 2,1$   $\mu\text{g/g}$ , *DAS-59122* esetén Cry34Ab1  $182,9 \pm 26,3$   $\mu\text{g/g}$  volt (1:50 hígítás mellett kezelhető mátrixhatásokkal); a Cry1Ab a tápcsatornában jellemzően a kimutatási határ alá csökkent, míg a Cry34Ab1 a bélben nagyságrendekkel csökkent, de a vérben minden egyedben a kimutatási határ felett mérhető maradt ( $12,59 \pm 1,89$  ng/ml), *B. acheilognathi*-fertőzött egyedben magasabb vérszintet mértünk, ami összhangban lehet azzal, hogy a bélfal-károsodás fokozhatja a toxin-penetrációt. A lazacon kapott *MON810*-adatokkal együtt ez azt erősíti, hogy ugyanazon genetikai esemény etetési hatásai nem vihetők át automatikusan fajok között: a táplálkozási típus és a takarmány-mátrix (kukoricaszem vs. levél) alapvetően meghatározza, hogy az eltérések inkább takarmányfelvételben/növekedésben és stressz-immun biomarkerekben, vagy inkább a toxindetektálhatóság szintjén, teljesítményromlás nélkül jelennek-e meg. Mindezek alapján a különböző genetikai események etetési hatásai nem minősíthetők általánosan sem ártalmatlannak. A sűrű vetésű *MON810* vagy *DAS-59122* más növényekkel keverve alkalmas takarmány lehet *C. idella* számára, azonban a GM-takarmány halaknál való elterjedt alkalmazása további – főként immunológiai – vizsgálatokat tenne szükségessé. Ilyen biológiai tesztek azonban jelenleg a növényvédő szerek engedélyezésében sem játszanak meghatározó szerepet.

## 6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

### 1) TUDOMÁNYOS FOLYÓIRATCIKKEK:

#### a) Idegen nyelvű, lektorált tudományos folyóiratban megjelent

**GYURCSÓ, G., DARVAS, B., BASKA, F., SIMON, L., TAKÁCS, E., KLÁTYIK, S., SZÉKÁCS, A.** (2022): Herbivorous juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) Fed with genetically modified MON810 and DAS-59122 maize varieties containing Cry toxins: Intestinal histological, developmental, and immunological investigations. *Toxins*, **14**, 153. IF: 4.0 Q1

**DARVAS, B., GYURCSÓ, G., TAKÁCS, E., SZÉKÁCS, A.** (2022): Potential risk of pollen from genetically modified MON810 maize containing Cry1Ab toxin to protected lepidopteran larvae in the Pannonian Biogeographical Region – A retrospective view. *Insects*, **13** (2), 206. IF: 2,9 Q1

#### b) Idegen nyelvű, nem impakt faktoros folyóiratban

**SERES, A., HRÁCS, K., GYURCSÓ, G., SÁROSPATAKI, M., SZAKÁLAS, J., NAGY, P. I.** (2016): Laboratory studies on the effects of a neonicotinoid-containing seed treatment product on non-target soil animals. *Columella: Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, **3** (2), 7-14.

**KLÁTYIK, SZ., DARVAS, B., MÖRTL, M., OTTUCSÁK, M., TAKÁCS, E., BÁNÁTI, H., SIMON, L., GYURCSÓ, G., SZÉKÁCS, A.** (2016): Food safety aspects of pesticide residues in spice paprika. *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering.*, **10** (3),156-159.

#### c) Magyar nyelvű, nem impakt faktoros hazai folyóiratban

**GYURCSÓ G., KLÁTYIK SZ., SZÉKÁCS A., DARVAS B.** (2025): A *MON810* kukoricapollen kockázatbecslése Cry1Ab-toxinra érzékeny és toleráns *Inachis io* fiatal lárvák esetében. *Ökotoxikológia*, **7** (3-4), 5-20.

**DARVAS B., GYURCSÓ G., SZÉKÁCS A.** (2024): Csípőszúnyog-állománygyerítés Magyarországon. *Ökotoxikológia*, **6** (1), 21-39.

**GYURCSÓ G., SZÉKÁCS A., DARVAS B.** (2024): Gyakoribb kukoricagyomok Magyarországon és az ellenük alkalmazott gyomirtó hatóanyagokra előre jelezhető tolerancia. *Ökotoxikológia*, **6** (3-4), 40-49.

**DARVAS B., GYURCSÓ G.** (2023): A Föld bioszférájának becsült tömege. *Ökotoxikológia*, **5** (1), 31-39.

**DARVAS B., GYURCSÓ G., SZÉKÁCS A.** (2023): *NGT* kontra *GMO* – a tervezett Európai Uniós szabályozás keretei. *Ökotoxikológia*, **5** (3-4), 45-54.

**DARVAS B., GYURCSÓ G., TAKÁCS E., SZÉKÁCS A.** (2021): Cry1Ab-toxint tartalmazó pollen (*MON 810*) és potenciális veszélye a hazánkban élő védett lepkékre (visszatekintés). *Ökotoxikológia*, **3** (2), 6-8.

**GYURCSÓ G.** (2020): GM-növények haltakarmányként való felhasználása. *Ökotoxikológia*, **2** (1), 20-25.

**DARVAS B., GYURCSÓ G.** (2020): Géntechnológiai eljárással módosított növények az Európai Unióban. *Ökotoxikológia*, **2** (1), 4-19.

**DARVAS B., GYURCSÓ G., TAKÁCS E., SZÉKÁCS A.** (2018): Mezőgazdasági géntechnológia – No2 Genomszerkesztés és géncsendesítés (*GEO* és *GSO*). *Biokontroll*, **9** (2), 4-27.

**DARVAS B., GYURCSÓ G., TAKÁCS E., SZÉKÁCS A.** (2018): Mezőgazdasági géntechnológia – No1 Transzgenikus szervezetek (*GMO*). *Biokontroll*, **9** (1), 19-35.

- DARVAS B., VARGA CS., **GYURCSÓ G.**, TAKÁCS E., KLÁTYIK SZ., OLÁH M., MÖRTL M., SZÉKÁCS A. (2017): Hormonmodulánsok a környezetünkben. *Biokontroll*, **8**, 4-34
- GYURCSÓ G.**, SIMON L., SZÉKÁCS A., DARVAS B. (2016): Gyomnövények ellen alkalmazott hatóanyagok akut toxicitása. *Biokontroll*, **7** (2), 4-10.
- DARVAS B., SIMON L., NECHAY E., **GYURCSÓ G.**, SZÉKÁCS A. (2016): Mikroszkopikusgombák ellen alkalmazott gombaölő hatóanyagok akut toxicitása. *Biokontroll*, **7** (1), 4-10.
- DARVAS B., SIMON L., NECHAY E., **GYURCSÓ G.**, SZÉKÁCS A. (2015): Akut toxicitás - I. Ízeltlábúak ellen alkalmazott zoocidek. *Biokontroll*, **6** (2), 57-66.
- GYURCSÓ G.**, DARVAS B. (2015): Magyarországon felhasznált növényvédőszer-hatóanyagok III. Gyomirtó szerek. *Biokontroll*, **6** (1), 15-28.
- GYURCSÓ G.** (2014): A gödöllői ivóvíz 2010-es *atrazine*-szennyezése. *Biokontroll*, **5** (1), 30-34.

## 2) KONFERENCIA-ÖSSZEFOGLALÓK:

### a) Nemzetközi konferencia-összefoglalók:

- GYURCSÓ G.**, KLÁTYIK, SZ., TAKÁCS, E., MÖRTL, M., CHEN, K., DU, M., ZALÁN, ZS., SZÉKÁCS, A. (2025): Overview of the potential role of lactic acid bacteria in the reduction of mycotoxins and pesticide residues in food and feed. *Proceedings of the 31rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems* (Szeged, Magyarország), 322-326.
- TAKÁCS, E., SOUYADET, P., SIAKAWA, A., GEMES, B., KLÁTYIK, SZ., **GYURCSÓ, G.**, SZÉKÁCS, A. (2025): monitoring of carbamazepine pharmaceutical active ingredient in river danube and lake balaton. *Proceedings of the 31rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems* (Szeged, Magyarország), 240-240.
- GYURCSÓ, G.**, MÖRTL, M., TAKÁCS, E., FEJES, Á., SIMON, L., DARVAS, B., SZÉKÁCS, A. (2017): Effects of Glyphosate-based herbicides and their components on the embryonal development of zebrafish (*Danio rerio*): assessment of the role of retinoids. *Proceedings of the 23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems* (Szeged, Magyarország), 420-425.
- KLÁTYIK, SZ., DARVAS, B., MÖRTL, M., SIMON, L., BÁNÁTI, H., **GYURCSÓ, G.**, SZÉKÁCS A. (2016) Pesticide residues in spice paprika in the RASFF system. In: Brauning, J. and Hensel A. *SPICED Symposium Spices and Herbs: A Risk-Free Taste Experience? : Abstracts*. Spiced Symposium (Berlin, Németország), 116.
- OTTUCSAK, M., KLÁTYIK, SZ., **GYURCSÓ, G.**, MÖRTL, M., DARVAS, B., SZÉKÁCS, A. (2015) Environmental monitoring of glyphosate and assessment of its combined cytotoxicity with adjuvants. *Proceedings of the 21st International Symposium on Analytical and Environmental Problems* (Szeged, Magyarország), 64-67.

### b) hazai konferencia-összefoglalók:

- GYURCSÓ G.**, DARVAS B., TAKÁCS E., SZÉKÁCS A. (2025): A géntechnológiaiúton módosított MON810 kukorica Cry1Ab-toxintermelése és annak lehetséges veszélyei. *Ökotoxikológia*, **7** (3-4), 47.
- GYURCSÓ G.**, DARVAS B., TAKÁCS E., SZÉKÁCS A. (2025): A géntechnológiaiúton módosított *MON810* kukorica Cry1Ab-toxintermelése és annak lehetséges veszélyei. In: SZÉKÁCS, A. és MÖRTL, M., 13. Környezetkémiai Szimpóziuma, 18.
- GYURCSÓ G.**, KLÁTYIK SZ., TAKÁCS E., MÖRTL M., CHEN K., DU M., ZALÁN ZS., SZÉKÁCS A. (2025): A tejsavbaktériumok potenciális szerepe a mikotoxinok és növényvédőszer-maradékok csökkentésében az élelmiszerekben és takarmányokban. *Ökotoxikológia*, **7** (3-4), 49-50.

- OLÁH M., MÖRTL M., **GYURCSÓ G.**, SZÉKÁCS A. (2024): Nagy perzisztenciájú ipari eredetű rovarirtószerek-hatóanyag és bomlástermékeinek kimutatása a Budapesti Vegyiművek környékéről származó talajmintákból. *In: Talajtani Vándorgyűlés programfüzet*, 72.
- DARVAS B., **GYURCSÓ G.**, SZÉKÁCS A. (2024): A csípőszúnyog-állománygyerítés hazai gyakorlata. *Ökotoxikológia*, **6** (3-4), 60.
- GYURCSÓ G.**, DARVAS B. (2020): GM-növények takarmányozási célra való használata halakon. *Ökotoxikológia*, **2** (2), 13-14.
- GYURCSÓ G.**, SIMON L., TAKÁCS E., SZÉKÁCS A., DARVAS B. (2019): Cry1- (*MON810*) és Cry3-toxinokat (*DAS-59122*) termelő kukoricák hatása az amurra (*Ctenopharyngodon idella*) 1-, 3-, 6-hónapos kísérletekben. *Ökotoxikológia*, **1** (2), 9-10.
- GYURCSÓ G.**, BASKA F., MÖRTL M., SIMON L., PASARÉTI GY., CSÉFFÁN T., SZÉKÁCS A., DARVAS B. (2019): Húszhetes *glyphosate*-expozíció hatása a zebradánió ivardeterminációjára. *Ökotoxikológia*, **1** (1), 38-39.
- SIMON L., **GYURCSÓ G.**, SZIKORA B., BASKA F., MATKÓ J., TAKÁCS E., SZÉKÁCS A., DARVAS B. (2018): Húszhetes *glyphosate*-expozíció harmadára csökkenti zebradánió (*Danio rerio*) granulocitaszámát. *Abs. VIII. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), 33-34.
- GYURCSÓ G.**, BASKA F., MÖRTL M., SIMON L., PASARÉTI GY., CSÉFFÁN T., SZÉKÁCS A., DARVAS B. (2018): Húszhetes *glyphosate*-expozíció hatása a zebradánió ivardeterminációjára. *Abs. VIII. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), 11-12.
- SIMON L., **GYURCSÓ G.**, BASKA F., TAKÁCS E., SZÉKÁCS A., DARVAS B. (2017): Egy, három és hathónapig tartó *MON810*- és *DAS-59122*- etetés hatása az amurra. *Abs. VII. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), 34-35.
- GYURCSÓ G.**, SIMON L., BOHUS P., MÖRTL M., TAKÁCS E., OLÁH M., FEJES Á., SZÉKÁCS A., DARVAS B. (2017): *Glyphosate* és formázó anyagainak hatása a *Danio rerio* embrionális fejlődésére. *Abs. VII. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), 15-16.
- SZÉKÁCS A., MÖRTL M., TAKÁCS E., KLÁTYIK SZ., **GYURCSÓ G.**, SIMON L., OLÁH M., DARVAS B. (2017): Növényvédő szerek és állatgyógyászati termékek adalékanyagainak meghatározása és ökotoxikológiai értékelése. *Program és előadás-összefoglalók – 60. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés és XIII. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia* (Debrecen), 74.
- TAKÁCS E., BÁNÁTI H., **GYURCSÓ G.**, MÖRTL M., BATA-VIDÁCS I., SZÉKÁCS A., DARVAS B. (2016): Fűszerpaprika-termelési technológiából származó mosóvizek ökotoxikológiai vizsgálata. *Abs. VI. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), 37-38.
- KLÁTYIK SZ., DARVAS B., MÖRTL M., SIMON L., BÁNÁTI H., **GYURCSÓ G.**, SZÉKÁCS A. (2016): Fűszerpaprika-tételek növényvédőszer-maradékosszennyezettsége a RASFF adatbázisa alapján. *Abs. VI. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), 16-17.
- GYURCSÓ G.**, SIMON L., BÁNÁTI H., JURACSEK J., KLÁTYIK SZ., TAKÁCS E., PASARÉTI GY., SZÉKÁCS A., DARVAS B. (2016): Háromhónapos takarmányozási kísérlet *MON810* és *DAS-59122* GM-táppal amuron (*Ctenopharyngodon idella*) - [No4] Enzimológiai vizsgálatok (amiláz, tripszin, leucin-aminopeptidáz) a közép- és utóbélben. *Abs. VI. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), 14-15.
- BASKA F., SIMON L., VINCZE B., **GYURCSÓ G.**, PASARÉTI GY., DARVAS B. (2016): Az amur (*Ctenopharyngodon idella*) tápcsatornájának szövettani vizsgálata 1-, 3- és 6-hónapos Cry1- (*MON810*) és Cry3- toxinnal (*DAS-59122*) való etetés után [No2]. *Abs. VI. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), 6-7.
- DARVAS B., PASARÉTI GY., CSÉFFÁN T., **GYURCSÓ G.**, VAJDOVICH P., SZABÓ B., BASKA F., SIMON L., BÁNÁTI H., TAKÁCS E., KLÁTYIK SZ., FEJES Á., JURACSEK J., MAGYARÓSY B., ARDÓ L., SZÉKÁCS

- A. (2015): Egy- és háromhónapos takarmányozási kísérlet *MON810* és *DAS-59122* GM-táppal amuron (*Ctenopharyngodon idella*) - [No1] tömegmérés és vérkémia. *Abs. V. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), 11-12.
- FÜLEKI L., KLÁTYIK SZ., **GYURCSÓ G.**, BÁNÁTI H., KARDOS C., SZTERNÁCSIK K., TAKÁCS E., MAGOR CS., SZÉKÁCS A., DARVAS B. (2014): A Magyarországon 1962-2013 között gyomok ellen alkalmazott hatóanyagok [No3]. *Abs. IV. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), 11-12.