

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Gyurcsó Gergő

Gödöllő

2026



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

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezetők jóváhagyása

*„...a Természet – amely minden tudás forrása – vonakodva válaszol
s csak ha a kísérletezés szabatos nyelvén faggatózunk,
mond egy-egy halk »igen«-t vagy »nem«-et.”*

Selye János

Családomnak és barátaimnak

TARTALOMJEGYZÉK

Jelölések, rövidítések jegyzéke.....	7
1. Bevezetés	9
2. Célkitűzések.....	11
3. Szakirodalmi áttekintés	12
3.1. <i>A kukorica története és jelenlegi helyzete</i>	<i>12</i>
3.2. <i>Géntechnológiával módosított Bt-növények.....</i>	<i>13</i>
3.2.1. A géntechnológiával módosított növények története.....	13
3.2.2. A géntechnológiával módosított növények helyzete	15
3.2.3. <i>Bacillus thuringiensis.....</i>	<i>16</i>
3.2.4. Rezisztencia kialakulásának mechanizmusa Cry-toxinra	19
3.2.5. Cry1Ab-rezisztens rovarnépesség.....	20
3.3. <i>Géntechnológiával módosított Bt-növények ökotoxikológiai eredményei</i>	<i>22</i>
3.3.1. <i>Bt-növények a talajban.....</i>	<i>22</i>
3.3.2. <i>Vízi szervezeteken végzett kísérletek</i>	<i>23</i>
3.3.3. <i>Emlősökön végzett vizsgálatok.....</i>	<i>25</i>
3.4. <i>Cry1Ab-toxin kockázata nem célszervezet lepkéken</i>	<i>25</i>
3.4.1. Hazai védett lepkék – nappali pávaszem (<i>Inachis io</i>).....	25
3.4.2. Kockázatelemzések nem célszervezetnek minősülő lepkékre	27
3.5. <i>GM-növények takarmányként való felhasználása.....</i>	<i>30</i>
3.5.1. Haszonállatokon végzett etetési vizsgálatok.....	30
3.5.2. Halakkal végzett etetési vizsgálatok	32
4. Anyag és módszer.....	36
4.1. <i>A MON810 kukoricapollen kockázatbecslése Cry1Ab-toxinra érzékeny és toleráns Inachis io fiatal lárvák esetében</i>	<i>36</i>
4.1.1. Gyomfelvételezés kukoricatáblában és szegélyein	36
4.1.2. A nappali pávaszem Cry1Ab-toxinrezisztenciája	37
4.1.3. Statisztikai módszerek.....	38
4.1.4. A MON810 kukoricapollen Cry1Ab-toxintartalmának mérése	39
4.2. <i>Az amur (Ctenopharyngodon idella) vizsgálatai</i>	<i>40</i>
4.2.1. Az amur.....	40
4.2.2. A GM-kukoricák és izogenikus vonalaik termesztése	42
4.2.3. A szárított őrlemények Cry-toxin tartalmának meghatározása ELISA-módszerrel	47
4.2.4. A halak tartása.....	47

4.2.5.	Állati szövetminták vizsgálata	51
4.2.6.	Takarmányozási kísérletek amurral	51
4.2.7.	Laborkémiai vizsgálatok	53
4.2.8.	Boncolás, mintavétel és szövettan.....	55
4.2.9.	Enzimológiai vizsgálatok	56
4.2.10.	Áramlási citometriás mérések	57
5.	Eredmények és értékelésük	60
5.1.	<i>A MON810 kukoricapollen kockázatbecslése Cry1Ab-toxinra érzékeny és toleráns Inachis io fiatal lárvák esetében.....</i>	60
5.1.1.	A kukoricatáblák jellemző gyomközösségei.....	60
5.1.2.	A kukoricatáblák menti védősávok jellemző növényegyütteseinek	63
5.1.3.	A kémiai gyomszabályozás gyakorlata Magyarországon a vizsgált időszakban ..	65
5.1.4.	A kukoricafajták pollenszórásának időzítése és intenzitása a Pannon biogeográfiai régióban.....	68
5.1.5.	Az nappali pávaszem lárvák előfordulása kukoricatáblák melletti csalánosokban.....	71
5.1.6.	A MON810 GM-kukoricafajtacsoport pollenjének Cry1Ab-toxintartalma.....	71
5.1.7.	A nappali pávaszem Cry1Ab-toxinrezisztenciája	73
5.2.	<i>Az amur vizsgálatai</i>	76
5.2.1.	Tömegmérés	76
5.2.2.	Vérkémia	80
5.2.3.	Enzimológia	84
5.3.	<i>Cry-toxinok mennyisége az amur szöveteiben (ELISA).....</i>	86
5.3.1.	Az amur szöveteinek mátrixhatásának meghatározása Cry1Ab- és Cry34Ab1-toxinmérés során	86
5.3.2.	Cry34Ab1- és Cry1Ab-toxinok mennyisége az amur szöveteiben	87
5.3.3.	Szövettan	90
5.3.4.	Az apoptotikus sejtek kimutatása (TUNEL-próba)	90
5.3.5.	Immunológia	91
6.	Következtetések és javaslatok	95
6.1.	<i>A MON810 kukoricapollen kockázatbecslése Cry1Ab-toxinra érzékeny és toleráns nappali pávaszem fiatal lárvák esetében.....</i>	95
6.2.	<i>Az amur vizsgálatai</i>	96
7.	Új tudományos eredmények.....	99
8.	Összefoglalás.....	100

9. Summary.....	102
Melléklet.....	104
M1. IRODALOMJEGYZÉK.....	104
M2 Publikációs lista	128
Köszönetnyilvánítás	134

Jelölések, rövidítések jegyzéke

<i>ALP</i>	alkalikus foszfatáz
<i>ALT</i>	alanin-aminotranszferáz
<i>ANOVA</i>	varianciaanalízis (<i>analysis of variance</i>)
<i>APN</i>	aminopeptidáz
<i>AST</i>	aszpartát-aminotranszferáz
<i>Bt</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i>
<i>Bt176</i>	GM-kukorica genetikai esemény (toxin: Cry1Ab)
<i>cPCA</i>	kontrasztív főkomponens-analízis
<i>Cry</i>	Cry-toxinok
<i>Cry1Ab</i>	Cry1Ab-toxin
<i>Cry34Ab1</i>	Cry34Ab1-toxin
<i>Cry35Ab1</i>	Cry35Ab1-toxin
<i>Cyt</i>	citolitikus fehérjék
<i>DAS-59122-7</i>	GM-kukorica genetikai eseménykód (toxinok: Cry34Ab1, Cry35Ab1)
<i>DiOC6</i>	3,3'-dihexiloxa-karbocianin-jodid
<i>DNS</i>	Dezoxiribonukleinsav
<i>EFSA</i>	Az Európai Unió Élelmiszerbiztonsági Hivatala (<i>European Food Safety Authority</i>)
<i>ELISA</i>	enzimhez kapcsolt immunszorbens vizsgálat (<i>Enzyme Linked Immunosorbent Assay</i>)
<i>EU</i>	Európai Unió
<i>EUginius</i>	<i>EUginius</i> adatbázis (genetikai események és kombinációik)
<i>FACS</i>	Fluoreszcenciaaktivált sejtszortírozás (<i>Fluorescence-Activated Cell Sorting</i>)
<i>FAO</i>	Mezőgazdasági és Élelmezési Szervezet (<i>Food and Agricultural Organization</i>)
<i>FDA</i>	<i>Food and Drug Administration</i> (USA Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hatóság)
<i>GM</i>	Géntechnológiával módosított
<i>GMO</i>	Géntechnológiával módosított élőlény (<i>genetically modified organism</i>)
<i>GST</i>	glutation-S-transzferáz
<i>GTS 40-3-3</i>	GM-szója genetikai eseménykód
<i>ISAAA</i>	<i>International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications</i>
<i>Ln</i>	<i>n</i> -edik lárvastádium
<i>LAP</i>	leucin-aminopeptidáz

<i>LOD</i>	kimutatási határ (<i>limit of detection</i>)
<i>LOQ</i>	meghatározási határ (<i>limit of quantification</i>)
<i>MON-810</i>	GM-kukorica genetikai eseménykód (toxin: Cry1Ab)
mRNS	hírvívő RNS
NTL	nem célszervezet lepkék
<i>PBS</i>	foszfátpufferelt sóoldat (<i>phosphate-buffered saline</i>)
<i>PCA</i>	főkomponens-analízis (<i>principal component analysis</i>)
R1	kukoricafejlődési stádium: nővirágzás
R4	kukoricafejlődési stádium viaszérés
R5	kukoricafejlődési stádium: horpadás
R6	kukoricafejlődési stádium: fiziológiai érés
V9	kukoricafejlődési stádium: kilencleveles állapot
VT	kukoricafejlődési stádium: pollenszórás
RNS	kibonukleinsav
RR	ROUNDUP READY (<i>glyphosate-tűrő</i>)
<i>sPCA</i>	Standardizált főkomponens-analízis
<i>TUNEL</i>	apoptotikus sejtek kimutatására szolgáló próba
US EPA	Amerikai Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala (<i>United States Environmental Protection Agency</i>)
<i>USA</i>	Amerikai Egyesült Államok
<i>VIP</i>	Vegetatív rovarölő fehérjék

1. Bevezetés

A Cry-toxinokat termelő transzgenikus növényekkel (*Bacillus thuringiensis* (*Bt*)-toxint termelő növények) világszerte bevetett terület 1996-tól 1 millió hektárról 2019-re 109 millió hektárra nőtt (TABASHNIK *et al.*, 2023), ez körülbelül a fele a géntechnológiával módosított növényekkel bevetett területeknek. Emellett az évente 16%-os piaci növekedést mutató biopreparátumok fele *Bt*-készítmény (DARVAS és POLGÁR, 1998; JOUZANI *et al.*, 2017; POLANCZYK *et al.*, 2017). Ennek ellenére a megítélésük igen változó. Az Európai Unióban egyetlen módosított fajta vetése engedélyezett (*MON810*), az elővigyázatosság-elve alapján több tagállam is vetési moratóriumot hirdetett, ilyen például: Ausztria (1999), Magyarország (2005), Görögország (2005), Lengyelország (2006), Olaszország (2006), Franciaország (2008), Románia (2008), Németország (2009), Luxemburg (2009) és Bulgária (2010) (DARVAS és SZÉKÁCS, 2010).

A *Bt*-kukoricák közül a *MON810* esemény Cry1Ab fehérjét termel, amely elsősorban a lepkék rendjébe (Lepidoptera) tartozó célkártevők 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 célkártevőkben kialakuló Cry-toxin-rezisztencia mezőgazdasági szempontból ismert probléma, ugyanakkor az érzékenység populációk között nem célszervezeteknél is változhat.

A kukorica takarmánynövényként halak takarmányozására is széleskörűen alkalmazott. Kína a legnagyobb haltermelő ország az akvakultúrában, 2021-ben a világ édesvízi haltermelés 57,7%-át adta. Az édesvízi haltermelésének legfontosabb faja az amur – *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes), mintegy 5,76 millió tonna éves mennyiséggel (XING-GUO *et al.*, 2023). Mindemelett 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 bélrendszer szövettani jellemzőire, továbbá kimutatható-e Cry-toxin a takarmányban és a szövetekben. Jelen doktori értekezés két, egymást kiegészítő kutatási irányt integrál. Egyrészt terepi és laboratóriumi megközelítéssel kockázatbecslést végez a *MON810* kukoricapollen nem célszervezet lepkékre gyakorolt lehetséges hatásaira, különös tekintettel az *Inachis 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 etetéses kísérletekben értékeli a növényevő amur válaszait GM-kukoricafajták (*MON810* és *DAS-59122*) és azok izogenikus vonalainak felhasználásával.

2. Célkitűzések

Vizsgálataink céljai voltak:

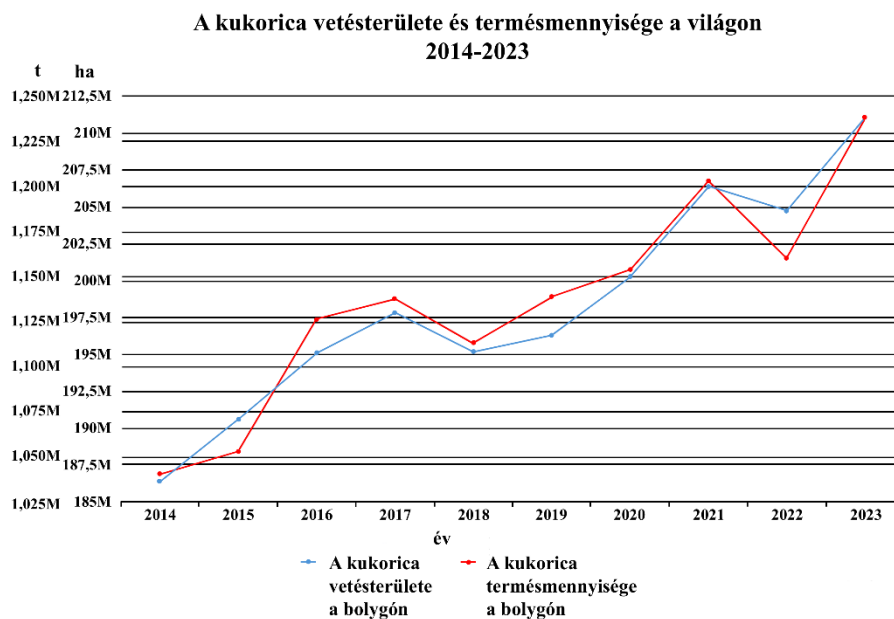
- Felmérni a csalánfoltok előfordulását és az *Inachis io* lárvák jelenlétét hazai kukoricatáblák környezetében.
- Vizsgálni az *Inachis io* korai lárvastádiumainak (L1-L2) túlélését és fejlődését Cry1Ab-toxint termelő, de a természetben előforduló pollenterhelésnek megfelelő kitettségi szinteken.
- Elemezni az egyedi és családi szintű érzékenységi különbségeket (érzékeny és tűrőképes csoportok) *Inachis io*-n a Cry1Ab-toxinnal szemben.
- Hosszú távú etetési vizsgálatok elvégzése fiatal amuron szárított *MON810* és *DAS-59122* kukoricalevelekkel, valamint a közel izogénikus kontrollvonalak és szudánifű leveleivel.
- A Cry1Ab-, illetve Cry34Ab1-toxint tartalmazó levelek etetését követően a toxinok emésztőrendszeri sorsának (lebomlás, kimutathatóság) vizsgálata amuron.
- Annak ellenőrzése, hogy a toxinok kimutathatók-e az amur vérben és különböző szövetekben.
- A növekedési és kondícióparaméterek (testtömeg, hasi szervek tömege) változásainak összehasonlítása a kezelések között 1-, 3- és 6-hónapos kitettség után.
- Vérkémiái és hematológiai végpontok összehasonlítása a kezelések és kontrollok között, az esetleges időfüggő eltérések azonosításával.
- Szövettani vizsgálatok végzése (máj és bélrendszer) a lehetséges szöveti elváltozások feltárására.
- Az immunológiai és sejtkárosodási jelzések (például programozott sejthalál) értékelése, és a kezelésekhez köthető különbségek keresése.

3. Szakirodalmi áttekintés

3.1. A kukorica (*Zea mays*) története és jelenlegi helyzete

A növények nemesítése, vagyis fogyasztási célú szelekciója mintegy 10.000 évre nyúlik vissza, amikor az őseink szelektív tenyésztést alkalmaztak – olyan, a későbbiekben Darwin által bevezetett fogalmak alapján, amelyek tág értelemben a kívánatos tulajdonságokkal (pl. erősebb szár) rendelkező vonalak kiválasztását és ezek tovább termesztését jelentik a legjobb tulajdonságok örökítésére. A növényi genetika e módszerekkel elért egyik legnagyobb átalakulása a kukorica szelekciója volt: egy gyomnövény jellegű fűféléstől, amely apró csövekkel és kevés szemmel rendelkezett (*teosinte*; legkorábbi feljegyzett előfordulás: a középső Balsas-folyó völgye, Dél-Mexikó, 6.300 évvel ezelőtt) jutott el a mai, ehető csemegekukorica- és kukoricafajtáig (RAMAN, 2017). GALINAT (1988) szerint a kukorica eredete az Újvilág mezőgazdaságának kialakulásához köthető. Az amerikai indiánok nemesíthették ki a kukoricát, és ők voltak az első nemesítők, mivel a *teosinte* apró, körülbelül 3 cm hosszú, kétsoros csövét átalakították az első, kisméretű kukoricacsövévé, amelyen már négy sorban helyezkedtek el a páros női füzérek (GALINAT, 1988; GARCÍA-LARA és SERNA-SALDIVAR, 2019). Hasonló technikákkal hozták létre az alma, a brokkoli és a banán mai, az ősi növényi formáktól eltérő változatait is, amelyek az emberi termesztés szempontjából sokkal kívánatosabbak (RAMAN, 2017). A több évezredes szelekció eredményeként a kukorica nagy termőképességű, sokféle termőhelyhez alkalmazkodó növényé vált, ami a későbbi, gyors földrajzi terjedés alapfeltétele volt. A kukorica a közép-amerikai civilizációk ételmezésében központi szerepet töltött be, majd a földrajzi felfedezéseket követően világszerte elterjedt. Európában a kukorica elterjedése a termelési előnyök mellett társadalmi és ételmezési tényezőkhez is kötődött (ADIAHA *et al.*, 2016). A 17. századtól több térségben a népességszám növekedése és az ismétlődő gabonaválságok felértékeltek a kukoricát, amely különösen Délkelet-Európában a 19. század elejére több helyen a mindennapi ételmezésben a fő kenyérgabona szerepét is betöltötte. A hagyományos európai kukoricaételek sokfélesége azt jelzi, hogy a kukorica a kontinensen nem kizárólag takarmány- és ipari növényként, hanem a helyi ételmezerkultúrák tartós elemeként is jelen van (REVILLA *et al.*, 2022).

Bolygószerint a kukorica a három legnagyobb területen és mennyiségben termelt gabonanövény közé tartozik (a búza és a rizs mellett), és egyszerre szolgál ételmezési, takarmányozási és ipari célokat. 2023-ban a kukorica globális termelése elérte az 1,2 milliárd tonnát (1. ábra), amely jól érzékelteti a növény fontosságát az ételmezer- és takarmányellátásban (FAO, 2024).



1.ábra A kukorica vetésterülete a bolygón 2014-2023
(FAOSTAT, 2025).

Az Európai Unió (EU) 27 tagállamában a kukorica vetésterülete 2024-ben 8,6 millió hektárt tett ki szemeskukorica és 5,0 millió hektárt silókukorica esetében. Az éves összes termés 58,9 millió tonna szemeskukorica volt. A legnagyobb kukoricatermelők Franciaország, Románia, Németország, Magyarország és Olaszország; ezekben az országokban a kukoricát egyenként több mint 1 millió hektáron termesztik (FAOSTAT, 2025).

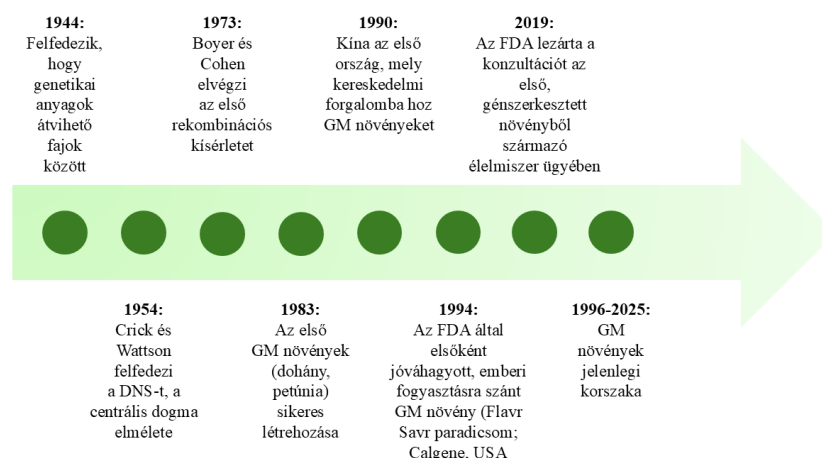
Magyarország egyik legfontosabb gabonaféléje a kukorica, amelyet mind belföldi fogyasztásra, mind exportra termelünk. A kukorica foglalja el a legnagyobb vetésterületet, mintegy 1 millió hektárt, ezt követi a búza és az árpa, éves 6–8 millió tonnás termeléssel. A kukoricatermés felhasználása a következőképpen oszlik meg: 48% exportra kerül; 33%-ot takarmányozási célra használnak; 18% az agrárfeldolgozó iparban kerül felhasználásra; és 1%-ot vetőmag-előállításra fordítanak (SSEMUGENZE *et al.*, 2024).

3.2. Géntechnológiával módosított *Bt*-növények

3.2.1. A géntechnológiával módosított növények története

A modern genetikai módosításhoz vezető fejlesztések 1944-ben kezdődtek (2. ábra), amikor a tudósok először fedezték fel, hogy genetikai anyag különböző fajok között is átvihető (AVERY *et al.*, 1944; CLIVE, 2011; BAWA és ANILAKUMAR, 2013; ZHANG, *et al.*, 2016; RAMAN, 2017). Ezt követte a DNS kettős spirál szerkezetének felfedezése, valamint a „centrális dogma” – vagyis a DNS átírása RNS-re (transzkripció) és az azt követő fehérjeszintézis

(transzláció) – megfogalmazása Watson és Crick által 1953-ban (DAHM, 2005, RAMAN, 2017). A *GMO*-technológiában óriási áttörést jelentett 1973, amikor Herbert Boyer és Stanley Cohen együttműködve létrehozták az első sikeres géntechnológiával módosított organizmust. A két kutató olyan módszert dolgozott ki, amellyel nagy pontossággal ki lehetett vágni egy gént az egyik szervezetből, majd beilleszteni egy másikba. Ennek a módszernek az alkalmazásával egy antibiotikum-rezisztenciát kódoló gént vittek át az egyik baktériumtörzsből egy másikba, így a befogadó törzs is antibiotikum-rezisztenssé vált (COHEN *et al.*, 1973; RANGEL, 2015; RAMAN, 2017). A mezőgazdaságban az első géntechnológiával módosított növényeket – antibiotikumrezisztens dohányt és petúniát – 1983-ban három egymástól független kutatócsoport hozta létre. 1990-ben Kína lett az első ország, amely kereskedelmi forgalomba hozott vírusrezisztens GM-dohányt. 1994-ben a FLAVR SAVR paradicsom (Calgene, USA) lett az első, az Egyesült Államok Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hatósága (*FDA*) által emberi fogyasztásra engedélyezett GM-növény. Ezt a paradicsomot antiszensz (RNS alapú) technológiával módosították a poligalakturonáz enzim termelődésének gátlása érdekében; ennek következtében késleltetett érés és fokozott rothadással szembeni ellenállóság jött létre (BAWA és ANILAKUMAR, 2013; ZHANG *et al.*, 2016; RAMAN, 2017). Ezt követően több transzgenikus növény kapott engedélyt nagyüzemi termesztésre. 1995-ben néhány transzgenikus növény megkapta a forgalomba hozatali engedélyt. Ezek közé tartoztak a módosított olajösszetételű repce/canola (Calgene), a *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) gént tartalmazó kukorica (Monsanto és Ciba-Geigy), a *bromoxynil* gyomirtó szerrel szemben rezisztens gyapot (Calgene), a *Bt*-gyapot (Monsanto), a *Bt*-burgonya (Monsanto), a *glyphosate* gyomirtó szerrel szemben rezisztens szója (Monsanto), a vírusrezisztens tök (Asgrow), valamint további, késleltetett érésű paradicsomvonalak (DNAP, Zeneca/Peto és Monsanto).



2. ábra. Génmódosított növények mérföldkövei (RAMAN, 2017 nyomán).

1996-ig összesen 35 engedélyt adtak ki 8 transzgenikus haszonnövény és egy dísnövény (szegfű) kereskedelmi termesztésére, 8 különböző tulajdonsággal, 6 országban, valamint az Európai Unióban (CLIVE, 2011; BAWA és ANILAKUMAR, 2013; RAMAN, 2017). Jelenleg a GM-növények fejlesztési iránya más gyümölcsökre, zöldségekre és gabonafélékre is kiterjed – például salátára, eperre, padlizsánra, cukornádra, rizsre, búzára, sárgarépára stb. –, tervezett felhasználási célokkal, mint a vakcinák biotermelésének növelése, a takarmányozás tápértékének javítása, illetve a növények só- és szárazságtűrésének fokozása kedvezőtlen éghajlati és környezeti feltételek mellett (BAWA és ANILAKUMAR, 2013; ZHANG *et al.*, 2016; RAMAN, 2017). A globális élelmiszertermés (1996–2013) több mint 370 millió tonnával nőtt viszonylag kis területnövekedés mellett (BAWA és ANILAKUMAR, 2013; RAMAN, 2017).

3.2.2. A géntechnológiával módosított növények helyzete

2024-ben a géntechnológiával módosított növények vetésterülete 209,8 millió hektár volt (LI *et al.*, 2025). A kukorica, a szója, a gyapot és a repce világszerte legszélesebb körben termesztett kereskedelmi célú GM-növények, elfogadottsági arányuk 33,7%, 74,9%, 78,4% és 24,3%, együttesen a GM-növények vetésterületének 99,19%-át teszik ki. Világszerte összesen 28 országban termesztettek 10 GM-növényt, és a vetésszerkezet erős földrajzi koncentrációt mutatott. Az öt legnagyobb termelő ország – az Egyesült Államok, Brazília, Argentína, India és Kanada – a GM-növények vetésterületének 90,6%-át adta. Az Egyesült Államok a világ legnagyobb termelője maradt, összesen 75,4 millió hektár vetésterülettel. Brazília áll a második helyen, 67,9 millió hektárral (LI *et al.*, 2025; KOLE *et al.*, 2025). Az *EUginius*-adatbázis (EUginius, 2026) 1054 genetikai eseményt és kombinációt tartalmaz, amely lényegesen bővebb változata az Európai Bizottság regiszterének. Ehhez képest a fajtatulajdonosi adatbázisban (*ISAAA – International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications*) (ISAAA, 2026) csak 645 eseményt és kombinációit találunk meg. Az egyszeres módosítások száma, amelyből a kombinációk előállnak, jóval kevesebb. Ez különösképpen feltűnő GM-kukorica esetében. Ötvenhárom növényfajból 456 egyszeres módosítást jegyez fel az *EUginius*-adatbázis. Ebből 69 genetikai eseménynek van legalább takarmányozásra szóló engedélye (15%) az Európai Unióban. Eszerint a magyarországi *GMO*-mentesség – a rekombináns gyógyszerek miatt is – eleve hibás megnevezés. Az EU-tagországok jelölés terhe mellett ma 69 növényre vonatkozó genetikai eseményt keverhetnek be a takarmányaikba, használhatják összetett élelmiszerek kiegészítésére, vagy megvásárolhatják, mint dísnövényt. Vagyis az EU-tagországok csak a GM-növények vetésétől mentesek, kivéve ez alól a *MON810*, elsősorban lepkehernyókra toxikus kukoricát tekintve két országban: Spanyolország (46.327 ha) és Portugália (1.898 ha); ez pedig nagy csökkenést mutat, az elmúlt évekhez képest (DARVAS *et al.*, 2004; 2011; SZÉKÁCS és DARVAS, 2012a; 2012b; 2012c; TAKÁCS *et al.*,

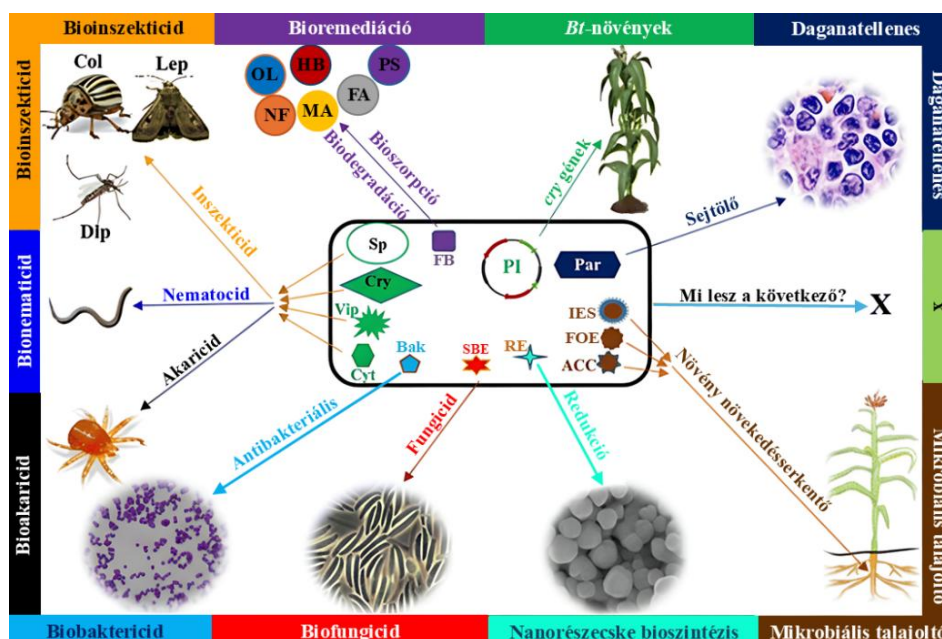
2012a; BÁNÁTI *et al.*, 2017; INFOGM, 2019; DARVAS és GYURCSÓ, 2020; MESSÉAN *et al.*, 2025).

3.2.3. *Bacillus thuringiensis*

A *Bacillus thuringiensis* Berliner (*Bt*) története 125 évvel ezelőtt kezdődött 1901-ben, amikor a japán bakteriológus Shigetane Ishiwata selyemhernyó (*Bombyx mori* Linnaeus) betegségét vizsgálva izolálta, később azt is megjegyezte, hogy ezt toxin okozhatja (BEEGLE és YAMAMOTO, 1992; SANAHUJA *et al.*, 2011; BRAVO *et al.*, 2012; DE ALMEIDA MELO *et al.*, 2014; ZHANG és ZHOU, 2025). Egy évtizeddel később 1911-ben Németországban Ernst Berliner újra felfedezte lisztmolyból (*Ephestia kuehniella*), mivel Ishiwata nem írta le formálisan, Berliner nevezte el a *Bacillus thuringiensis* új rovarpatogén baktériumot (BEEGLE és YAMAMOTO, 1992; DARVAS, 1999; SANAHUJA *et al.*, 2011; BRAVO *et al.*, 2012; DE ALMEIDA MELO *et al.*, 2014; ZHANG és ZHOU, 2025). A XX. század elején az észak-amerikai kontinensen megjelenő és súlyos károkat okozó európai kukoricamolylepke (*Ostrinia nubilalis* Hübner) elleni kutatásokat az Egyesült Államok finanszírozta, melynek magyar vonatkozása is volt. Az 1920-as évek végén Husz Béla szabadföldi kísérleteket végzett, ami nagyban hozzájárult a későbbi sikerekhez (HUSZ, 1929; BEEGLE és YAMAMOTO, KESZTHELYI, 2004; SANAHUJA *et al.*, 2011). Az első rovarölő *Bt*-készítményt 1938-ban fejlesztették ki a Berliner által izolált törzs felhasználásával (SPORINE) (DARVAS, 1999; BEEGLE és YAMAMOTO, 1992; ILSI, 2011; SANAHUJA *et al.*, 2011; BRAVO *et al.*, 2012; ZHANG és ZHOU, 2025). A világpiacon először 1957-ben a Pacific Yeats Product jelent meg a THURICIDE nevű készítményével (DARVAS, 1999; BEEGLE és YAMAMOTO, 1992). 1962-ben Edouard Kurstak a franciaországi Párizs közelében, Bures-sur-Yvette-ben található egyik lisztmalomból származó, beteg *E. kuehniella* lárvákból izolálta a *B. thuringiensis* egy másik alfaját a *Bt. var. kurstaki*-t (először *alesti*-nek írták le), amely 20-200-szor patogénebb volt, mint a *Bt. var. thuringiensis* (DULMAGE, 1970; BEEGLE és YAMAMOTO, 1992; DARVAS, 1999). Még ebben az évben az Abbott Laboratórium ebből fejlesztette ki a DIPEL nevű készítményt (BEEGLE és YAMAMOTO, 1992; DARVAS, 1999). 1962-ben a japán Kyushu Egyetemen Keio Aizawa új alfajt izolált, ezt *aizawai*-nak nevezték el. A *Bt. var. aizawai*-t hatékonyak találták a nagy viaszmolylepke (*Galleria mellonella* Linnaeus) és a *Spodoptera* fajok lárvái ellen. 1976-ban Goldberg és Margalit szúnyoglárvák ellen hatékony *Bt*-izolátumokat találtak Izraelben. Ezt az új izolátumot *Bt. var. israelensis*-ként nevezték el (GOLDBERG és MARGALIT, 1977; BEEGLE és YAMAMOTO, 1992; DARVAS, 1999). Legkésőbb fedezték fel a még kereskedelmi szempontból ígéretes *Bt. var. tenebrionis*, amelyet KRIEG *et al.* találtak beteg lisztbogár (*Tenebrio molitor* L.) egyedekben, és bizonyos bogárlárvák

(*Coleoptera*) ellen aktív. A kristályok laposak és négyzet alakúak, és az azokat felépítő fehérje egyedi (KRIEG *et al.*, 1983; BEEGLE és YAMAMOTO, 1992; DARVAS, 1999).

Kezdetben megannyi egészségügyi gyanú vette körül a korát messze megelőző felfedezést. Magyarországon csak 1994-től került alkalmazásra élelmisznövényeken az akkor egyedülként kapható DIPEL. A *Bacillus thuringiensis* igazán nagy sikere azonban a *Bt*-növények kifejlesztésével következett be. Ezek a transzgenikus növények termelik a toxinjait és ennek eredményeként ellenállóvá válnak a rovarok támadásával szemben, beleértve azokat a szárfűrő kártevőket is, amelyeket a felületre kijuttatott *Bt*-készítményekkel nehéz volt kontrollálni. Ez vezetett a *Bt*-növények kereskedelmi bevezetéséhez 1995-ben (SANAHUJA *et al.*, 2011; BRAVO *et al.*, 2012). A Cry-toxinokat termelő transzgenikus növényekkel világszerte bevetett terület 1996-tól 1 millió hektárról 2019-re 109 millió hektárra nőtt (TABASHNIK *et al.*, 2023). Emellett az évente 16%-os piaci növekedést mutató biopreparátumok fele *Bt*-készítmény (JOUZANI *et al.*, 2017; POLANCZYK *et al.*, 2017). A rovarpatogén hatása mellett az utóbbi évtizedben széles körben vizsgálják a Cry-toxinokban rejlő további lehetőséget, mint például nematocid hatás, nehézfémek bioremediációja, daganatellenes aktivitás (3. ábra) (JOUZANI *et al.*, 2017).



3. ábra. Cry-toxinokban rejlő lehetőségek.

Magyarázat: ACC: ACC-dezamináz, BAK: baktericid, Col: Coleoptera, Cry: kristályfehérjék, Cyt: citolitikus fehérjék, Dip: Diptera, FA: festékanyagok, FB: fehérjealapú bioremediáció, FOE: foszfátoldó enzimek, HB: herbicidek, IES: indol-3-ecetsav, Lep: Lepidoptera, NF: nehézfémek, MA: Műanyagok, OL: olaj, Par: parasporin, Pl: plazmid, PS: peszticidek, RE: redukáló enzimek, SBE: sejtfallbontó enzimek, Sp: spóra, VIP: vegetatív rovarölő fehérjék (JOUZANI *et al.*, 2017 nyomán).

A *Bacillus cereus* Frankland & Frankland csoport tagja, a *Bacillus thuringiensis* pálcika alakú, aerob, Gram-pozitív, toxin- és spóráképző, rovarpatogén baktérium, amely a természetes környezetünkben (talajokban, vízben, beteg rovarokban) mindenütt elterjedt (DARVAS, 1999; BRAVO *et al.*, 2010; PALMA *et al.*, 2014). A *B. thuringiensis* meghatározó jellemzője, hogy sporuláció során fehérjetermészetű kristályokat képes előállítani, eközben a spóra újra létrehozza a vegetatív baktériumsejtet, amely gyorsan felszaporodik. A kristályképző képességét elveszítheti (ekkor szaprofita talajokban), így nem lehet megkülönböztetni a *B. cereus*-tól. Hasonlóképpen a *B. cereus* is átalakítható *B. thuringiensis*-sé, és a transzformációs mechanizmus vizsgálata ahhoz a felismeréshez vezetett, hogy a kristályképződést plazmidon hordozott gének határozzák meg. Ezek a gének, amelyek a Cry/Cyt fehérjéket kódolják, sporuláció alatt válnak aktívvá, mert működésüket egy dedikált RNS-polimeráz szabályozza, amely szintén kifejezetten a spóráképződés során szintetizálódik. A spórák fehérjetartalmának akár 20%-át is ezek a Cry/Cyt toxinok tehetik ki (ARONSON, 2002; SANAHUJA *et al.*, 2011).

A *Bt*-törzsek a sporuláció kezdetén és a stacioner növekedési fázis során kristályos (Cry) és citolitikus (Cyt) toxinokat (más néven δ -endotoxinokat) szintetizálnak parasporális, kristályos zárványok formájában. Ezen felül a *Bt*-izolátumok a vegetatív növekedési fázisban is képesek más rovarölő fehérjetoxinokat szintetizálni; ezek a fehérjék később kiválasztódnak a tenyésztőközegbe, és vegetatív rovarölő fehérjéknek (Vip), illetve kiválasztott rovarölő fehérjének (Sip) (DONOVAN *et al.*, 2006, PALMA *et al.*, 2014) nevezik őket. A Cry-toxinok hatásmechanizmusát elsősorban lepkéken írták le. A Cry-toxinok elsődleges hatása a célzott rovar középbélhámsejtjeinek lízise, amelyet a sejtek apikális mikrobolyhos membránjában kialakuló pórusok révén idéznek elő (KNOWLES *et al.*, 1993; BRAVO *et al.*, 2007; PALMA *et al.*, 2014). Mindazonáltal a toxicitás összefügghet a receptorhoz való kötődést követő, G-protein közvetítette apoptózissal is (ZHANG *et al.*, 2006, BRAVO *et al.*, 2007; PALMA *et al.*, 2014). A Cry-fehérjék a kristályzárványokban található protoxinokból a membránba beépülő oligomerekké alakulnak, amelyek ionszivárgást és sejtízist okoznak. A fogékony lárvák által felvett kristályzárványok a bél lúgos környezetében feloldódnak, és az oldható, inaktív protoxinokat a középbél proteázai hasítják, így 60–70 kDa-os, proteázoknak ellenálló fehérjék keletkeznek (BRAVO *et al.*, 2007). A lúgos környezet feltétele az aktiválódásnak, ezért lehet szelektív, és nem aktiválódik emlősök savas közegű gyomrában. A toxin aktivációja során egy N-terminális peptid távolodik el proteolitikusan (Cry1-toxinok esetén 25–30 aminosav, Cry3A esetén 58, Cry2Aa esetén 49 aminosav), továbbá a hosszú Cry-protoxinok esetében a megmaradt fehérje C-terminális részének hozzávetőleg a fele is lehasad. Az aktivált toxin ezután a középbél hengeres epiteliális sejtjeinek kefeszegély membránján található specifikus receptorokhoz kötődik (DE MAAGD *et al.*, 2001; BRAVO *et al.*, 2007), majd ezt követően épül be a membránba. A membránba történő beépülés

lízist okozó pórusok kialakulásához vezet az apikális membrán mikrobolyhaiban (ARONSON ÉS SHAI, 2001; BRAVO *et al.*, 2007). Ezt követően a sejtlízis és a középbél-hám károsodása a sejttartalom kiáramlását okozza, ami csirázási közeget biztosít a spórák számára, de a bélüregben élő szaprofita mikroorganizmusok is patogénné válnak, így mindez súlyos szeptikémiához és végső soron a rovar pusztulásához vezet. Ez az oka annak, hogy a δ -endotoxinok önmagukban is képesek kifejteni a hatásukat (DARVAS, 1999; DE MAAGD *et al.*, 2001; BRAVO *et al.*, 2007).

A Cry-fehérjéket kezdetben négy osztályba (I, II, III és IV) sorolták az alapján, hogy mely rovarrendekre toxikusak. A CryI fehérjék kizárólag a lepkék (Lepidoptera) ellen voltak hatékonyak, a CryII fehérjék a lepkék (Lepidoptera) és a kétszárnyúak (Diptera) ellen, a CryIII fehérjék a bogarak (Coleoptera) ellen, míg a CryIV fehérjék a kétszárnyúak (Diptera) ellen voltak toxikusak. Ezt a rendszert később frissítették az újonnan azonosított Cry-fehérjék és a molekuláris szerkezetükkel, működésükkel, illetve rokonsági viszonyaikkal kapcsolatos ismeretek bővülése miatt, ami néhány kisebb eltérést eredményezett a korábbi szakirodalomban használt elnevezésekhez képest (CRICKMORE *et al.*, 1998; ILSI, 2011). A *Bacterial Pesticidal Protein Database* (Bacterial Pesticidal Protein Resource Center, 2026) alapján különböző technikák alkalmazásával 966 különböző toxingént klónoztak és soroltak be: 74 Cry-csoportba, 8 Cyt-csoportba és 3 Vip-fehérjecssoportba (BRAVO *et al.*, 2017; CRICKMORE *et al.*, 2021)

3.2.4. Rezisztencia kialakulásának mechanizmusa Cry-toxinra

„A gazda és kórokozó kapcsolatában egyensúlyi elvek érvényesülnek. Az agresszíven patogén kórokozók az evolúciós törvényszerűségek szerint kiszelektálódnak, hiszen ignorálják a gazdával való harmonikus együttélést” (DARVAS, 1999). A *Bacillus thuringiensis* alkalmazásával kapcsolatos egyik fő aggodalom a Cry-toxinokkal szemben rezisztens rovarpopulációk kialakulása. 1982-ben fedezték fel az első Cry-toxinra rezisztens rovar törzset, de mára a világ minden részén találtak. A Cry-toxinokkal szembeni rovarrezisztencia molekuláris mechanizmusainak elemzése nagyrészt laboratóriumi körülmények között szelektált rezisztens rovarpopulációk vizsgálatán alapult. Többek között készletmolyon, *Plodia interpunctella* (Hübner), európai kukoricamolyon (*Ostrinia nubilalis*) melyeknél több nagyságrenddel kevésbé érzékeny populációt kaptak (DARVAS, 1999; FERRÉ és VAN RIE, 2002; BRAVO *et al.*, 2010.) *P. interpunctella* populációban alacsonyabb proteáz- és protoxinaktiváló aktivitást találtak. Ezek a különbségek a bélben található egyik fő, tripszin-szerű proteináz hiányának voltak tulajdoníthatók. A genetikai analízis azt mutatta, hogy a fő proteáz hiánya és a CryIAb-toxinnal szembeni rovarrezisztencia együtt öröklődött (koszegregációt mutatott) (OPPERT *et al.*, 1997; BRAVO *et al.*, 2010). A csökkent tápcsatornai proteáz-aktivitás következménye a bélben kialakuló aktivált toxin alacsonyabb koncentrációja volt (OPPERT *et al.*, 1997; BRAVO *et al.*,

2010) A rezisztens törzs megváltozott növekedést és morfológiát mutatott, ami arra utal, hogy ez az allél valószínűleg nem kedvező a természetes populációkban történő szelekcióhoz.

A Cry-toxinokkal szembeni rezisztencia leggyakoribb mechanizmusa a megváltozott receptorkötés (FERRÉ és VAN RIE, 2002, BRAVO *et al.*, 2010). Különböző lepkefajok eltérő rezisztens populációiban a Cry-toxinok kötődésének zavara figyelhető meg. Egy Cry1Ab-re rezisztensre szelektált *P. interpunctella* törzsben a toxinkötési affinitás (K_d) 50-szeresére csökkent. Érdekes módon ez a törzs fokozott fogékonyságot mutatott a Cry1C-toxin iránt, ami összefüggött az ehhez a toxinhoz tartozó kötőhelyek számának növekedésével (FERRÉ és VAN RIE, 2002, BRAVO *et al.*, 2010).

Az Európai Unió Élelmiszerbiztonsági Hivatala (EFSA) kötelezi a fajtatulajdonost (Bayer) a piacra kerülés utáni környezeti vizsgálatokra (*Post-Market Environmental Monitoring*), melynek kiemelten fontos része a rezisztenciavizsgálat célszervezetekre. A vizsgálatok nem mutattak sem az európai kukoricamolyban, sem pedig a mediterrán kukoricamolyban (*Sesamia nonagrioides* Lefebvre) rezisztenciát a MON810 kukoricával (Cry1Ab-toxinnal) szemben. A mediterrán kukoricamoly vizsgálatai aggodalomra adnak okot, mert a hatékonyság 99%-ban a meghatározott küszöbérték alatt maradt az egymást követő két évben (2022/23). Éppen ezért fontos a rovarrezisztencia-kezelési rendszer, mely előírja az 5 ha feletti területeknél 20% menedéksáv létrehozását, hagyományos kukorica vetésével, az ún. *high-dose/refuge* (magas dózis/menedékterület) stratégia mellett (MESSÉAN *et al.*, 2025).

3.2.5. Cry1Ab-rezisztens rovarnépesség

A Cry1Ab-toxinra toleráns és rezisztens kártevőtörzsek viszonylag hamar szelektálódtak ki a kukorica kártevői közül. A jelenség a *Bacillus thuringiensis* endotoxinokkal (értsd betegségek) szembeni koevolúciós jelenséggel magyarázható (MASRI *et al.*, 2015), ahol a kórokozó szelektálja az érintett népességet, amely valamilyen úton esélyt nyer a túlélésre. Mindez általános jelenség az állatvilág metabolikus- és immunrendszerét tekintve, legyen az bármilyen kezdetleges fejlettségi szinten.

A célszervezeteknél (Cry1Ab-toxintermelő növényeknél Lepidoptera) kialakuló rezisztenciától való félelem miatt elkezdődtek az erre irányuló kísérletek, ahol rezisztens rovargenerációkat figyeltek meg, de szabadföldön is jelentek meg a jelentős GM-szántóföldekkel rendelkező országokban (I. táblázat). A készletmoly (*Plodia interpunctella*), amely a tárolt gabona egyik jelentős kártevője, laboratóriumi vizsgálatban a rezisztencia két nemzedék alatt közel 30-szorosára nőtt egy olyan törzsben, amelyet *B. thuringiensis*-szel kezelt táplálékon neveltek, majd 15 nemzedék után a rezisztenciaszint a kontrollhoz képest mintegy 100-szorosára nőtt (JENKINS, 1993). Az Egyesült Államokban Minnesota államban 2001-ben szabadföldi mintavételből származó

európai kukoricamoly populációban Cry1Ab-re rezisztens egyedeket találtak. Ezeket laborban szelektálták és >1000-szeres rezisztenciát mutattak, és keresztrezisztenciát mutattak Cry1Ac- és Cry1Aa-toxinokra és alacsonyabban Cry1F-toxinra (SIEGFRIED *et al.*, 2007; CRESPO *et al.*, 2011). Hazai kísérletben 21 nemzedékes vizsgálatban *P. interpunctella* MON810 Cry1Ab-toxint termelő kukoricalevél-örleményen neveltek, és már az első három nemzedékben megfigyelhető volt a túlélő egyedek számának a növekedése. A 10. generációban jelentősen nőtt a túlélők száma, a 20. generációban nem volt különbség a mortalitásban a kontrollhoz képest (DARVAS *et al.*, 2011). Két bagolylepke (*Noctuidae*) faj a Földközi-tenger medencéjében a kukorica gyakori kártevője. A Cry-toxinokra csak kis mértékben fogékonyak. Egy 2005–2008 között végzett szabadföldi vizsgálatokban többségében nem mutattak különbséget a *Helicoverpa armigera* Hübner lárvák növényenkénti számában a *Bt*- és az izogén fajták között. Laboratóriumi körülmények között a *Mythimna unipuncta* (Haworth) lárváinál 15%-os túlélést mértek (EIZAGUIRRE *et al.*, 2010; PÉREZ-HEDO *et al.*, 2012). Az afrikai kukoricaszár-fűrómoly, *Busseola fusca* (Fuller) kártevő az elsők között volt, amelynél túlélő rezisztens népséget találtak a Cry1Ab toxint termelő *Bt*-kukoricával szemben. Már a *Bt*-kukorica bevezetését követő első szezonban számos területen találtak túlélő népséget. Dél-Afrikában az egy genetikai eseményt tartalmazó kukoricatermő-területek rovarölő szeres kezelést igényelnek (VAN DEN BERG *et al.*, 2013). Spanyol laboratóriumi rezisztencia kísérletben *M. unipuncta*-t vizsgáltak. A szelektált törzs Cry1Ab-toxin rezisztenciája gyorsan növekedett, mindössze nyolc szelektációs nemzedék után 50%-ban be tudta fejezni fejlődését (GONZÁLEZ-CABRERA *et al.*, 2013). Brazíliában 2010 és 2015 között vizsgálták a szabadföldön gyűjtött *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) egyedeinek Cry1Ab toxinrezisztenciáját. Ez idő alatt az átlagos túlélési arány szignifikánsan nőtt, 33,0%-ról 70,9%-ra, miközben ugyanebben az időszakban a túlélők átlagos növekedésgátlása 89,4%-ról 23,1%-ra csökkent. Mindkét eredmény azt jelezte, hogy a Cry1Ab-toxinnal szembeni érzékenység csökkent (OMOTO *et al.*, 2015). Etetési vizsgálatban Cry1Ab-toxinra érzékeny és rezisztens *Diatraea saccharalis* (Fabricius) törzseket kereszteztek. Tápváltási kísérletben vizsgálták az utódok érzékenységét módosított kukoricán. Ezek a lárvák, ha tápot váltottak módosított és hagyományos kukorica között, ki tudtak fejlődni és életképes petéket tudtak rakni (YANG *et al.*, 2016).

I. táblázat: Cry1Ab-rezisztens rovarnépesedések.

Faj	Hely	Forrás
<i>Busseola fusca</i>	Dél-Afrika	VAN DEN BERG <i>et al.</i> , 2013
<i>Diatraea saccharalis</i>	laboratórium	YANG <i>et al.</i> 2016
<i>Helicoverpa armigera</i>	laboratórium	PÉREZ-HEDO <i>et al.</i> , 2012
<i>Helicoverpa zea</i>	USA	DIVELY <i>et al.</i> , 2023
<i>Mythimna unipuncta</i>	laboratórium	GONZÁLEZ-CABRERA <i>et al.</i> , 2013
<i>Ostrinia nubilalis</i>	USA, India, Kína	SIEGFRIED <i>et al.</i> , 2007; TABASHNIK <i>et al.</i> , 2014, 2019
<i>Ostrinia nubilalis</i>	Kanada	SMITH és FARHAN, 2023
<i>Ostrinia nubilalis</i>	laboratórium	CRESPO <i>et al.</i> , 2011
<i>Plodai interpunctella</i>	laboratórium	DARVAS <i>et al.</i> , 2011
<i>Spodoptera frugiperda</i>	Brazília	OMOTO <i>et al.</i> , 2015

Kanadában az európai kukoricamoly, *O. nubilalis* Bt-toxint termelő kukoricával szembeni, szabadföldön kialakult rezisztenciájának első esetét 2018-ban fedezték fel Új-Skócia tartományban. Rezisztencia vizsgálatban 2018 és 2020 között Kanadában több kukoricatermesztő régióból gyűjtöttek *O. nubilalis* egyedeket, majd utódaik fogékonyságát tesztelték négy, a jelenleg elérhető, *O. nubilalis* ellen célzott Bt-kukoricák által termelt toxinra: Cry1Fa, Cry1Ab, Cry1A.105 és Cry2Ab. A törzsek 52%-ában a Cry1Fa rezisztenciaarány elérte vagy meghaladta a 10-et, a Cry1Ab, Cry1A.105 és Cry2Ab esetében alacsony, ugyanakkor statisztikailag szignifikáns fogékonyságcsökkenést észleltek a rezisztenciaarányok 3,9; 5,8; 2,0 volt (SMITH és FARHAN, 2023). Az Egyesült Államokban és Kanadában *Helicoverpa zea* (Boddie) rezisztenciájának kialakulásának nyomon követésére Bt-kukoricát alkalmaztak jelzőnövényként, a kutatócsoport 2020–2022 között 146 kísérletet állított be 25 amerikai államban és 5 kanadai tartományban. Az eredmények széles körű rezisztenciát jeleztek a Cry1Ab-, Cry2Ab2- és Cry1A.105 Cry-toxinokkal szemben. Számos kísérleti helyszínen a Bt-kukorica csöveiben több lárva élte túl a fejlődést, mint a nem Bt-kukorica csöveiben. Bár a *Vip3Aa*-toxin továbbra is magas hatékonyságú védelmet nyújt *H. zea* ellen, az eredmények számottevő növekedést mutattak a csökárosítás mértékében és a túlélő, idősebb (fejlettebb) lárvák számában, különösen a déli helyszíneken DIVELY *et al.*, (2023).

3.3. Géntechnológiával módosított Bt-növények ökotoxikológiai eredményei

3.3.1. Bt-növények a talajban

Aggályok merülnek fel a transzgenikus növények gyökérváladákaival a környezetbe jutó Cry-toxinok környezeti kockázataival kapcsolatban. Ezek a toxinok agyagos talajokban a talajásványokhoz erősen adszorbeálódnak, ami fokozza perzisztenciájukat, és fenntartja rovarölő tulajdonságaikat. Ezzel szemben homokos talajokban a Cry-toxinok szintje gyorsabban csökken, főként fiziko-kémiai lebomlás következtében (HAYNES és NORDE, 1994; HELASSA *et al.*, 2011; HUNG *et al.*, 2016; OLIVEIRA-FILHO és GRISOLIA, 2022). Az US EPA újraértékelése

szerint a *Bt*-növények által a talajba juttatott Cry-toxinok többsége gyorsan (1–15 nap alatt) lebomlott, ugyanakkor a maradványok biológiailag aktív formában több mint 40 napig fennmaradtak. Tarlómaradványból egy év múltán 1–8%-ot vissza tudtak mérni a növényben termelt toxinmennyiségből (SZÉKÁCS és DARVAS, 2007). Talajbaktériumokkal, aktinomicétákkal, gombákkal, protozoonokkal, fonálférgekkel, ugróvillásokkal vagy földigilisztákkal végzett vizsgálatok alacsony toxikológiai kockázatot jeleztek (SAXENA és STOTZKY, 2001; OLIVEIRA-FILHO és GRISOLIA, 2022). Mindazonáltal a Cry-endotoxinok talajban történő felhalmozódását, illetve a nem célzott szervezetekre gyakorolt (feltételezett) alacsony toxicitást további vizsgálatokkal szükséges pontosítani (SAXENA és STOTZKY, 2001; MENDELSON *et al.*, 2006; OLIVEIRA-FILHO és GRISOLIA, 2022). Megállapították, hogy a *Bt*-növények talajban történő lebomlása lassabb, mint a hagyományos növényeké. A *Bt*-növényi biomassa alacsonyabb lebomlási üteme nem áll közvetlen összefüggésben a talaj mikrobiotájával. A kutatók ezeket a hatásokat *Bt*-kukorica és hagyományos kukorica lebomlási sebességének összehasonlításával figyelték meg. Ebben az esetben a lignintartalom szignifikánsan magasabb volt a módosított kukoricában (FLORES *et al.*, 2005, OLIVEIRA-FILHO és GRISOLIA, 2022). Ez közre játszhat abban is, hogy a *Folsomia candida* ugróvillások jobban preferálják a közel izogén kukoricát a Cry-toxint termelő módosítottal szemben (BAKONYI *et al.*, 2006). A Cry-toxinok talajbeli perzisztenciáját több tényező összefüggésében értékelték, így a mikrobiológiai aktivitás, az oldhatóság/kioldódás, a talaj pH-ja, a talaj szerves-ásványi frakciójához való adszorpció, a hőmérséklet és az UV-sugárzás tekintetében. Laboratóriumi és szabadföldi kísérleteket is végeztek tisztított Cry1Ac-toxinnal, illetve *Bt*-biopeszticid-készítménnyel. A készítmény permetezése esetén a kimutatható Cry1Ac-toxinok felezési ideje elsősorban a hőmérséklettől és a napsugárzási viszonyoktól függött, 25°C-on megközelítőleg 1 nap, míg 4°C-on kettő-négy hét volt. Cry1Ab-toxinnal végzett kísérletben 25°C-on az első 14 napban gyorsan csökkent a mennyisége ($86 \pm 7,5\%$), amit lassulás követett (HELASSA *et al.*, 2011; HUNG *et al.*, 2016; OLIVEIRA-FILHO és GRISOLIA, 2022).

3.3.2. Vízi szervezeteken végzett kísérletek

Nagy vízibolhán (*Daphnia magna* (Straus)) vizsgálták Cry1Ab és Cry2Aa tisztított toxinok hatásait. A 4,5 mg/l (ppm) *Cry1Ab*-nak, *Cry2Aa*-nak, illetve a két toxin kombinációjának kitett egyedeknél a kontrollhoz képest jóval magasabb mortalitást, kisebb testméretet és rendkívül alacsony utódprodukciónak tapasztaltak. A 0,75 mg/l koncentrációnak kitett állatoknál is megfigyelhető volt a magasabb mortalitás, ugyanakkor a kontrollhoz viszonyítva magasabb korai szaporodási teljesítmény jelentkezett (BØHN *et al.*, 2016). Egy korábbi etetéses vizsgálatban, ahol *MON810* Cry1Ab-toxint termelő kukoricalevéllel etettek vízibolhákat, megfigyelhető volt a

nyugalmi peték termelésének fokozódása és a korai szaporodás, ami a későbbi életszakaszban méretbeli és termékenységi csökkenést mutatott (HOLDERBAUM *et al.*, 2015). Egy későbbi vizsgálatban Cry1C-toxint vizsgáltak, melyre nem mutatott érzékenységet a vízibolha (CHEN *et al.*, 2018).

Tilápián (*Oreochromis niloticus* (Linnaeus)) végzett genotoxikológiai vizsgálatban *Bt*-spóra–kristály komplexek hatását vizsgálták, melyek Cry1Ia-, Cry10Aa- és Cry1Ba6-fehérjetoxinokat termeltek. Nem mutattak genotoxikus vagy mutagén kockázatot *O. niloticus* esetében. A Cry1Ia spóra–kristály komplex alacsony szintű, javítható DNS-károsodást idézett elő a legmagasabb koncentrációban (10^9 spóra/30l víz). Ebben a koncentrációban előfordult egyensúlyvesztés, az úszásviselkedés megváltozása, illetve a pigmentáció változása. A legmagasabb koncentráció nem fordul elő a környezetben, így összességében alacsony genotoxikus kockázatra utal (FREIRE *et al.*, 2014; OLIVEIRA-FILHO és GRISOLIA, 2022).

Zebradánió (*Danio rerio* (Hamilton)) halfajon négy, *B. thuringiensis*-ből származó spórakristály-eredetű endotoxin (Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac és Cry2A) hatását vizsgálták, hogy feltárják az esetleges káros hatásokat a genomban és az embriókban. A Cry1Aa növelte a mikronukleusz-képződés gyakoriságát a kifejlett *D. rerio* perifériás eritrocitáiban, míg a Cry1Ab, Cry1Ac és Cry2A 96-órás expozíciót követően, 100 mg/l koncentrációban, nem mutatott genotoxicitást. A bináris keverékek közül a Cry1Aa + Cry1Ac, 50:50 mg/l és a Cry1Aa + Cry2A, 50:50 mg/l 96-órás kitétség mellett szignifikánsan megnövelt mikronukleusz-gyakoriságot okozott. A többi vizsgált bináris keverék nem mutatott genotoxicitást. A zebradánió embrió–lárva-vizsgálatban valamennyi tesztelt Cry-endotoxin embriotoxicitást és fejlődési késést okozott 25, 50, 100 és 150 mg/l koncentrációk mellett, 96-órás vizsgálatban. 50 mg/l koncentráció felett 72 óra után nőtt a mortalitás (GRISOLIA *et al.*, 2009; OLIVEIRA-FILHO és GRISOLIA, 2022). Egy újabb vizsgálatban Cry1C-, Cry1F- és Cry1Ab-toxin hatásait vizsgálták zebradánió-embriókon és -lárvákban egy előre jelzett, legrosszabb esetre becsült (*worst-case*) koncentrációval, amelyet 1,1 mg/l-ben határoztak meg. A magas koncentráció nem okozott toxikus hatásokat a zebradánió korai életszakaszaiban: sem az embriotoxicitási vizsgálatban, sem az enzimatis biomarkerek (kataláz, glutation-S-transzferáz és laktát-dehidrogenáz) változását tekintve nem volt kimutatható káros hatás. Molekuláris szinten a tesztelt Cry-fehérjetoxinok csak igen csekély változásokat idéztek elő a zebradánió-lárvákban. Összességében ezek a fehérjék fokozott vitellogenintermelést okoztak. Ezen túlmenően a Cry1C- és a Cry1F-toxinok rendre a heterogén nukleáris ribonukleoproteinek (hnRNP-k) közé tartozó Hnrnpa01, illetve Hrnnpaba fehérjék szabályozását zavarták meg, amelyek az mRNS-feldolgozásban és a génszabályozásban játszanak szerepet. Az adatok arra utalnak, hogy a Cry1C-, Cry1F- és Cry1Ab-toxinok még nagyon magas koncentráció mellett is csak csekély hatást gyakorolnak a zebradánió korai életszakaszában (VIEIRA *et al.*, 2021).

3.3.3. Emlősökön végzett vizsgálatok

Portugáliában önkénteseken – akiknek kórtörténetében szerepelt élelmiszerallergia – CryIAb tisztított fehérjetoxinnal bőrpróbát végeztek; egyik résztvevőnél sem alakult ki szenzibilizációs reakció erre a fehérjére (BATISTA *et al.*, 2005; OLIVEIRA-FILHO és GRISOLIA, 2022). *In vitro* emészthetőségi vizsgálatok azt mutatták, hogy a Cry-fehérjetoxinok emésztőnedvek jelenlétében instabilak, és nem maradnak meg az emésztőrendszerben (MENDELSON *et al.*, 2006). Ezzel szemben egerekben, amelyek szájon át különböző koncentrációban Cry1Aa-, Cry1Ab-, Cry1Ac- vagy Cry2Aa-toxinoknak voltak kitéve, a véráramban megnövekedett a leukociták közül a neutrofilek és a limfociták aránya, ami allergiás és gyulladásszerű folyamatok következménye is lehet. A bevitt mennyiségtől függően ezek a Cry-toxinok nem feltétlenül bomlanak le teljes mértékben a gyomorban, és eljuthatnak a bélrendszerbe, ahol a pH lúgosabbá válik; itt aktiválódhatnak toxikus formájukra, és így reakcióba léphetnek a nyálkahártyával (MEZZOMO *et al.*, 2016; OLIVEIRA-FILHO és GRISOLIA, 2022).

Egy kanadai vizsgálat viszont Cry1Ab-fehérjetoxin jelenlétét jelezte várandós nők perifériás vérében ($0,19 \pm 0,30$ ng/ml), illetve a magzati köldökzsinórvérben ($0,04 \pm 0,04$ ng/ml). Ez azt sugallja, hogy a fehérje nem bomlik le teljesen az emésztőrendszerben, eljuthat a perifériás vérkeringésbe, és átjuthat a placentán is (ARIS és LEBLANC, 2011; OLIVEIRA-FILHO és GRISOLIA, 2022). A tanulmányra reagálva más szakértők hangsúlyozták, hogy a kimutatás legfeljebb fehérjefragmentumokat jelezhet, mivel a rendelkezésre álló adatok és a Cry1Ab elfogadott bevétele alapján élelmiszer-feldolgozást követően a fehérjetoxin várhatóan biológiailag inaktív (GOLDSTEIN *et al.*, 2012, OLIVEIRA-FILHO és GRISOLIA, 2022). Több publikált tanulmány is beszámolt *B. thuringiensis* és *Bt*-alapú rovarölőszer-maradványok jelenlétéről gyümölcsökben és zöldségekben, ami arra utal, hogy a toxinfhérje jelenléte nem feltétlenül kapcsolható kizárólag módosított élelmiszerek fogyasztásához (MUELLER és GORST, 2012; OLIVEIRA-FILHO és GRISOLIA, 2022). A takarmányozási vizsgálatokat később tárgyalom.

3.4. Cry1Ab-toxin kockázata nem célszervezet lepkéken

3.4.1. Hazai védett lepkék – nappali pávaszem (*Inachis io*)

3.4.1.1. Hazai védett lepkék

Magyarországon jelenleg 266 védett és 28 fokozottan védett lepkefajt tartanak nyilván. A 13/2001. (V. 9.) KöM rendelet 2022. évi módosításával (20/2022. (VII. 29.) AM rendelet) emelkedett a védett és fokozottan védett fajok száma. Emellett 17 faj pedig az Európai Közösségben természetvédelmi szempontból jelentős.

3.4.1.2. Nappali pávaszem

A nappali pávaszem *Inachis io* (ismert szinonimjai: *Aglais io*, *Io io*, *Nymphalis io*, *Papilio io*, *Vanessa io*) (4. ábra) a Lepidoptera – lepkék rendjébe, a Nymphalidae – tarkalepkék családjába tartozik (BAKONYI *et al.*, 2003). Transzpalearktikus elterjedésű, nemorális jellegű lepkefaj, amely Európa nagy részében, keletre egészen Kelet-Ázsiáig (Japánig) megtalálható (LAUBER, 2011; LOHSE *et al.*, 2021). Könnyen felismerhető a szárnyain látható nagy, élénk színű szemfoltokról, amelyek hatékony védelmet nyújtanak a madarakkal szemben. Sokféle élőhelyen előfordul: réteken, erdőszéleken és erdei tisztásokon, folyópartokon, nyirkos területeken, valamint településközelben is gyakori, ezért gyakran megjelenik bolygatott területeken és kertekben is. Az imágó áttelel – jellemzően védett, magas páratartalmú faodvakban, pincékben vagy barlangokban –, és a kifejlett lepkék kora tavasszal, többnyire március–áprilisban válnak aktívvá. A faj nemzedékszámát földrajzi helyzettől és az adott év időjárásától függ. Hűvösebb régiókban általában egynemzedékesnek tekinthető, míg délebbre gyakran kétnemzedékes (II. táblázat), és kedvező körülmények között akár részleges harmadik nemzedék is megjelenhet, egyes területeken nyári diapauzája is előfordulhat. A nőtények a tojásaikat (4. ábra) 80–300-as csomókban rakják le a tápnövény leveleire. A hernyók öt lárvastádiumon mennek át, kezdetben csoportosan élnek és táplálkoznak (LAUBER és DARVAS, 2009), az utolsó vedlés után szétszélednek, és bábozódásra alkalmas helyet keresnek. A báb színe a halványsárgától a sötétbarnáig változhat (RYZHKOVA és LOPATINA, 2015). A lárvák fő tápnövénye Európában a nagy csalán (*Urtica dioica* Linnaeus), de táplálkozhatnak más csalánféléken, komlón (*Humulus lupulus* Linnaeus) és szederféléken (*Rubus*), ahol a nagy csalán hiányzik, a szintén csalánfélék családjába tartozó falgyomon (*Parietaria officinalis* Linnaeus) táplálkoznak. A faj európai szinten jellemzően nem fenyegetett, és a Természetvédelmi Világszövetség (*IUCN*) európai értékelése alapján a nem veszélyeztetett (*Least Concern*) kategóriába sorolják, hazánkban védett faj (LAUBER, 2011; LOHSE *et al.*, 2021).



4. ábra. Nappali pávaszem és tojásai. Fotó: Peregovits László és Darvas Béla.

II. táblázat. Hazai csalánon táplálkozó lepkék és életmódjuk.

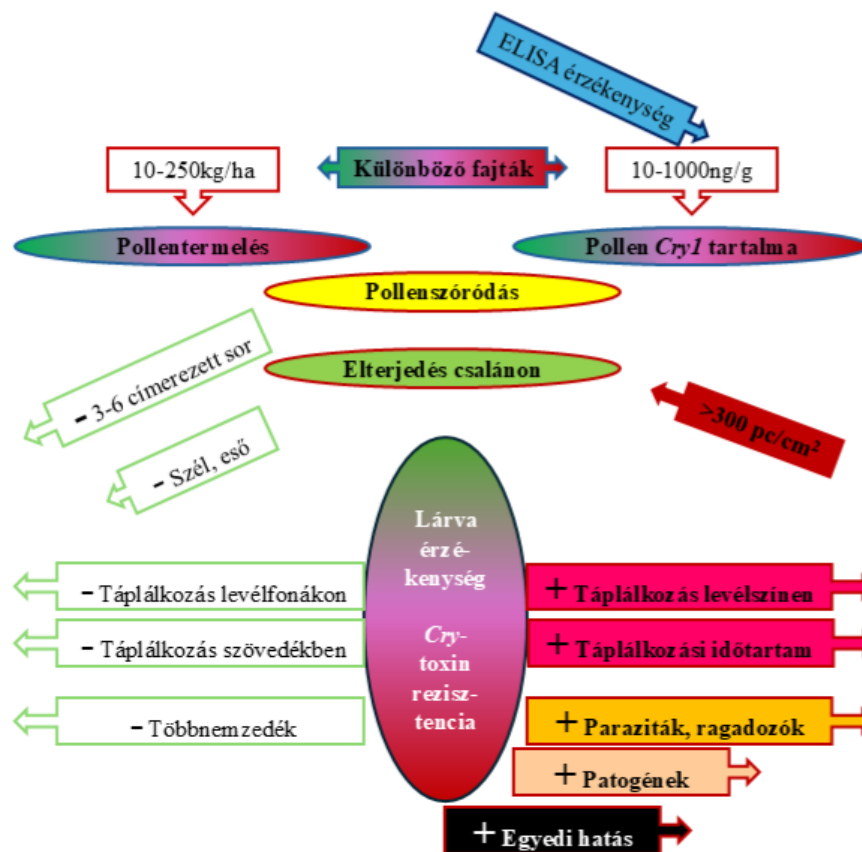
Fajok	Hónap												G	P	Tá	LÉ	LT	Te	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12							
<i>Aglais urticae</i>														2	2	M	M	F	I
<i>Araschnia levana</i>														3	2-3	M	CS	F	B
<i>Nymphalis c-album</i>														2	1-2	O	M	A	I
<i>Inachis io</i>														2	2	M	Cs	F	I
<i>Vanessa atalanta</i>			→											2	1	O	M	Sz	M

Magyarázat: sárga: kukorica pollen szórás; zöld: pollenek nem kitett populáció; fehér: aktív imágó; kék: lárva nyugalmi állapot, rózsaszín: imágó hibernáció; G: Generáció szám; P: Kukorica pollennel találkozó generáció szám; Tá: Táplálkozás mód (M-Monofág, O – Oligofág, P – Polifág); LÉ: Lárva életmód (M – Magányos, Cs – Csoportos), LT: Levélen táplálkozás (F – Felületen, A – Alján, Sz – Szövedékben); Te: Áttelelés (I – Imágó, B – Báb, M – nem telet, imágó migrál)

3.4.2. Kockázatelemzések nem célszervezetnek minősülő lepkékre

A Cry1Ab-toxint termelő *Bt*-kukorica pollenje a széllel terjed, ezért a célkártevőkön kívül nem célszervezet lepkéket is érhet, különösen a táblaszegélyekben és a táblák közelében lévő tápnövényeken. Ezt az expozíciós útvonalat a pompás királylepke (*Danaus plexippus* Linnaeus) példája tette széles körben ismertté, a hernyók a selyemkóró (*Asclepias* spp.) levelein táplálkoznak, amelyek a kukoricatáblák környezetében is előfordulhatnak, így a levelekre kiülepedő *Bt*-kukorica pollen közvetlen kitettségi forrást jelenthet (WOLT *et al.*, 2003). Védett és veszélyeztetett fajoknál már kis többletpusztulás, illetve szubletális, de a túlélési esélyeket rontó hatások (pl. fejlődési lassulás) is súlyos természetvédelmi kockázatként értelmezhető. A korai kockázatbecslések egyik alapja az óvatos, felmérő jellegű megközelítés, amely gyorsan meg tudja ítélni, hogy hol és mikor várható érdemi kitettség. WOLT *et al.* (2003) azt hangsúlyozták, hogy a pollenlerakódás a távolsággal csökken, ezért a lehetséges kockázat döntően a tábla közvetlen szegélyében és az ott található tápnövényeken összpontosul. Ez volt a kiindulópontja a térbeli kockázati zónák kijelölésének, ugyanakkor kevés részletet ad az időbeli lefolyásról (pl. a virágzás időtartama, csapadék miatti lemosódás) és a levélfelületen kialakuló egyenetlen polleneloszlásról, amelyek később a részletesebb becslésekben válnak meghatározóvá (WOLT *et al.* 2003). Az európai környezetben alkalmazható, számszerű kockázatbecslés igénye ezt követően a laboratóriumi mérési eredmények és a térben változó kitettség összekapcsolásához vezetett. PERRY *et al.* (2010) olyan matematikai modellt dolgoztak ki, amely a távolsággal csökkenő pollenlerakódást a fajok érzékenységet leíró dózis–hatás kapcsolattal együtt értékeli. A toxikológiai változók többek között a LC_{50} értékek és a dózis–hatás görbe meredekségével jellemzik, és a keret számol olyan kockázatsökkentő tényezőkkel is, mint a pollen lemosódása vagy a lárvák fogékony időszaka és a pollenszórás közötti időbeli egybeesés mértéke. A megközelítés erőssége, hogy a pusztán legrosszabb esetre (*worst case*) épülő becslésekhez képest valószínűbb körülményeket is figyelembe venni, ugyanakkor a kimenet érzékeny marad a

toxikológiai alapadatok bizonytalanságára (PERRY *et al.*, 2010). A modell alapján azt állapították meg, hogy a kockázat nagyon alacsony. HOLST *et al.* (2013) azt vizsgálták, hogy a *Bt*-kukorica pollen milyen pusztulási kockázatot vetít előre az *Inachis io* lárvák számára. A *BtButTox* modellt mutatták be, amely kifejezetten figyelembe veszi a pollenszórás és a lárvák táplálkozási időszakának időbeli egybeesését. A kockázat térben nem egyenletes: a legmagasabb értékek a tábla és a környező tápnövény-állományok találkozásánál, vagyis a szegélyzónában jelentkeznek. Ugyanakkor azt is jelzik, hogy a becslések nagysága erősen függ attól, hogyan írjuk le a pollenlerakódást és a dózis-hatás kapcsolatát, ezért a bemeneti adatok minősége és a helyi sajátosságok kezelése kulcsfontosságú (HOLST *et al.*, 2013). Az előző modellhez képest az ellenkezőjét állapították meg, hogy a kockázat jelentős. Egyik modellező közösség sem fókuszált kellőképpen az *Inachis io* elterjedésére és életmódjára, többnyire valószínűsítő munkák, amelyeket saját terepi vizsgálatok nem erősítettek meg. Ennek következménye a két modell frontális összeütközése. A modellfejlesztés a 2010-es évek végére egyre inkább a levélfelszínen kialakuló egyenetlen polleneloszlás és az időbeli egybeesés finomabb leírása felé mozdult. FAHSE *et al.* (2018) a LepiX modellel egyed-szintű megközelítést adtak az akut pusztulás becslésére, amely képes kezelni a levélfelszíni polleneloszlás szórását, és részletesebben kapcsolja össze a lárvakelés időszakát a pollenszórással. Kiemelten fontos, hogy a kimenet szempontjából meghatározó a dózis-hatás görbe meredekség és a lárvakelés legkorábbi időpontja, vagyis a toxikológiai alapadatok és lárvák kikelésének kezdeti időpontja egyaránt döntő (FAHSE *et al.*, 2018). Ezzel párhuzamosan nyilvánvalóvá vált, hogy a modellek megbízhatósága nem választható el a laboratóriumi vizsgálatok minőségétől, mert a dózis-hatás (ez esetben ilyenről nem is beszélhetünk, hiszen egy kritikus sűrűség esetén a lárvák elvándorolnak a levélről, vagyis elutasítják) paraméterek ezekből származnak. LANG *et al.* (2019) áttekintették a lepkéken végzett vizsgálatokat, és standardizált kísérleti tervezést javasoltak. Kiemelik a tényleges kitétség pontos dokumentálását, a megfelelő kontrollok alkalmazását, a kellően hosszú megfigyelési időt, valamint a szubletális hatások (pl. lassabb fejlődés) bevonását (LANG *et al.*, 2019).



5. ábra. Nem célszervezet lepkék kockázatbecslésének fő elemei (DARVAS *et al.*, 2022).

Ezek hiányossága közvetlenül növelik a bizonytalanságot, ami védett fajok esetében különösen problémás lehet. BAUDROT *et al.* (2021) azt mutatták meg, hogy a tájszintű átlagos hatás önmagában félrevezető lehet, mert elfedheti a leginkább érintett egyedek vagy kisebb állományok kockázatát. A *Bt*-táblák valós elhelyezkedését, a pollenlerakódás részletes leírásával és az időjárásfüggő veszteségekkel (pollen lemosódás) kapcsolták össze, és az időben változó kitettséget olyan keretben értékelték, amely a felvétel és a hatás kialakulásának időbeli lefolyását is figyelembe veszi (BAUDROT *et al.*, 2021). Az eddigi egymásra épülő modellek hiányosságaira és ellentmondásosságára SZÉKÁCS 2020 hívta fel a figyelmet. Hazánkban élő nem célszervezetek közé többségében védett lepkék tartoznak. Védett fajok esetén a döntéseket nem tájszintű átlagokra, hanem a leginkább érintett szegélyzónákra és a felső kockázati tartományra célszerű alapozni. Ennek előfeltétele, hogy a kockázatelemzés kötelező eleme legyen a pollen Cry1Ab-toxintartalma (5. ábra) (lásd 5.1.6.-os fejezetben részletesebben) és annak változékonysága, mert enélkül a legkritikusabb kitettségi helyzetekben a kockázat alábecsülhető (BAUDROT *et al.*, 2021, DARVAS *et al.*, 2022).

3.5. GM-növények takarmányként való felhasználása

Egy 1999-es, a *The Lancet*-ben megjelent cikk (EWEN és PUSZTAI, 1999; PUSZTAI *et al.*, 2003) elindította az első generációs (transzgenikus) GM-növényfajtacsoportok táplálkozás-élettani és táplálékszerzési szempontú igen kritikus újraértékelését Európában. A cikk arról számolt be, hogy egy kísérleti, *Galanthus nivalis*-lektin transzgént hordozó GM-burgonyafajta gasztrointesztinális zavarokat okozott, amelyeket a szerzők elsősorban testsúlyméréssel (egyed szervek fejlődési sorrendje megváltozott) és szövettani vizsgálatokkal értékelték patkányokban, és a transzformációhoz használt növényi vektort is feltételezett okként nevezték meg. PUSZTAI *et al.* nem tapasztaltak hasonló hatást egy másik kísérleti transzgenikus borsófajtánál (α -amiláz-inhibitor transzgént tartalmazott), és azt a GM-fajtát etetési célra megfelelőnek találták (PUSZTAI *et al.*, 1999). E kísérleti fajták egyikéből sem lett kereskedelmi fajta, azonban a GM-burgonyával végzett kísérletek következményei – jóllehet az eredmények nagy része soha nem jelent meg tudományos közleményben – nagymértékben befolyásolták a későbbi etetési vizsgálatok megítélését.

3.5.1. Haszonállatokon végzett etetési vizsgálatok

A géntechnológiával módosított növények mennyiségének jelentős részét állati takarmányként hasznosítják. A GM-takarmányok biztonsági megítélése elsődlegesen a közel izogén fajtákkal való összetételbeli egyenértékűség vizsgálatán, valamint rágcsálókon végzett etetési kísérleteken alapul. Ugyanakkor a haszonállatokban végzett etetési vizsgálatok további információt adhatnak a GM-növények állategészségügyi értékeléséhez (DE VOS és SWANENBURG, 2018).

Egy olaszországi 3 éves kísérletben anyajuhokat és utódaikat etették *Bt176 Cry1Ab*-toxint termelő kukoricával. A széna (1700-1500 g/nap) és a kukorica (100-600 g/nap) mennyisége az élettani állapottól függött. A vizsgált kukorica nem járt kedvezőtlen hatással az állatok egészségi állapotára. Érdekes módon a *Salmonella abortus ovis* elleni vakcinázásra adott immunválasz hatékonyabbnak bizonyult a GM-kukoricával etetett juhokban. A szövettani vizsgálatok nem mutattak kóros eltéréseket, ugyanakkor a bendőhám citokémiai elemzése Ki67 festéssel arra utalt, hogy a GM-kukoricával etetett anyajuhokban a bazális sejtek fokozott proliferációs aktivitást mutatottak. A máj és a hasnyálmirigy előzetes elektronmikroszkópos vizsgálatai a GM-kukoricával etetett bárányokban kisebb sejtmagokat jeleztek, amelyekben több heterokromatin és perikromatin granulum volt megfigyelhető. A hús fehérjetartalma és a főzés során bekövetkező vízvesztés kismértékben változott a takarmánykezelés hatására (TRABALZA-MARINUCCI *et al.*, 2008).

Egy 110 napos vizsgálatban hím sertéseket etettek *MON810* Cry1Ab-toxint termelő kukoricával. Az 5 periódusból 4-ben kaptak GM-tápot, amely 38%, 65%, 73% és 79%-ban tartalmazott módosított kukoricát. GM-táp nem okozott kedvezőtlen hatást a sertések növekedésére, a vágási jellemzőkre, a csontok egészségére vagy a testösszetételre. Sem a szervek tömegében, sem a szövettani vizsgálatokban nem látszottak eltérések. A szövettan alapján a GM-kukorica nem fejtett ki káros hatást a tápanyagok emésztésének és felszívódásának fő helyén, vagyis a vékonybélben (BUZOIANU *et al.*, 2012a). Egy következő kísérletükben vemhes kocákat etettek 143 napon keresztül. A vemhesség alatt 86,5%, a laktációs időszak alatt 74,5% volt a táp kukoricatartalma. A vemhesség 110. napján a *Bt*-kukoricával etetett kocákban a vér monocita száma és a monociták aránya magasabb volt, míg a granulociták aránya alacsonyabb. Az utódokban a leukocita szám, valamint a granulocita szám és a granulociták aránya alacsonyabb volt, miközben a limfociták aránya magasabb. A *Bt*-kukoricával etetett kocákban a monociták aránya alacsonyabb volt a laktáció 28. napján, továbbá a *CD4+* *CD8+* limfociták aránya alacsonyabbnak bizonyult a vemhesség 110. napján, a laktáció 28. napján és összesítve is. A citokin-termelés nem különbözött a kezelések között. Cry1Ab-specifikus antitesteket nem mutattak ki sem a kocákban, sem az utódokban (BUZOIANU *et al.*, 2012b). A folytatásban leválasztás után vizsgáltak sertéseket, 31 napos kísérletben 38,9%-a volt a tápnak a módosított kukorica. A kutatócsoport azt találta, hogy a mitogénnel stimulált perifériás vér mononukleáris sejtjeiből az *IL-12* és *IFN- γ* termelés csökkent. A vérplazmában nem mutattak ki Cry1Ab-specifikus *IgG*-t és *IgA*-t. Cry1Ab-toxint nem találták meg a vesében, májban, lépben, izomban, szívben vagy a vérben. A GM-kukorica etetése a választott malacoknál nem befolyásolta a növekedési teljesítményt és a testtömeget. Izolált lépsejtek (splenocyták) *IL-6* és *IL-4* termelése nőtt a GM-kukorica etetés hatására, miközben a lépben a *CD4+* T-sejtek aránya csökkent. Az *ileum*-ban (csípőbél) a B-sejtek és makrofágok aránya csökkent, míg a *CD4+* T-sejtek aránya nőtt a GM-kukoricával etetett sertésekben. Az izolált intraepiteliális és *lamina propria* limfociták *IL-8* és *IL-4* termelése szintén emelkedett etetésre. Bár immunológiai eltéréseket kimutattak, biológiai jelentősége kérdéses (WALSH *et al.*, 2011).

A következő kísérletben 40 napos sertéseket etettek Cry1Ab-toxint termelő *MON810* kukoricával. Négy csoportban 110 napon keresztül kapták a takarmányt, amely változó arányban 38%, 65%, 73% és 79%-ban tartalmazott módosított kukoricát. Az első csoport: 110 napig izogén kukoricát kapott (izogén), a második: 110 napig *Bt*-kukoricát kapott (*Bt*), a harmadik: 30 napig izogén és 80 napig *Bt* (izogén/*Bt*) kukoricát kapott, a negyedik: 30 napig *Bt* és 80 napig izogén (*Bt*/izogén) kukoricát kapott. A 100. napon a limfocitaszám magasabb volt a *Bt*/izogén csoportban, mint a *Bt* vagy az izogén csoportban. A 100. napon az eritrocitaszám alacsonyabb volt a *Bt* és az

izogén/*Bt* csoportban, mint a *Bt*/izogén csoportban. A *CryIAb*-gén kimutatható volt a gyomorban és az *ileum*-ban, de nem volt kimutatható a disztális gyomor-bél traktusban (WALSH *et al.*, 2012).

CZERWIŃSKI *et al.* (2015) brojlercsirkét vizsgáltak, 8-28 nap és 1-30 nap között etették módosított kukoricával (*MON810*) és módosított szójával (GTS 40-3-3 → *MON 4032-6*). A takarmányok GM-kukorica tartalma 598-622 g/kg között változott, a GM-szója tartalma 339-356 g/kg között változott. A perifériás vérben mért T *helper* (*CD4+*) és T citotoxikus (*CD8+*) sejtek aránya a limfocitákon belül a GM-szójadara alkalmazása mellett szignifikánsan csökkent, miközben a T *helper*/T citotoxikus arány nőtt. A GM-kukorica (*MON810*) főhatásként szignifikánsan csökkentette a T *helper* és T citotoxikus sejtek százalékos arányát, a lép relatív tömege GM-kukorica etetése mellett szignifikánsan nagyobb volt (kb. +13%), a *jejunum*-ban a nyálkahártya vastagsága fokozódott, és a bélbolyhok csúcsán több apoptotikus sejteket figyeltek meg (CZERWIŃSKI *et al.*, 2015a; 2015b).

A szakirodalomban található vizsgálatok nagy része nem talált bizonyítékot a módosított összetevőt tartalmazó takarmányok egészségkárosító hatásaira. A detektált hatások alacsony szintű immunrendszeri válaszok voltak, melyeket a tanulmányok elhanyagolható biológiai hatásnak értékelték. A mélyebb megértésükhöz további immunológiai vizsgálatok szükségesek. Valamint további kutatások szükségesek a GM-kukorica több generáción át történő etetésének hatásairól is.

3.5.2. Halakkal végzett etetési vizsgálatok

3.5.2.1. Szójjával végzett takarmányozási kísérletek atlanti lazacon

HEMRE *et al.* (2005) növendék (*smolt*, 104±15g) atlanti lazacon (*Salmo salar*) végzett kísérletében, három hónapon keresztül normál haltáppal, ROUNDUP READY-szójatáppal (RR, *glyphosate*-tűrő) és nem módosított szójatáppal etették a halakat. A *smolt* fejlődési fázis a *parr* (édesvízben élő növendék) után következik, amely 2-3 éves halakra vonatkozik, s amelyek színe ezüstös, és apróbb gerinceseket is ragadoznak már. A *smolt* fejlődési fázisban a sótűrés fokozódik, ami ozmoregulációs változással jár együtt. A halak brakkvizekben való előfordulása gyakori. A ROUNDUP READY (RR) szója (GTS 40-3-2 → *MON 4032-6*) *Agrobacterium tumefaciens*-ből származó *cp4 epsps* gént tartalmazó transzgenikus fajta, ami gátolva a *glyphosate* kötőhelyhez való affinitását magasabb tűrőképességet idéz elő. A táp szójatartalma 170 g/kg volt (130 g szójafehérje/kg). A vizsgálat alatt a halak egészségesek voltak és nem volt elhullás. A különböző csoportok növekedésében nem mértek szignifikáns különbséget. Mérték a szervek tömegét is és az RR-szójjával etetett csoportban a lép mérete szignifikánsan nagyobb volt a normál szójjával etetett csoporttal összehasonlítva, de hasonló volt a normál táppal etetettével. A szójjával etetett

csoportokban szignifikánsan csökkent a csípőbél (*ileum*) tömege. A vizsgálat felénél a vérparaméterek közül az eritrociták átlagos száma csökkent, a legalacsonyabb a GM-szójával etetett csoportban volt, de a kísérlet végén már nem volt szignifikáns eltérés (HEMRE *et al.*, 2005).

BAKKE-MCKELLEP *et al.* (2007) növendék állatokkal dolgoztak (*smolt*, 104±15g). Három hónapon keresztül normál haltáppal, ROUNDUP READY szójatáppal (*glyphosate*-tűrő) és nem módosított szójatáppal etették a halakat. A tápok 172 g/kg szóját tartalmaztak, a GM-szója 17%-a volt a tápnak. A vizsgálatban nem volt elhullás, és nem volt szignifikáns különbség a csoportok súlygyarapodása között. Nehezíti a vizsgálatokat, hogy a szójatáp eleve gyulladásokat okoz a lazac beleiben, de a RR-szójával etetett csoportban, a középbélben – patkó- (*duodenum*), éh- (*jejunum*) és csípőbél (*ileum*) – kiterjedtebb volt a gyulladás. Szöveti vizsgálatok a normál haltáppal etetett csoportban nem tértek el a kontrolltól, a szójatáppal etetett csoportban a vakuólumok a szupranukleáris sejtekben jelennek meg, az enterociták helyett, a RR-szójával etetett csoportban pedig a *lamina propria* (a bélnyálkahártya kötőszöveti rétege) szélessége nőtt, az enterociták vakuólumai többnyire hiányoztak. Az RR-szója növelte a fejvesében a lizozim és az alkalikus foszfatáz enzimek aktivitását. A szójatápok csökkentették a leucin-amidopeptidáz és maltáz aktivitását a csípőbélben. A vizsgálat alapján arra jutottak, hogy a RR-szója, mint tápösszetevő valószínűleg biztonságosan használható (BAKKE MCKELLEP *et al.*, 2007).

BAKKE-MCKELLEP *et al.* (2008) tanulmányában hasonló vizsgálatot végzett fiatalabb lazacokkal (*parr* 0,21±0,02g). A *parr* megjelölés az édesvízben kelt, gerinctelenekkel táplálkozó, foltos növendékekre vonatkozik, egészen a *smolt* fejlődési fázisig. A *parr* fázisban a halak nem tolerálják a sós vizet. Nyolc hónapon keresztül normál haltáppal, RR-szójatáppal és nem módosított szójatáppal etették a halakat. A tápok 125 g/kg szóját tartalmaztak, a GM-szója 6-7%-a volt a tápnak. Magas glükózfelvételt és Na⁺ glükóz-kotranszporter (SGLT1) fehérjeszintet mértek, ami a gyomor és bél találkozásánál, a *pyloric caeca* részében volt a legmagasabb, miközben a maltázaktivitás csökkent. Magasabb volt, de nem szignifikánsan a középbélben az alkalikus foszfatáz és a lizozim aktivitása, ami fokozhatja a makrofágok infiltrációját a hámréteg alatti *lamina propria* és *submucosa* rétegekben (BAKKE-MCKELLEP *et al.*, 2008).

SAGSTAD *et al.* (2008) atlanti lazaccal dolgoztak (707±131 g) 28 napig, a tápok 150 g/kg és 300 g/kg RR-szóját tartalmaztak. Az izom fehérjetartalma szignifikánsan csökkent a GM-szójatartalom növekedésével, az n³-/ n⁶-zsírsav aránya nőtt az izmokban, és az n⁶-zsírsavtartalom csökkent a GM-szójatartalom növekedésével. Alacsonyabb triglicerid- és glükózsintet mértek a vérplazmában. A lép tömege nagyobb volt a GM-szójával etetett csoportban, a normál szójával etetett csoporthoz képest, a hemoglobinérték negatívan korrelált a lép méretével, ami csekély immunválaszt feltételez (SAGSTAD *et al.*, 2008).

SISSENER *et al.* (2009) krónikus vizsgálatot végeztek RR-szójával atlanti lazacon (*Salmo salar*), a héthónapos kísérletben a *parr-smolt*-átalakulás, az édesvízi életmódról a tengervízi életmódra váltás közben vizsgálták a kezdetben ~40 grammos halakat. A tápok 25%-ban tartalmaztak GM- és 26,2%-ban normál szóját. Szignifikáns eltérést találtak a testtömegeket illetően. A GM-szójával etetett csoport halai nagyobbak voltak, de a kísérlet végén már ez nem volt kimutatható. A szervek többségének tömegében nem volt szignifikáns eltérés. A középbel szignifikánsan nagyobb volt a nem módosított szójával etetett csoportban. A vérkéimiai vizsgálatban szignifikánsan magasabb trigliceridszintet mértek. A többi paraméter a takarmánytól függetlenül, a fejlettségi szinttől függően változott (SISSENER *et al.*, 2009).

3.5.2.2. Kukoricával végzett takarmányozási kísérletek atlanti lazacon

MON810 módosított kukoricát vizsgáltak 82-napos takarmányozási vizsgálatban növendék atlanti lazacon (*post-smolt*). A *post-smolt*-fázis a tengervízhez való teljes alkalmazkodást jelenti, ahol a reprodukciós szervek teljesen kifejlődnek. A *MON810* genetikai esemény (YIELDGARD, MAIZEGARD) a *Bacillus thuringiensis CryIAb*-toxinját termeli. A tápok 15 és 30 %-ban tartalmazták a módosított és nem módosított kukoricát. A vizsgálatban a testtömeget szignifikánsan alacsonyabbnak találták a GM-kukoricával etetett csoportban, a normál kukoricához viszonyítva, de egyik csoport sem tért el szignifikánsan a normál haltápot kapott csoporttól. A táplálékfelvétel szignifikánsan eltért, alacsonyabb volt a GM-kukoricával etetett csoportban. A májtömeg testtömeghez viszonyított indexszáma szignifikánsan magasabb volt a nagyobb arányban kukoricatáppal etetett csoportban. A középbel-tömeg a testtömeghez viszonyított indexszáma szintén szignifikánsan nagyobb volt, de nem tért el a normál haltápot kapott csoporttól. A glükózfelvétel szignifikánsan nagyobb volt a GM-kukoricát kapott csoportban a *pyloric caeca* traktusban (HEMRE *et al.*, 2007).

Egy másik tanulmányban (SAGSTAD *et al.*, 2007) közölték a stressz- és immunválaszokkal kapcsolatos eredményeket. A szuperoxid dizmutáz-1 enzim (*SOD*) aktivitása májban és a belekben magasabb, míg a katalázé alacsonyabb volt a májban, a kontrollhoz képest. Magasabb volt a *HSP70* stresszfehérje szintje is a májban. Fehérvérsejtek között nagyobb volt a granulociták és a monociták aránya, de kisebb a limfociták aránya a *MON810* esetében (SAGSTAD *et al.*, 2007).

GU *et al.* (2013) 33 és 97 napos takarmányozási kísérletben *MON810* GM-kukorica hatását vizsgálták növendék (*post-smolt*) atlanti lazacon. A tápok 196 g/kg kukoricát tartalmaztak, de volt, amit 15% extrahált szójatóppal egészítettek ki. A GM-kukoricával etetett halak kevésbé értékesítették a takarmányt, alacsonyabb volt a fehérje- és ásványianyag felvétel hatékonysága, és alacsonyabb volt a lipid- és energiaretenció. A belek tömege nagyobb volt, az immuninterferon

(*IFN-γ*) szintje növekedett, és csökkent a Na^+ -glükóz kotranszporter (*SGLT*) expressziója a belekben. Valamint növekedett a *SOD* és a *HSP70* aktivitása szintén a belekben (GU *et al.*, 2013). Juvenilis atlanti lazacon 99 napos takarmányozási vizsgálatot végeztek (GU *et al.*, 2014). Az összehasonlított tápok ~20% kukoricát (*MON810* és nem módosított) tartalmaztak, de beállítottak mellé 16,7% szójatápot tartalmazó párt. Azt találták, hogy a fiatal lazac toleránsabb a szójatápra, nem mutatkozott gyulladás a belekben. A GM-kukorica kisebb, de szignifikáns eltéréseket váltott ki az emésztőenzimek szintjeiben. Csökkent a leucin-aminopeptidáz és a maltáz aktivitása a belekben, és csökkent a bél epesóinak koncentrációja. Az amilázaktivitás nőtt (GU *et al.*, 2014).

3.5.2.3. Más halfajokon végzett takarmányozási kísérletek

SISSENER *et al.* (2010) hatvannapos zebra-dánián végeztek húsznapos etetéses vizsgálatot. A kísérletben normál haltápot, 20% *MON810* GM-kukoricaszemet tartalmazó és 25% RR-szójat tartalmazó tápokot kaptak a halak. A normál haltáppal etetett halak testtömege szignifikánsan magasabb volt, mint a módosított tápot fogyasztóké. A RR-szójával etetett halak táplálékfelvétele szignifikánsan alacsonyabb volt a nem módosított párjával összevetve, bár ezek nem mutatkoztak meg a növekedésben. A *MON810* GM-kukoricát kapott halak tömege szignifikánsan nőtt, és ez a tendencia megfigyelhető volt a testhosszban is, de a kondíció leírására használt mutató, $K = (\text{tömeg}/\text{hossz}^3) * 100$ megegyezett a normál kukoricát kapott halakéval. A vizsgálatokban az ivarok eltérően reagáltak, amit szójánál a fitoösztrogén-szinttel hoztak kapcsolatba. A nőstényekben nagyobb volt a máj és a *SOD* enzim szintje is a nem GM-szójával etetett csoportban (SISSENER *et al.*, 2010).

SANDEN *et al.* (2013) kétgenerációs vizsgálatban zebra-dániót etettek kazein/zselatin alapú takarmánnyal, amelybe 19% *Bt*-kukoricát (*MON810*) és annak nem *Bt* kontrollját keverték. A szülőkben (F0) nem találtak szignifikáns hatást. Az utódok (F1) nagyobb testtömeg-növekedést és jobb takarmányhasznosítást mutattak. A *CuZn-SOD* gén expressziója a májban és a középbelben a nem *Bt*-csoportban szignifikánsan magasabb volt, mint a *Bt*-csoportban, valamint a kaszpáz-6 gén májbeli expressziója ezzel szemben a nem *Bt*-csoportban szignifikánsan alacsonyabbnak bizonyult a *Bt*-csoportéhoz képest. A nem *Bt*-kukorica szennyezett volt fumonisin B1 és aflatoxin B1 miktoxinnal, így két csoport közötti különbség ennek tulajdonítható (SADEN *et al.*, 2013).

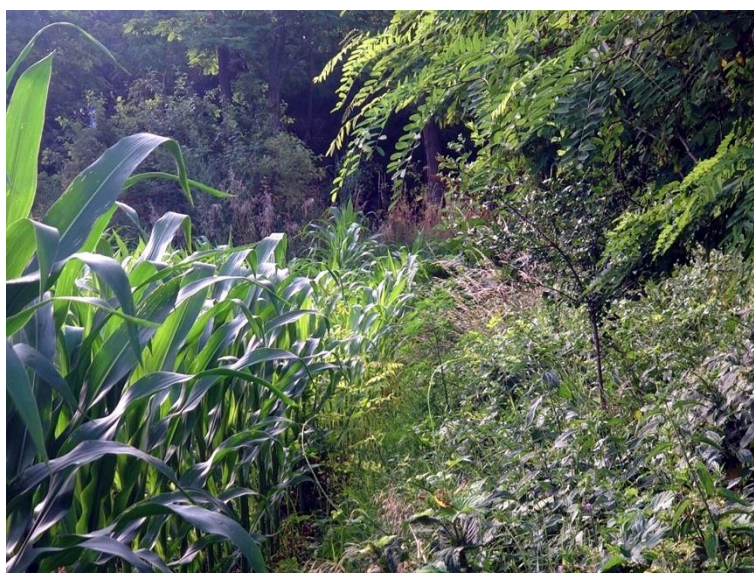
A tanulmányok alapján kisebb eltéréseket találtak, vagy egyáltalán nem figyeltek meg különbséget a módosított és a nem módosított takarmánnyal etetett állatok között. Minimális stressz- és immunválasz kiváltását jegyzik. A különféle GM-növények hatásai és biztonságossága nem extrapolálható, így genetikai eseményenkénti értékelés szükséges (SISSENER *et al.*, 2011).

4. Anyag és módszer

4.1. A *MON810* kukoricapollen kockázatbecslése Cry1Ab-toxinra érzékeny és toleráns *Inachis io* fiatal lárvák esetében

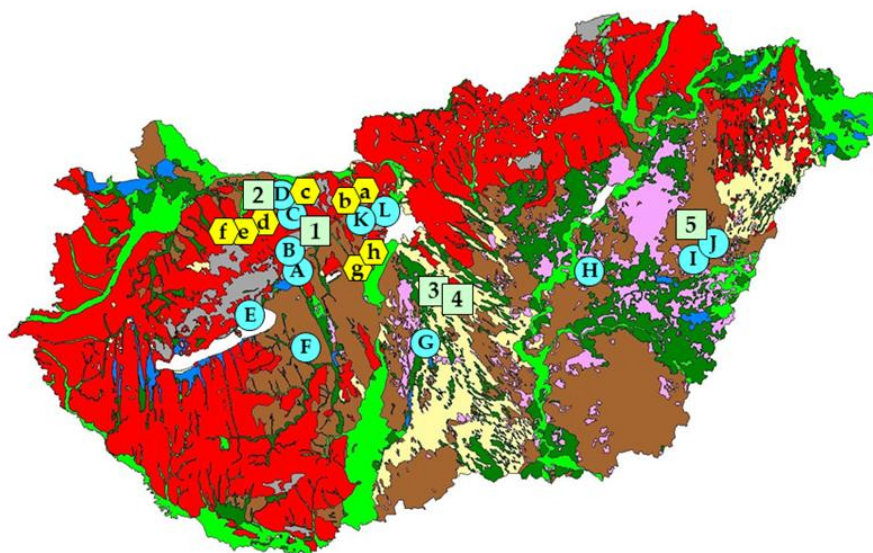
4.1.1. Gyomfelvételezés kukoricatáblában és szegélyein

A hazai kukoricatáblák legjellemzőbb gyomfajainak vizsgálatához (6. ábra) egy korábbi, 2003 júniusában (Csopak, Dég, Ebes, Fülöpszállás, Hajdúszoboszló, Kocs, Lovasberény, Mocsá, Sukoró, Szapárfalu és Zsámbék; 7. ábra) elvégzett felvételezést ismételtünk meg összehasonlító céllal 2024 júniusában. A 2003-as vizsgálatokban a gyomborítottság százalékos arányát a táblákon belül négy különböző zónában (–1, 2, 7 és 50 méterre a tábla szélétől) becsülték, 0,5 m × 0,5 m-es kvadrátok (mintanégyzetek) alkalmazásával, zónánként négy ismétlésben. A gyomfajok listáját minden helyszínen összeállították, és rögzítették az egyes fajok átlagos borítási értékét. A felmérés eredményeként akkor egy 44 fajt és 48 élőhelyet tartalmazó adatsort kaptak (DARVAS *et al.*, 2004). 2024 júniusában ugyanezzel a módszertannal végeztük el a felvételezést Bábolna, Mány, Martonvásár, Mocsá, Nagyigmánd, Szöny, Tárnok és Zsámbék (7. ábra) térségében. A második felmérés eredményeként egy 26 fajból és 32 élőhelyből álló adathalmaz készült. A legfontosabb kukoricatermő területeken 2006 július-augusztusában 18 mezővédő erdősávot vizsgáltak (Dad – 2 tábla, Hajdúböszörmény – 4 tábla, Lajosmizse, Mocsá – 3 tábla, Tatárszentgyörgy – 2 tábla (7. ábra). A kukoricatáblák közvetlen közelében (3–5 méteren belül) felmérték a fák, cserjék és lágyszárúak borítását.



6. ábra. Kukoricatábla szegély *Urtica dioica* és *Robinia pseudoacacia* (Fotó: Gyurcsó Gergő).

A fajlistát minden helyszínen összeállítottuk, és rögzítettük a fák és cserjék átlagos borítását 5 m × 5 m-es, valamint a lágyszárúakét 0,5 m × 0,5 m-es kvadrátokban, táblánként öt ismétlésben. Az így kapott adatsor 37 fajt és 36 élőhely kombinációt tartalmazott. 2024 júniusában megismételtük a védősávok felmérését Bábolna, Mány, Martonvásár, Mocsa, Nagyigmánd, Szőny, Tárnok és Zsámbék (7. ábra) térségében, amelynek eredményeként egy 43 fajból és 24 élőhely kombinációból álló, hasonló szerkezetű adathalmaz jött létre.



7. ábra. A vizsgálati helyszínek Magyarországon.

Magyarázat: 2003: Lovasberény (A), Sukoró (B), Kocs (C), Mocsa (D), Csopak (E), Dég (F), Fülöpszállás (G), Szapárfalu (H), Hajdúszoboszló (I), Ebes (J), Zsámbék (K), Budapest Julianna-major (L); 2006: Dad (1), Mocsa (2), Tatárszentgyörgy (3), Lajosmizse (4), Hajdúböszörmény (5);

2024: Zsámbék (a), Mány (b), Szőny (c), Mocsa (d), Nagyigmánd (e), Bábolna (f), Martonvásár (g), Tárnok (h). A termesztési helyszínek Magyarország talajtípus-térképén kerültek feltüntetésre (MICHÉLI *et al.* 2019, 2024). Talajtípusok: barna erdőtalaj (piros), csernozjom talaj (barna), réti talajok (sötétzöld), öntéstalajok (világoszöld), láptalajok (kék), szikes talajok (ibolya), váztalajok (sárga), kőzethatású talajok (szürke).

4.1.2. Az nappali pávaszem *Cry1Ab*-toxinrezisztenciája

A kísérletben négy megtermékenyített nappali pávaszem nőtényt használtunk. Az egyik a saját tenyészetünkben származott, amelynek alapállománya az Ady-ligeti (a Nagykovácsi völgy Budapest felé eső vége) kutatóállomásunkról származott, ahol a példányokat virágzó fagyalon és nyári orgonán gyűjtöttük. A másik három megtermékenyített, szabadon élő nőtény Nagykovácsi körzetéből származott (kettőt Peregovits László, egyet Darvas Béla gyűjtött). Az eredeti tojászsomóból kikelő lárvákat külön izolátorban helyeztük el tenyésztés céljából. A kísérletekben az első tenyésztett generáció tojászsomóit (unokák) használtuk fel. A négy tojászsomó négy,

egymástól független szülői vonalat képviselt. A tojáscsomókat zsilettpengével negyedeltünk, majd mikroszkóp alatti vizsgálattal utólag kalkuláltuk a ki nem kelt tojások számát (vágásnyom, a tojáscsomó szélén lévő tojások kiszáradása, a tojáscsomó közepén lévő oxigénhiányosan fejlődő utódok).

A kezeléseket megelőzően kukoricapollen-szuszpenziót készítettünk, amelyhez 0,05% NUFILM 17 (tapadásfokozó) és 0,025% NONIT (detergens) segédanyagokat adtunk. A segédanyagok hatástalanságát kontrollkezelésben ellenőriztük, amely során csupán ezeket az adalékokat tartalmazó oldattal permetezzük le a növényeket. Kezelésenként folyamatosan 10-10 csalánhajtást permetezzünk két ismételt kezelésben 12+12 ml oldattal. A kezelt csoportok esetében a törzsoldat 150 ml NUFILM 17 + NONIT keverékben 7,2 g *MON810* pollent tartalmazott. A közel izogénikus kukorica pollenjéből készült törzsoldat 100 ml-ben 4,8 g kukoricapollent tartalmazott. A permetezést VICTORIA sűrített levegő (Corwell Kft., Magyarország) palackra helyezett SIGMA SPRAY (Sigma Chemical Co., St Louis, USA) szórófejjel végeztük. A pollenés kezelése során a növényeket egyszer (egyszeres kezelés), majd a permetlé száradása után még egyszer (kétszeres kezelés) lepermetezzük. A kontrollkezelés során pollen nélkül, kizárólag a segédanyagokat (NUFILM 17 és NONIT) tartalmazó oldatot alkalmaztuk, kétszeri permetezéssel. A kijutatott pollenmennyiséget a levelek száradása után, két-két levélen, levelenként öt látómezőben sztereó mikroszkóp segítségével (50x-es nagyításon) számoltuk meg. A kezelt levelekre negyedelt tojáscsomókat helyeztünk, amelyek tömegét analitikai mérlegen mértük le, majd meghatároztuk az átlagos tojásszámot (70-100 kezelésenként). A kísérletet üvegházi fülkékben, kezelésenként elkülönítve végeztük el. A fejlődő lárvák tömegét a 8. napon, kezelésenként 20-20 véletlenszerűen kiválasztott lárván mértük (LAUBER, 2011).

4.1.3. Statisztikai módszerek

A növényborítottsági adatokat varianciaanalízissel (*ANOVA*) elemeztük, amelyet *Tukey*-vagy *Kruskal–Wallis*-próbák követték (Statistica, StatSoft, Tulsa, OK, USA). Az adatokat kontrasztív (*cPCA*) és standardizált főkomponens-analízissel (*sPCA*) is értékeltük. A két módszerváltozat alkalmazásának oka az, hogy a kontrasztív *PCA* a nagyobb borítású fajokat hangsúlyozza, míg a standardizált *PCA* a mintanégyzetek fajösszetételében mutatkozó különbségeket emeli ki. További előnyük, hogy a kapott biplot ábrák egyszerre jelenítik meg a fajokat és a mintavételi helyeket, ezáltal nagymértékben megkönnyítik az eredmények értelmezését. Az ábrákon a nyilak a fajok irányát jelzik, arányosítás nélkül; értelmezésük során kizárólag a nyilak irányát, szögét és relatív hosszát kell figyelembe venni, míg a fajok és mintavételi helyek térbeli közelsége nem bír jelentéssel. Gyakran előfordul, hogy több hely és faj

a centrum köré csoportosul, így a feliratok egymásra torlódnak és nem olvashatók – ezekben az esetekben a feliratokat az ordinációs diagramokról elhagytuk.

Az *Inachis io* lárváival nyert eredmények statisztikai kiértékeléséhez egytényezős varianciaanalízist (*one-way ANOVA*) alkalmaztunk, míg a csoportok közötti összehasonlítások során *post-hoc* tesztként *Tukey*-tesztet végeztünk. Az adatok normalitását és a varianciák homogenitását diagnosztikai ábrákkal (*QQ*-plot), *Shapiro–Wilk*- és *Levene*-tesztek alkalmazásával ellenőriztük a varianciaanalízist megelőzően. A 2. és 8. napokon a túlélő lárvák számát is rögzítettük, majd az adatokból a *Henderson – Tilton*-képlet segítségével kiszámítottuk a mortalitást (hatékonyságot).

4.1.4. A *MON810* kukoricapollen *Cry1Ab*-toxintartalmának mérése

A pollen toxintartalmának meghatározásakor kb. 20 mg fagyasztott pollenminta került feldolgozásra, amely során az analitikai pontossággal meghatározott mintatömeget minden esetben rögzítettük. A mintákat porcelán dörzsmozsárban homogenizáltuk 0,5 ml, a gyártó által biztosított extrakciós/hígító pufferben, majd 10-15 perc ülepedés után a mintákat centrifugáltuk (3 perc, 12.000 *rpm*). A felülúszóból 50 μ l-t vettünk ki és a méréshez szükséges hígításban extrakciós pufferrel készítettük elő. Az enzimjelzéses immunanalitikai (*enzyme linked immunosorbent assay, ELISA*) vizsgálatainkat a minta-előkészítés során elkészített felülúszó (szupernatáns) oldatokon végeztük el. A pollenmintákat és a gyártó által biztosított kalibrációs oldatokat három ismétlésben vittük fel a 96-lyukú mikrotálcákra. A mérési eljárást a gyártó (*Envirologix* vagy *Abraxis* mérési tesztsomagok) használati utasításai szerint hajtottuk végre. A kialakult színreakció intenzitását 650 nm (kék szín) és 450 nm (sárga szín) hullámhosszon mértük *iEMS* típusú spektrofotométerrel (*Labsystems*, Helsinki, Finnország). A 0,1–4,0 ng/ml koncentrációtartományba eső kalibrációs mérési pontokra kalibrációs egyenest (lineáris regresszió) illesztettünk, amely alapján meghatároztuk a mintaoldatok *Cry1Ab*-toxinkoncentrációját. A számított értékeket a minta hígítási arányával és a pontos mintatömeeggel korrigáltuk, amely alapján meghatároztuk a pollenminták toxintartalmát (ng/g). A mintaoldatokra vonatkoztatott kimutatási határ az *ENVIROLOGIX* készlet esetében 0,14 ng/ml, míg az *ABRAXIS* készletnél 0,125 ng/ml volt. A kimutatási határhoz közeli toxintartalmú pollenminták esetében a minta-előkészítést módosított eljárással végeztük el, mivel megnöveltük a minta/extrakciós puffer arányát, ezáltal javítva az alacsony koncentrációjú toxinok kimutathatóságát.

4.2. Az amur (*Ctenopharyngodon idella*) vizsgálatai

4.2.1. Az amur

Az amur a csontos halak (*Osteichthyes*) főosztályába tartozó pontyfélék (*Cyprinidae*) családjába tartozó halfaj. Latin génuszneve (*Ctenopharyngodon*) a görög *kteis*, *ktenos* = fésű, a *pharyngx* = garat, és az *odous* = fog szavakból ered. A fajnév (*idella*) valószínűleg a görög *idios* = jellegzetes, speciális szóból ered. E szavak együttesen utalnak az amur különleges, fésűszerű garatfogazatára. Az amur elnevezés a halfaj Amur folyóban való őshonos elterjedését jelzi (KISS, 2019). Kína nagy folyóinak alsó szakaszain, az Amur folyó alsó és középső szakaszain fordul elő (OPUSZYNSKI, 1972; WANG, *et al.*, 2024). A súlyuk meghaladhatja a 30 kg-ot és 1 méternél is nagyobbra nőhetnek, hazánkban elérheti a 1,0-1,2 métert is (BAKONYI *et al.*, 2003) A melegebb vizeket kedvelik, az ivadékok 38-39°C-os vízben érzik jól magukat, de télen az 1-2°C-os vízben is túlélnek (OPUSZYNSKI, 1967). Oxigénigényük alacsony, az ivadékoknak kísérleti körülmények között 0,32-0,60 mg/l oxigén koncentráció az optimális. Az ivarérettség földrajzi helytől függően változhat, Kínában 4-5 év, Magyarországon és Romániában 6-7 év, Moszkva környékén a 10 évet is elérheti (OPUSZYNSKI, 1972). Hazánkban számos elnevezés alakult ki, mint például: amuri kele, fehér amurhal, füevő hal, fűhal, növényevő hal, zöldponty. Teste megnyúlt, két oldalról kissé lapított, szinte hengeres. Feje viszonylag kicsi, szemei alacsonyan ülnek, így homloka széles. Ajkai vaskosak, kemények. Bajuszszálai nincsenek. Robusztus testéhez viszonyítva úszói kicsik. A pikkelyek nem húzódnak rá a fejre. A fiatalok ezüstös színűek. A kifejlettek testének felső oldala olíva vagy rezes zöld, alsó oldala aranysárga, míg hasoldal ezüstös fehér vagy sárga színű. A mellúszók vörhenyes színűek, míg a többi úszó sötétszürke, szürkésbarna (KISS, 2019).

Az amur fejlődése során válik, kezdetben ragadózóból növényevővé (HE *et al.*, 2015). A 3 cm-nél kisebb amur ragadózó, a 3-5,5 cm közötti időszakban történik az átalakulás zooplaktonokon, bentsz szervezeteken és vízi makrofita növényeken keresztül, 5,5 cm felett válnak növényevővé (WATKINS *et al.*, 1981; HE *et al.*, 2015; LI *et al.*, 2022). Korábbi közlemények leírása szerint a 11-15 mm-es testhosszú ivadékok *Rotatoria*, *Crustacea* és kismennyiségben árvaszúnyog (*Chironomidae*) lárvákat és algákat fogyasztanak. A növekedéssel, 17-18 mm-es testhossznál változik az arányuk a *Chironomidae* lárvák irányába. 30 mm-es nagyság felett szinte már csak növényi eredetű táplálékot fogyasztanak. A lárvák 1,8 g felett és 36-43 mm-es méretben főleg zooplanktont és *Chironomidae* lárvákat fogyasztanak (HICKLING, 1966; OPUSZYNSKI, 1972). MÉZES (2019) alapján összefoglalva, a kikelést követően a lárvák 3-4 napos korban kezdenek önállóan táplálkozni, növekedésük rendkívül intenzív, így a lárvák gyorsan elérik a 8-10 mm-es testhosszt. A lárvák szájnyílása ekkor kisméretű táplálékok felvételére alkalmas, ebben az életkorban még a garatfog sem fejlődött ki, emiatt táplálékuk

kisméretű (40-80 μm) zooplankton szervezetek (protozoák, kerekesszék, evezőlábú rákok naupliusz lárvái) képezik 21 mm-es testhossz eléréséig. 10-15 napos korban áttérnek a nagyobb méretű zooplankton (cladocerák, copepodák, árvaszúnyog lárvák) fogyasztására. A garatfogak fejlődésével párhuzamosan térnek át a növényi táplálék fogyasztására, amelyek közül elsőként a fonalas algákat és moszatokat részesítik előnyben. A moszatok fogyasztása 1-1,5-hónapos korban válik dominánssá, de ekkora is fogyasztanak nagyobb méretű zooplankton szervezeteket, valamint kisméretű rovarokat, rovarlárvákat, de olykor még halivadékokat is. Amikor a testhossz eléri a 24-26 mm-t, áttérnek az egyes bentosz szervezetek, mint például az árvaszúnyog lárvák fogyasztására. A garatfogak teljes kifejlődését követően jelentősen nő a vékonybél hossza, és felveszi a fajra jellemző csavarodott formáját. A növényi táplálék hatékony aprításának feltétele, hogy a szájrés elérje az ehhez szükséges méretet és a garatfogak a végső fejlettségi állapotra jellemző sarló alakúvá váljanak. Ezeket figyelembe véve körülbelül 55 mm-es testhossz elérése után válnak valódi magasabb rendű növényeket (8. ábra) fogyasztó állatokká (WATKINS *et al.*, 1981; HE *et al.*, 2015; MÉZES, 2019; LI *et al.*, 2022; LIN *et al.*, 2022).



8. ábra. Antalfi és Tölg (1972) nyomán amur jellegzetes rágásmintáját mutató tündérrózsa (*Nymphaea*).

Antalfi és Tölg (1972) szerint 6-10 cm-es testhosszúság elérésénél állnak át a fajkra jellemző növényi táplálkozásra. Pintér és Pócsi (2002) leírja, hogy 2 cm-es amuroknál is figyelték már meg magasabb rendű növények fogyasztását, de 5-6 cm-es korukban válik ez jellemzővé. Viszont életük végéig fogyasztanak állati eredetű táplálékot, ezt a fehérjeigény kielégítésével magyarázták. Ezt támasztja alá, hogy a hasnyálmirigy folyamatosan termel fehérje- és zsírbontó enzimeket, a kizárólag növényi eredetű táplálék pedig ezt nem indokolná. A makrofita vegetáció

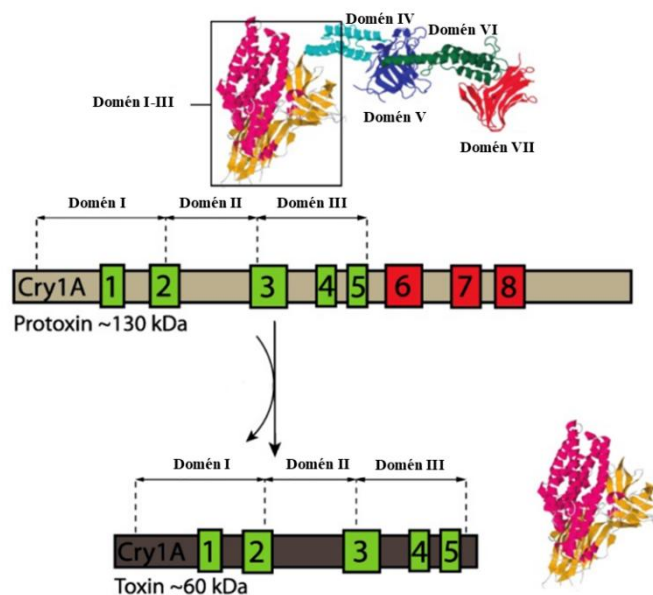
fogyasztásához alkalmazkodik az emésztőenzimek aktivitásának változása is, amely elsősorban a táplálék szubsztrát, azaz cellulóz tartalmától függ. Cellulóz lebontásához szükséges enzimet azonban az amur szervezete nem termel, azt a bélcsatornában a táplálékkal felvett baktériumok és egyes planktonikus élőlények által termelt celluláz-hemicelluláz enzimkomplex biztosítja. Ennek aktivitása a bélcsatornában megfelelő mennyiségű szubsztrát (növényi rost) jelenlétében folyamatosan magas (WATKINS *et al.*, 1981; HE *et al.*, 2015; MÉZES, 2019; LI *et al.*, 2022; LIN *et al.*, 2022).

4.2.2. A GM-kukoricák és izogenikus vonalaik termesztése

4.2.2.1. A MON810 GM-kukorica

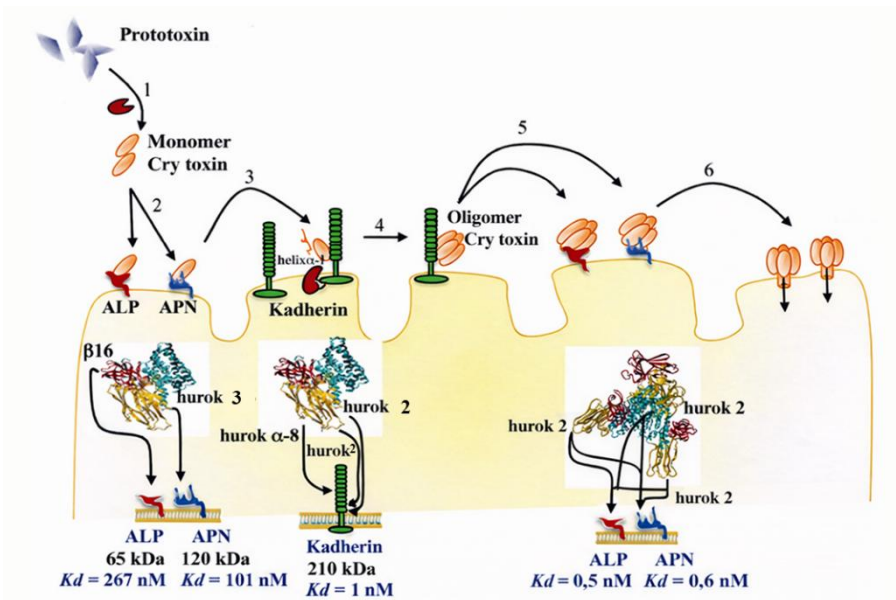
A MON810 GM-kukorica fajtacsoport az első vetésre engedélyezett módosított növény az Európai Unióban (1998). A vetés pillanatnyilag 2024-től feltételek mellett engedélyezett, míg élelmiszer vagy takarmány alapanyagként 2034-ig alkalmazható. 1999-től Ausztria kezdeményezésre több uniós országban vetési moratórium lépett hatályba, így 2005-től Magyarországon sem lehet vetni. Az Európai Unióban Spanyolországban és Portugáliában vetnek MON810 kukoricát, a két országban összesen 48.225 hektáron (Spanyolországban 46.327 ha, Portugáliában 1.898 ha) termesztettek MON810 kukoricát az Európai Unió Élelmiszerbiztonsági Hivatalának (EFSA) 2023-as évi jelentése szerint, ami az előző évekhez képest ~31%-os csökkenést jelent (MESSÉAN *et al.*, 2025).

A Monsanto Company (St. Louis, USA) által fejlesztett MON810 fajtacsoport (YIELDGARD, MAIZEGARD) a DeKalb Genetics Corporation (Monsanto → Bayer) vetőmag-céghez tartozó DK-440 BTY volt, ami arra utal, hogy a közel izogénes anyavonala a DK-440. A vetőmagokat a Monsanto Hungária Kft. biztosította, és hivatalos kísérleti termesztési engedély keretében került termesztésre. A fajtacsoport *glyphosate*-tűrő, rovarrezisztens és antibiotikum rezisztens. A GM-kukorica esemény kódja: MON-00810-6, melynek előállítására a génpuskán alapuló biolisztikus módszert alkalmaztak. A kukorica genomjába négyféle transzgen-konstrukciót lőttek be, melyek a *cry1Ab*, a *goxv247*, *cp4 epsps* és a *nptII* gének, melyek közül az első tárgyaljuk részletesen, mivel az felelős a Cry1Ab-toxin termelésért, a második és harmadik felelős a *glyphosate* tűrőképességért és a negyedik az antibiotikum rezisztenciáért. A kukorica genomjába a *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki cry1Ab*-génjének rövidített változatát integrálták, mely 91 kDa (816 aminosav) tömegű fehérjetoxint termel, amit preaktiválnak nevezünk, így a kukorica ellenálló az európai kukoricamoly lárváival szemben.



9. ábra A *Cry1Ab*-protoxin aktiválódása három alegységű toxikus fehérjévé (PALMA *et al.*, 2014).

A spóráképző baktériumban a fehérjetoxin kristályos formában (δ -endotoxin vagy parasporális test) van jelen. A rovarok közepbelében a kristályos szerkezet feloldódik és kiszabadul a protoxin, amit proteázok (pl. tripszin) hasogatnak (távolítják el a IV-VII alegységet/domént) és ezzel patogenitás szempontjából aktiválják azt. Így keletkezik az I-III doménű aktivált toxin (10. ábra). Ez a monomer aktivált toxinforma, ami a rovarbél különböző receptoraihoz (*ALP* – alkalikus foszfatáz, *APN* – amino-peptidáz és *CAD* – cadherin) kötődik és hat lépés után az oligomerjük a rovarbél falán pórust nyit (11. ábra), amin a *B. thuringiensis* vegetatív teste a lárva testüregébe kerülhet, ami annak halálához vezető szepszist idézi elő. A *cry1Ab*-transzsgént tartalmazó PV-ZMBK07 plazmid a karfiol-mozaikvírus konstitutív 35S promóterét tartalmazza, mely a hozzátartozó gén folyamatos átírását biztosítja, így a kifejeződő *Cry1Ab*-fehérjetoxin folyamatosan jelen van a növényi sejtben. Az alkalmazott promóter nem szövetspecifikus, a növény minden sejtjében bekapcsolt állapotban van (ODELL *et al.*, 1985; ANDOW *et al.*, 2004; TAKÁCS, 2015). Mivel minden egyes sejtben termelődik a toxin, ezáltal nagyságrendekkel magasabb is lehet az egy hektáron termelődő toxinmennyiség a hagyományos biológiai növényvédőszeres védekezés során kijuttatott DIPEL mennyiségének (SZÉKÁCS és DARVAS, 2007). A toxin termelődése eltérő az egyes növényi részekben és termesztési időszakokban. Annak ellenére, hogy a védekezésre főként a növényi szárban és a csövekben lenne szükség, a növény folyamatosan minden részében termeli a *Cry1Ab*-toxint. Intenzív toxintermelés tapasztalható már a csírázás folyamán a magban, majd ezt követően a levélben az első hónap végéig.



10. ábra A Cry-toxin hatásmechanizmusa a rovar belében (PARDO-LÓPEZ *et al.*, 2013).

A toxintermelési maximumot ekkor éri el a növény, ami $17,15 \pm 1,66$ μg toxinszintet jelent 1 gramm friss növényi szövetben. A levélben ezt követően csökkenés figyelhető meg a toxinszintben, amit ismételt növekedés követ. Hasonló toxintermelési ingadozások figyelhetőek meg a gyökérben. A toxinkoncentráció minden növekedési/fejlődési fázisban a levélben a legmagasabb, mely nem a kukoricamoly hernyójának fő tápláléka. Ezt követi a portok, majd a gyökér, a szár, a kukoricaszem és végül a pollen. Vagyis a ténylegesen károsított szárban közepes mennyiségű toxin termelődik (SZÉKÁCS *et al.*, 2010). A kukorica szemtermése, amit akár emberi fogyasztásra termesztnek, nagyon kevés mennyiségű toxint tartalmaz, viszont a növény levelét, melyben legnagyobb mennyiségben termelődik meg a toxin, sok esetben állati takarmányként hasznosíthatják.

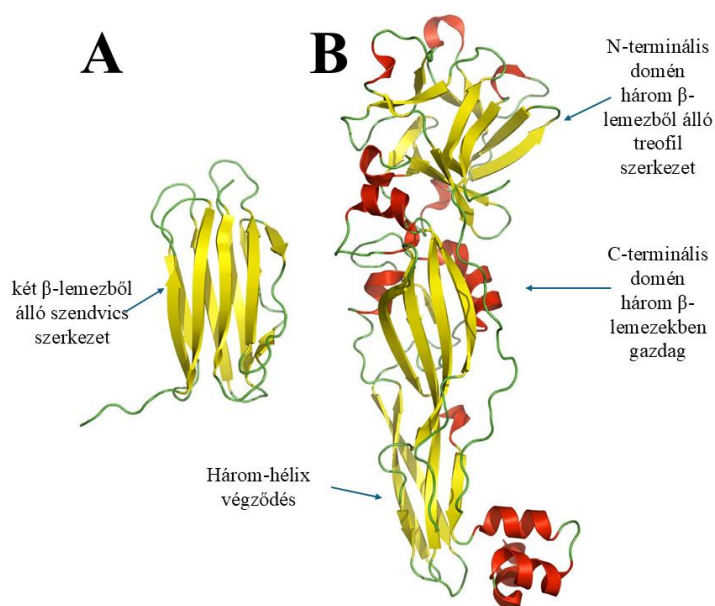
A *MON810* és a közel izogén vonal meszes vályogtalajon, félüzemi körülmények között került termesztésre (Herman Ottó út, Budapest, Magyarország). A terület kizárólag szerves trágyázást kapott, növényvédő szereket nem alkalmaztunk. Csepegtető öntözést biztosítottunk június és augusztus között.

4.2.2.2. A *DAS-59122* GM-kukorica

A *Cry34Ab1*- (14 kDa) és *Cry35Ab1*- (44 kDa) toxinokat 2002-ben izolálták a *B. thuringiensis* PS149B1 törzsből (NARVA *et al.*, 2000; ELLIS *et al.*, 2002; TAKÁCS, 2015) A *DAS-59122* genetikai eseményt hordozó, a Dow/DuPont (Pioneer) tulajdonában álló GM-kukoricát (HERCULEX RW) 2005-ben engedélyezte, majd a regisztrációt 2010-ben 5 évre meghosszabbította az USA Környezetvédelmi Hivatala (US EPA, 2010a). Az Európai Tanács 2007-ben (2007/702/EC) adta ki az engedélyt, mely 2017-ben lejárt, de 2018-ban (2018/1109/EC)

2028-ig megújította azt. A hosszabbításban a *DAS-59122* GM-kukorica behozatalát és feldolgozását, valamint takarmányként és élelmiszerként, vagy ezek alapanyagaként engedélyezi (EUROPEAN COMMISSION, 2007; 2018). A fajta hivatalos kísérleti termesztési engedély keretében került termesztésre. A vetőmagot a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium biztosította. A *DAS-59122* és a közel izogén vonal termesztése az előző részben (3.3.31.) leírt módon történt.

Az esemény kódja: *DAS-59122-7*, mely *glufosinate*-tűrő és ellenálló az amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) lárváival szemben. A kukorica fajtacsoportba háromféle transzgénzt ültettek be, melyek a *pat*, a *cry34Ab1* és a *cry35Ab1* gének, az utóbbi kettőt tárgyaljuk részletesen, mert azok felelősek a Cry3-toxin termelődésért. Ezek ún. bináris toxinok, a kukoricabogár elleni toxikus hatásukat együtt fejtik ki (ELLIS *et al.*, 2002; TAKÁCS, 2015). A Cry34Ab/Cry35Ab toxinok szerkezetük (12.ábra) alapján az aerolizin család tagjai, az előbbi szerkezete 10 szálból álló β -szendvics redővel, amely más citolitikus fehérjék között gyakori, utóbbi a Toxin_10 fehérjék egyik tagja, aerolizinszerű redőt mutat, az N-terminális trefoil domén α -hélixeket tartalmaz és három β -lapot. A C-terminális domén egy hármassal végződő helix redő, amely nem szükséges az aktivitáshoz (KELKER *et al.*, 2014; NARVA *et al.*, 2017; Domínguez-Arrizabalga *et al.*, 2020; LACOMEL *et al.*, 2021). Hatásmechanizmusukat tekintve a Cry34/35Ab1 bináris toxinok is pórusképző hatásúak. A toxinokra érzékeny szervezetek tápcsatornájában a Cry35Ab1-toxin a C-terminális szakaszán hasítódik, az így keletkezett 40 kDa nagyságú molekula erősíti a Cry34Ab1-toxin hatását (GAO *et al.*, 2004; TAKÁCS, 2015). A két toxin megfelelő aránya azonban eddig még nem tisztázott (HERMAN *et al.*, 2002; TAKÁCS, 2015). A pórusképző tulajdonság mindkét toxinra jellemző, azonban csak a két toxin együttes jelenléte eredményez állandóan nyitva tartó ioncsatornát, mely a bélhám ionháztartásának felborulását okozza. A Cry35Ab1-toxin C-terminális szakaszának lehasítása kulcslépése a hatás kifejtésének. A folyamat pH 5,5–6,0 között optimális, mely körülmény a bogárfélék lárváinak bélcsatornájára jellemző (MOELLENBECK *et al.*, 2001; MASSON *et al.*, 2004; TAKÁCS, 2015; YIN *et al.*, 2020). A lepkefélék lárváinak bélcsatornájában a pH magasabb (pH 8,0-12,0), feltételezhetően ez okozza a Cry34/35Ab1-toxinok bogárfélékre gyakorolt hatását specifikusságát (MASSON *et al.*, 2004; TAKÁCS 2015).



11. ábra A Cry34Ab1 (A) és Cry35Ab1 (B) toxinok kristályszerkezetei (KELKER *et al.* 2014).

A hivatalos dokumentumok a *DAS-59122* GM-kukorica esetében is ismertetik a növény toxintartalmát, mely adatok levél-, mag-, gyökér-, és pollenszövetre vonatkoznak a növény V9 (kilencleveles állapot), VT (pollenszórás), R1 (nővirágzás), R4, R5 (horpadás) és R6 (fiziológiai érés) fejlődési stádiumában (RITCHIE *et al.*, 1992; TAKÁCS, 2015). Az ismertetett értékek közül a legmagasabbakat a III. táblázat mutatja be. Az engedélyezési dokumentumok és saját méréseink (SZÉKÁCS *et al.*, 2010) is azt mutatják, hogy a levélben a legmagasabb a toxinok mennyiségei.

III. táblázat. A *DAS-59122* GM-kukorica különböző szöveteiben mért legmagasabb Cry34/35Ab1-koncentrációk a hivatalos engedélyezési dokumentumok alapján

Növényi szövet	ng Cry34Ab/mg száraz tömeg	Fejlődési stádium	ng Cry35Ab/mg száraz tömeg	Fejlődési stádium
levél	302	R4	126	R4
mag	117	R6	4	R6
gyökér	102	R6	15	V9
pollen	87	VT	0	VT

4.2.2.3. Levélmintagyűjtés

A vizsgálatban felhasznált a levélmintákat a kukorica virágzásának kezdeti szakaszában (R1 fázis) gyűjtöttük. A levelek nagyságrenddel több toxint tartalmaztak ($182,9 \pm 26,3 \mu\text{g/g}$ Cry34Ab1, illetve $25,7 \pm 2,1 \mu\text{g/g}$ Cry1Ab) (SZÉKÁCS *et al.*, 2010; TAKÁCS *et al.*, 2012a; TAKÁCS *et al.*, 2012b; TAKÁCS, 2015) mint a rendszerint táplálkozásra használt szemek. A leveleket árnyékban, szobahőmérsékleten szárítottuk, majd őröltük (az őrlés során ügyelve a berendezés felmelegedésének elkerülésére), ezután a mintákat légmentesen zárható edényekben, 4°C -on tároltuk felhasználásig. A levélbiomassza Cry-toxintartalmát minden egyes takarmány-előkészítéshez ELISA-eljárással határoztuk meg.

4.2.3. A szárított őrlemények Cry-toxin tartalmának meghatározása ELISA-módszerrel

4.2.3.1. Cry1Ab (MON810)

A meghatározáshoz az ABRAXIS Bt-Cry1Ab/Ac ELISA készletet (Abraxis Inc., Warminster, PA, USA) alkalmaztunk, és a gyártó által megadott eljárási protokollok szerint végeztük a mérést. A színreakciós (kolorimetriás) mérés során a stop oldat hozzáadása után a színintenzitást (optikai denzitás, OD) 450 nm hullámhosszon mértük iEMS mikrotiter-leolvasóval (Labsystems, Helsinki, Finnország).

4.2.3.2. Cry34Ab1 (DAS-59122)

A meghatározáshoz a Bt-Cry34Ab1 Quantitative Complete ELISA készletet (CD Bioscience Inc., Shirley, NY, USA) alkalmaztunk és a gyártó által megadott eljárási protokollok szerint végeztük a mérést. A színreakciós (kolorimetriás) mérés során a stop oldat hozzáadása után a színintenzitást (optikai denzitás, OD) 450 nm hullámhosszon mértük iEMS mikrotiter-leolvasóval (Labsystems, Helsinki, Finnország).

4.2.3.3. Növényi minta és táp

Az őrölt, szárított kukoricamintákból és az amurtápból egyaránt 40 mg mintát homogenizáltunk a gyártó által biztosított 1 ml extrakciós pufferben, majd a mintákat a méréshez 1:1000, illetve 1:250 arányban hígítottuk. 96 lyukú ELISA mikrotálcákon végeztük a mérést.

4.2.4. A halak tartása

4.2.4.1. Vásárlás helye, az állatok kora

A halakat a szarvasi Halászati Kutatóintézettől vásároltuk, elsőnyaras populációból, melynek előnevelése tavi környezetben történt. 2014. október 9-én 4-hónapos korban érkeztek a halak a laborba. A kísérletek megkezdése előtt megtörtént a halak külső vizsgálata, de boncolás nem történt. A leválogatás során ügyeltünk, hogy súlybeli statisztikai különbségek ne legyenek a csoportok között. Az induló súlyok 8 g körüliek voltak. Egy 200 literes akváriumba 20 hal került (12. ábra). A kísérlet engedélyszáma: PEI/001/2182-9/2015.



9. ábra. Amurcsapat kísérleti akváriumban (Fotó: Pasaréti Gyula).

4.2.4.2. Előzetes megfigyelések

A halak háromhónapos tápváltási kísérletnek voltak részesei, amit egyhónapos kukoricalevéltre épülő táppal való etetés követett. Közel 4 hónapra visszamenően ismertük az akváriumban lévő halak súlygyarapodását és követtük az egészségügyi állapotukat. Ebben a periódusban betegség miatt egyetlen hal sem pusztult el, és nem kellett gyógyszeresen kezelni. Az állatok 6-10-hónapos kor között az előkísérletben ciklopsz (*Cyclops* sp.) (Cyclops, Dr. Fish Food), sórák (*Artemia salina*) (Artemia Cysts Premium, Artemia Koral), vízibolha (*Daphnia magna*) (Daphnia, Dr. Fish Food) és vörös szúnyog, (*Chironomus* sp.) (Bloodworms, Dr. Fish Food), valamint változó 5-40% (IV. táblázat) algatartalmú (*Spirulina* sp.) lemezes tápon, majd hínáron (*Najas* sp.) szoktattuk rá a Mi (MON810 közel izogenikus kukorica) tápra. Az előkísérlet során a fagyasztott zooplankton tápokot csökkentettük 33%-kal, majd 66%-kal és ezt pótoltuk a lemezestáppal.

IV. táblázat A különböző lemezes tápok *Spirulina* sp.-tartalma

Lemezes táp	<i>Spirulina</i> -tartalom
<i>Sera Sun</i>	<i>Spirulina</i> nyomokban
<i>Sera Flora</i>	5% <i>Spirulina</i> tartalom
<i>Super Spirulina Forte</i>	36% <i>Spirulina</i> tartalom
<i>JBL Premium</i>	40% <i>Spirulina</i> tartalom

A tápváltási kísérletre és az elővizsgálatokra azért volt szükség, hogy az amurok fejlődésének megfelelően, az éppen ragadózóból növényevővé váló növendék halak a főkísérlet során a kukoricaőrlemény alapú tápot elfogadják és a fejlődésben ne okozzon visszamaradást.

4.2.4.3. Az állatok tömeg szerinti szétválogatása

A kísérlet előtt, átlagos tömeg szerint 3 csoportba válogattuk az állatokat. Alacsony (A), közepes (K) és nagy (N) csoportba (~25-26 g/egyed – A, ~27-28 g/egyed – K és ~31-32 g/egyed – N). Így három, kissé eltérő testtömegű, 11-hónapos amurcsapattal kezdtünk párhuzamos kísérleteket. Az eredmények statisztikai értékelése (STATISTICA v.13: ANOVA, *posthoc* (Tukey-teszt)) szerint a csoportokon belül az átlagsúlyok szignifikánsan nem különültek el.

4.2.4.4. Nedves táp – Amurtáp (AT)

A nedves táp összetételét (az egyes összetevők aránya) a DU *et al.* (2005; 2009) által ismertett eljárás módosított változata szerint készítettük el. A szárított levelekből (*MON810* – M, *MON810* közel izogénikus – Mi, *DAS-59122* – D, szudánifű – Sz) készített táp kazein, vörös szűnyog, zselatin, kukoricakeményítő mellett aszkorbinsavat és egyéb vitaminokat (JOLOVIT, Phylaxia Pharma, Székesfehérvár, Hungary) tartalmazott. A pontos összetételt a V. és VI. táblázatban foglaltuk össze. Első lépésben a kukoricalevél-őrleményt (4,2%) 30°C fokos desztillált vízben (27%) 2-3 órát szobahőmérsékleten duzzasztottuk, 10 percenként megkevertük. Második lépésben, mikor a levélerek sem fehérek, hozzáadtuk a kazeint (4,2%), a JOLOVIT vitaminoldatot (0,1%), az aszkorbinsavat (0,2%), és a fagyasztott vörös szűnyoglárvát (*Chironomus* sp.) (1%). Harmadik lépésben a zselatint (1,5%) és a kukoricakeményítőt (3,8%) felöntöttük desztillált vízzel (58%). A duzzasztást 10 perces folyamatos keveréssel végeztük, csomómentesre kevertük. Alacsony hőfokon elektromos főzőlapon folyamatos keverés mellett felforraltuk, letapadás nélkül 5 percet kellett fornia, hogy a keményítő csirizedjen. Ezt követően víz-fürdőben 30°C-ra hűtöttük. Negyedik lépésben folyamatos keverés mellett a lehűtött zselatinos keményítőt ráöntöttük a levélmasszára. Az egészet kb. 5 perc alatt homogénné (spenótfőzelékszerű állomány) kevertük, majd formázó rekeszekbe (20 kocka) öntöttük (7,8 g/kocka). Ötödik lépésben a

rekeszeket 5-15°C-ra helyeztük a gél dermedéséig (~1 óra), ezt követően fagyasztottuk -20°C-on egy órát, majd a rekeszből kitolva dobozban fagyasztóban tároltuk. A visszaduzzasztott növényi összetevő a táp szárazanyag-tartalmának ~30%-át tette ki.

V. táblázat Az amurtáp százalékos összetétele

Összetevők:	Összetevők százalékos arány (%)
Levélőrlemény	4,2
Kazein	4,2
JOLOVIT vitamin készítmény	0,1
Aszkorbin sav	0,2
Vörös szúnyog (<i>Chironomus</i> sp.) nedves	1,0
Zselatin	1,5
Kukoricakeményítő	3,8
Desztillált víz	85,0

VI. táblázat A JOLOVIT vitaminkészítmény összetétele

Összetevők	Összetevők mennyisége
A vitamin	14.000.000 IU/l
B1 vitamin	1,4 g/l
B2 vitamin	2,1 g/l
B6 vitamin	1,4 g/l
B12 vitamin	0,014 g/l
D3 vitamin	1.400.000 IU/l
E vitamin	10.500 IU/l
Biotin	0,035 g/l
K3 vitamin	0,175 g/l
Nikotinamid	14 g/l
Folsav	0,175 g/l
Kolin-klorid	140 g/l
D-pantenol	6,55 g/l
β-karotin	0,01 g/l

4.2.4.5. Akváriumi tartás

A kísérletben használt amurokat 12 db 200 literes akváriumokban tartottuk. Akváriumonként 20 halat helyeztünk el. A víz 18-22°C-os volt, fűtésmentes. Az akváriumok túlszűrővel, nagyteljesítményű külső szűrővel (NCF 1500, Aqua Nova) és porlasztóköves levegőztető rendszerrel (ACO-318, Hailea) voltak felszerelve. Az akváriumok megvilágítása szórt fényes, reggel nyolctól délután négy óráig volt időzítve, az etetésekhez kiegészítő megvilágítással reggel hattól nyolc óráig. Hetente 1/3-os (66 liter) vízcsereát alkalmaztunk.

4.2.5. Állati szövetminták vizsgálata

Az analitikai mérésekhez a 3-hónapos etetési periódus végén a közepes (K) és nagy (N) testtömegű csoportokból 10–10 halat mintáztunk, míg a 6-hónapos kísérlet során az N csoportból 6 egyedet vettünk mintába. A 3-hónapos kísérletben mintát vettünk az emésztett amurtápból (a béltraktusból), a kiürített bélből és a máj szövetéből. A 6-hónapos etetés után a mintavétel kiterjedt a vese, fejvese, izomszövet és vérmintákra is. Kiegészítő vizsgálatként, a 3-hónapos etetés után, meghatároztuk a Cry-toxintartalmat a galandférgekben (*Bothriocephalus acheilognathi* Yamaguti) is, ahol fertőzés előfordult. A belekben található amurtáp Cry-toxin általi esetleges keresztszennyeződésének elkerülése érdekében a hasüreg elülső és hátsó végét sebészeti cérnával elkötöttük. A boncolás során a béltraktus eltávolítása volt az utolsó lépés. Az emésztett amurtáp eltávolítása után a beleket háromszor kimostuk fiziológiás sóoldattal. A mintákat Eppendorf-csővekbe gyűjtöttük, és az enzimatisz folyamatok leállítása érdekében azonnal folyékony nitrogénbe helyeztük. A tárolás –20 °C-on történt az immunanalitikai vizsgálatig.

A két kereskedelmi ELISA-készletet eredetileg kukoricaszemek és levelek kvantitatív toxintartalmának meghatározására fejlesztették ki, ezért az analitikai alkalmazás első lépéseként a módszert az emésztett amurtápra és a halak szöveteire optimalizáltuk. Meghatároztuk a minták és a puffer optimális arányát az extrakciós folyamatban, a mátrixhatás minimalizálása érdekében, valamint meghatároztuk a kimutatási (*LOD*) és meghatározási (*LOQ*) határértékeket is szövetenként, a kontrollmintákkal végzett mátrixkalibráció alapján.

4.2.6. Takarmányozási kísérletek amurral

Az etetési periódus végén (1, 3 és 6 hónap után) a kísérleti állatokat egyedi azonosító számmal láttuk el, majd feldolgoztuk a vizsgálatokhoz. A mérést megelőző napon az állatok nem kaptak takarmányt.

4.2.6.1. Altatás

Az altató összetevői: 40 g *benzocaine* (Sigma E1501, SigmaAldrich, Saint Louis, Missouri, USA), 90 ml 10 %-os sósav, 160 ml 96%-os alkohol, 1000 ml desztillált víz, 10 ml *tonogen* (1 mg adrenalin/epinefrin)/ml vizes (Richter Gedeon, Budapest, Magyarország) oldatban. Az altató elkészítésének módszere: Főzőpohárban a 40 g *benzocaine*-t 90 ml sósavban lassú melegítés közben feloldottuk úgy, hogy a melegítés során folyamatosan adagoltuk a 160 ml 96%-os alkoholt. Az oldat melegítéséhez mágneses melegítőlapos keverőt használtunk. Az oldat hőmérsékletét hőmérővel folyamatosan ellenőriztük, 40°C-ig folytattuk. Az oldatot ezután mérőhengerbe öntöttük, és 1000 ml-re egészítettük ki desztillált vízzel. A kész altató folyadékot sötét üvegbe töltöttük, és a továbbiakban 4°C-on, sötétben tároltuk. Az adrenalin fény hatására elbomlik, és az oldat rózsaszínűvé válik. Az altatóból 150 ml szükséges 100 l vízhez. Minden halat egyenként altattunk és mértük a tömegüket, majd egyedi azonosítási kódot kaptak. Vértétel és boncolás előtt túlaltattuk az egyedeket. Az altatóoldatból 1–2 ml adtunk 100–200 ml klórmentes csapvízhez. A halakat egyenként altattuk, és addig tartottuk az altatóoldatban, amíg mozdulatlaná váltak (általában 10–20 másodperc alatt).

4.2.6.2. *Bothriocephalus acheilognathi* galandféreg

Az egyhónapos etetést követő boncolásoknál kiderült, hogy a kontroll és kezelt csoportok közel felében egyaránt előfordul a *B. acheilognathi* okozta galandférgesség. A fertőzött egyedekben átlagosan 4–10 élő galandférget találtunk. A *B. acheilognathi*-fertőzöttség aránya nem mutatott korrelációt a halak testtömegével. Az általunk használt hal-Ringerben a galandféreg minimum egy hétig tovább éltek. Az állatok feldolgozásakor jelöltük a fertőzött egyedeket, így minden mérésnél tudtuk, hogy az egészséges vagy galandférges állatra vonatkozik-e. A meghatározott élettani paramétereket először az összes (fertőzött és nem fertőzött) egyedre vonatkozóan értékeltük statisztikai módszerekkel, majd – amennyiben a mintaszám lehetővé tette – a két alcsoportot (fertőzött és nem fertőzött) külön-külön is elemeztük. Amikor a fertőzött egyedek száma túl alacsony volt, vagy mintavesztés történt, a külön elemzésre nem volt elegendő adat. A fertőzésre visszavezethető elhullás nem fordult elő sem a rövidebb távú (1- és 3-hónapos), sem a hosszabb távú (6-hónapos) etetési kísérletekben. Három hónap után az egész állományt *praziquantel* 15 mg/ttkg adagjával féregtelenítettük, amely galandféreg szempontjából sikeresnek bizonyult, de a túlélést tekintve jelentős eltérés volt a csoportok között. Az A-csoport egyedei mind elpusztultak a kezelés után, így a 6-hónapos kísérletet kizárólag a galandféreg-mentes K- és N-csoportokkal végeztük.

4.2.6.3. Egyhónapos etetés

Az etetést napi 1,6 g/hal/nap mennyiségű amurtáppal végeztük, amelyben a Cry1Ab-toxin koncentrációja $1,7 \pm 0,1 \mu\text{g/g}$, míg a Cry34Ab1-toxiné $13,5 \pm 1,9 \mu\text{g/g}$ volt. Ennek megfelelően a halak napi toxinterhelése $2,8 \pm 0,2 \mu\text{g}$ Cry1Ab és $21,5 \pm 3,1 \mu\text{g}$ Cry34Ab1 volt a *MON810*, illetve a *DAS-59122* alapú takarmány esetében. A vizsgálat során szerves foszfátot, fruktózamint, epesavat, alanin-aminotranszferázt (*ALT*) és aszpartát-aminotranszferázt (*AST*) mértünk.

4.2.6.4. Háromhónapos etetés

Az etetést napi 2,0 g/hal/nap mennyiségű amurtáppal végeztük, amelyben a Cry1Ab-toxin koncentrációja $2,2 \pm 0,2 \mu\text{g/g}$, míg a Cry34Ab1-toxiné $16,8 \pm 2,4 \mu\text{g/g}$ volt. Ennek megfelelően a halak napi toxinterhelése $4,4 \pm 0,4 \mu\text{g}$ Cry1Ab és $33,6 \pm 4,8 \mu\text{g}$ Cry34Ab1 volt a *MON810*, illetve a *DAS-59122* alapú takarmány esetében. A vizsgálat során szerves foszfátot, kalciumot, szérumalbumint, trigliceridet, koleszterint, α -amilázt, tripszint és leucin-aminopeptidázt mértünk.

4.2.6.5. Hathónapos etetés

A 6-hónapos etetési kísérlet befejezését követően csak a galandféreg-mentes egyedeket vizsgáltuk a közepes (K) és nagy (N) testtömegű csoportokból vérmintavétel és boncolás céljából. A féregtelenítést a *praziquantel* nevű féreghajtó szerrel végeztük, 15 mg/ttkg adagban; a kis testtömegű (A) csoport egyedei ezt a kezelést nem éltek túl. A többi halat teljeskörűen feldolgoztuk a vizsgálatokhoz. Az etetést napi 2,4 g/hal/nap mennyiségű amurtáppal végeztük, amelyben a Cry1Ab-toxin koncentrációja $2,7 \pm 0,2 \mu\text{g/g}$, míg a Cry34Ab1-toxiné $20,2 \pm 2,9 \mu\text{g/g}$ volt. Ennek alapján a halak napi toxinterhelése $6,4 \pm 0,5 \mu\text{g}$ Cry1Ab, illetve $48,4 \pm 7,0 \mu\text{g}$ Cry34Ab1 volt a *MON810*, illetve *DAS-59122* alapú takarmány esetében. A vizsgálat során szerves foszfátot, fruktózamint, *TUNEL*-próbát és immunológiai mérést végeztünk.

4.2.7. Laborkémiai vizsgálatok

4.2.7.1. Vérekémiai vizsgálatok

Vérvétel

Túlaltatás után az amur farokúszóját a farok alatti úszó elején szikével levágtuk. A farokúszó eltávolítása után a halat (sebbel lefelé) egy 5 ml-es FALCON centrifugacsőbe helyeztük, amely 2 ml *heparin*-t tartalmazó foszfátpufferelt sóoldatot (*PBS*-oldat) (100 NE/ml) tartalmazott, majd ehhez egy csepp amurvért adtunk. Ezt követően a cső tartalmát 1 ml-es pipettával gyorsan szuszpendáltuk, majd a centrifugacsövet lezártuk és jégre tettük.

Alanin-aminotranszferáz enzim mérése

Az alanin-aminotranszferáz (*ALT*) aktivitást a Beckman Coulter gyártó készletével (No.: OSR 6107, Beckman Coulter Ireland, Maryfort, Írország) határoztuk meg, a gyártó leírása alapján, 3–386 U/l mérési tartományban.

Aszpartát-aminotranszferáz enzim mérése

Az aszpartát-aminotranszferáz (*AST*) aktivitást a Beckman Coulter gyártó készletével (No.: OSR 6109, Beckman Coulter Ireland, Maryfort, Írország) határoztuk meg, a gyártó leírása alapján, 3–433 U/l mérési tartományban.

Fruktózamin mérése

A fruktózamin szintjét a Dialab gyártó készletével (No.: 301140, Wiener Neudorf, Ausztria) határoztuk meg, a gyártó leírása szerint, 10–1000 $\mu\text{mol/l}$ mérési tartományban.

Szervetlen foszfát mérése

A szervetlen foszfát szintjét a Beckman Coulter gyártó készletével (No.: OSR 6122, Beckman Coulter Ireland, Maryfort, Írország) határoztuk meg, a gyártó leírása szerint, 37°C-on, 5–179 mg/l mérési tartományban. A műszer a mért adatokat mg/dl egységben nyomtatta ki, amelyeket ezt követően mmol/l egységre váltottuk át.

Kalcium mérése

A kalciumszintet a Dialab gyártó készletével (No.: DO1376, Wiener Neudorf, Ausztria) határoztuk meg, a gyártó leírása alapján, 0,01–5 mmol/l mérési tartományban.

Triglicerid mérése

A trigliceridszintet a Beckman Coulter gyártó készletével (No.: OSR 6118, Beckman Coulter Ireland, Maryfort, Írország) határoztuk meg, a gyártó leírása szerint, 37°C-on, 0,14–9,39 g/l mérési tartományban. A műszer a mért adatokat mg/dl egységben nyomtatta ki, amelyeket ezt követően mmol/l egységre váltottuk át.

Koleszterin mérése

A koleszterinszintet a Beckman Coulter gyártó készletével (No.: OSR 6116, Beckman Coulter Ireland, Maryfort, Írország) határoztuk meg, a gyártó leírása alapján, 37°C-on, 0,33–4,88 g/l mérési tartományban. A műszer a mért adatokat mg/dl egységben nyomtatta ki, amelyeket ezt követően mmol/l egységre váltottuk át.

Szérumalbumin mérése

A szérumalbumin szintjét a Beckman Coulter gyártó készletével (No.: OSR 6102, Beckman Coulter Ireland, Maryfort, Írország) határoztuk meg, a gyártó leírása szerint, 37°C-on, 0,15 g/l érzékenységgel. A műszer a mért adatokat mg/dl egységben nyomtatta ki, amelyeket ezt követően g/l egységre váltottuk át.

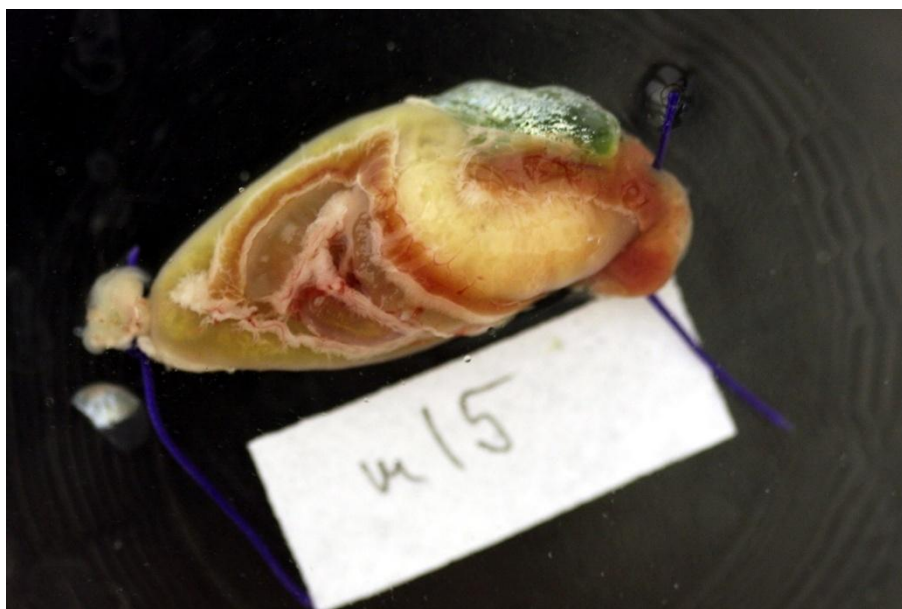
Epesavszint mérése

Az epesavak szintjét a Diasys gyártó készletével (No.: 12238 99.10930, DiaSys Diagnostic Systems GmbH, Holzheim, Németország) határoztuk meg, a gyártó leírása szerint, 2–200 $\mu\text{mol/l}$ mérési tartományban.

A mérésekhez Olympus AU400 Chemistry Analyzer-t (Olympus Corporation, Tokió, Japán) használtunk.

4.2.8. Boncolás, mintavétel és szövettan

A harmadik hónap után 5-5 parazitamentes halból hal-Ringerben (OGAWA és mtsi nyomán: 128,1 mM NaCl, 2,5 mM KCl, 1,8mM CaCl₂ és 0,2 mM NaHCO₃ sókból áll) kioperált és átmosott közép- és utóbelét folyékony nitrogénben fagyasztottuk. A 4-4 cm-es középbel mintákat a hasüregi zsák (13. ábra) béltraktusának felső 1 cm-től, míg az utóbel mintákat a végbéltől felfelé 1 cm-re metszettük ki.



13. ábra. Amur hasüregi zsák. Fotó: Darvas Béla.

4.2.8.1. Szöveti minták előkészítése

Az 1, 3 és 6 hónap után 10-10 hal kiemelt tápcsatornáját a májjal és a *hepatopancreas*-szal együtt 4%-os pufferolt formaldehidoldatban 24 óráig 4°C-on tároltuk. Növekvő koncentrációjú etanololdatokkal víztelenítettük, majd xilolos áztatással áttetszővé tettük, végül PARAPLAST-ba ágyazva 5 µm vastagságú metszeteket készítettünk, melyeket *hematoxilin-eozin* és *PAS* (perjódsav és Schiff-reagens) festéssel készítettünk elő kórszöveti vizsgálatokra (KRUTSAY, 1980).

A szervek és szövetek elváltozásait kerestük, illetve méréseket végeztünk (epithelsejt-magasság, kriptamélység, kehelysejtszám). Az eredmények értékelése DELL STATISTICA v. 13: *ANOVA, post hoc* (Tukey-teszt, *Spjotvoll-Stoline* teszt) szerint történt.

4.2.8.2. Epithelsejtek rétegének vastagsága

Az amur bélhámja a teljes vékony- és vastagbélszakaszon egyrétegű többmagsoros hengerhám, így mérhető annak magassága az alaphártyától az apikális kefeszegélyig. Ezt a hosszúságot mértük mintánként 12 ponton 40x objektív használatával és okulármikrométert alkalmazva. Valamennyi esetben a mintáknál ugyanazon középbél szakasz hámsejtrétegét mértük galandférgességtől mentes példányoknál.

4.2.8.3. Kripták mélysége

Az amur belében nincsenek bélbolyhok, a vékony- és középbélszakaszon mirigy végkamrák (kripták) találhatóak. 12 kripta hosszúságát mértük 10x objektív használatával és okulármikrométert alkalmazva. Valamennyi esetben a mintáknál ugyanazon középbél szakasz mirigykripta-mélységét mértük galandférgességtől mentes példányoknál.

4.2.8.4. Kehelysejtek száma

Az amur bélhámja a teljes vékony- és vastagbélszakaszon egyrétegű többmagsoros hengerhám, amelyben nagy számban fordulnak elő nyálkatermelő kehelysejtek, melyek *PAS* festéssel specifikusan jól láthatóvá tehetők. Ezek látóterenkénti számát állapítottuk meg 12 látótér vizsgálatával és 40x objektív használatával. Valamennyi esetben a mintáknál ugyanazon középbél szakasz kehelysejtszámát mértük galandférgességtől mentes példányoknál.

4.2.9. Enzimológiai vizsgálatok

4.2.9.1. A minták előkészítése enzim méréshez/enzimaktivitás méréshez

Az amur közép- és utóbél-mintáját kivettük a fagyasztóból és hagytuk kiolvadni. Minden mintát három, körülbelül egyenlő darabra vágunk. Minden mintadarabot megmértünk. Minden

mintát jégűtött mozsárban, hűtött mozsártörővel homogenizáltunk. A homogenizálási folyamat javítása érdekében az amilázaktivitásra kiválasztott mintákat amiláz pufferrel (Colorimetric Amylase Activity Assay kit) hígítottuk 500 µl/100 mg szövet arányban; a tripszinaktivitásra kiválasztott mintákat tripszin pufferrel (Colorimetric Trypsin Activity Assay kit) hígítottuk 400 µl/100 mg szövetre; és azokat a mintákat, amelyekben a *LAP* enzim mennyiségét mértük, *PBS*-sel hígítottuk 1000 µl/100 mg szövet arányban. A homogenizálási eljárást követően az amiláz- és tripszinaktivitás mérésére szánt homogenizált és hígított mintákat EPPENDORF csövekben 13000 RPM-en, 4°C-on, 4 percig centrifugáltuk HERAEUS BIOFUGE FRESO mikrocentrifugával. A *LAP*-ELISA mérésre szánt homogenizált és hígított mintákat 3000 perc per fordulaton, 4°C-on, 20 percig centrifugáltuk. A csapadékot minden esetben eltávolítottuk, és a felülúszót felhasználtuk a mérés további lépéseiben.

4.2.9.2. *α*-amiláz (Abcam's Colorimetric Amylase Activity Assay kit) mérés

Az *α*-amiláz aktivitását kolorimetriás módszerrel határoztuk meg az Amylase Activity Assay Kit (No.: ab102523, Abcam, Cambridge, Egyesült Királyság) segítségével, a gyártó leírása szerint, 0,2 mU/lyuk érzékenységgel.

4.2.9.3. Tripszin (Abcam's Colorimetric Trypsin Activity Assay kit) mérés

A tripszin aktivitását kolorimetriás módszerrel határoztuk meg a Trypsin Activity Assay Kit (No.: ab102531, Abcam, Cambridge, Egyesült Királyság) segítségével, a gyártó leírása alapján, 10–100 mU/lyuk mérési tartományban.

4.2.9.4. Leucin-aminopeptidáz (*LAP*) mérése ELISA módszerrel

A leucin-aminopeptidáz aktivitását a *LAP* ELISA kit (No.: MBS029262, MyBiosource, San Diego, CA, USA) segítségével határoztuk meg, a gyártó leírása szerint, 0,25–10 mmol/l mérési tartományban.

4.2.10. Áramlási citometriás mérések

4.2.10.1. *TUNEL* festés

A *TUNEL*-festéshez az APO-BrdU *TUNEL* Assay Kit-et (No.: A23210, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) alkalmaztuk, a gyártó leírása szerint. A festett mintákat áramlási citométerrel mértük, FACSAria III típusú sejtválogató berendezéssel (Becton Dickinson, San Jose, CA, USA).

4.2.10.2. *DiOC6* (3,3'-dihexiloxa-karbocianin-jodid) festés

200 µl vérminta szuszpenzióhoz 800 µl *PBS*-t adtunk. A sejteket szuszpendáltuk, 1500 fordulat/perc sebességgel centrifugáltuk 5 percig. A felülúszót eltávolítottuk, és a pelletet 1 ml *PBS*-ben újraszuszpendáltuk. Mindegyik sejtsuszpenziót DiOC6(3)-mal festettük 50 nM-en sötétben 15 percig. A festési eljárást úgy állítottuk le, hogy minden mintához 2 ml *PBS*-t adtunk. Ezt követően a mintákat 1.500 fordulat/perc sebességgel centrifugáltuk 5 percig, a felülúszót eltávolítottuk, és a pelletet 1 ml *PBS*-ben újraszuszpendáltuk. Az utolsó eljárást háromszor megismételtük. A mintákat (egyenként 1 ml szuszpenzió) jégre helyeztük, és sötét dobozban szállítottuk, hogy megvédjük a fénytől.

4.2.10.3. Áramlási citometriás mérés

Az áramlási citometriás analízist FACSAria III áramlási citométeren (Becton Dickinson, San Jose, CA, USA) végeztük, a FACSDIVA Software 6.0 használatával az áramlási citometriai adatok gyűjtésére és elemzésére. A fényszórási csatornákat lineáris erősítésre, a fluoreszcencia csatornákat pedig logaritmikus skálára állítottuk be. A vörsejtek méretét és sűrűségét előre és oldalsó szögszóródással (*FSC versus SSC*) határoztuk meg. A DiOC6 zöld fluoreszcenciáját a FITC csatornában 500-550 nm között detektáltuk. A DiOC6 festett minták esetében minden mintából (amurból) 30.000 sejtet elemeztünk. A zöld fluoreszcens TUNEL-festett minták esetében minden mintából (amurból) 10 000 sejtet vizsgáltunk. Az eredmények értékelése STATISTICA V. 13: ANOVA, *post hoc* (Tukey-teszt) szerint történt.

4.2.10.4. A vörsejtek azonosítása morfológiájuk alapján

Az áramlási citometriás analízist FACSAria III áramlási citométeren (Becton Dickinson, San Jose, CA, USA) végeztük, a FACSDIVA Software 6.0 használatával az áramlási citometriai adatok gyűjtésére és elemzésére. A fényszórási csatornákat lineáris erősítésre, a fluoreszcencia csatornákat pedig logaritmikus skálára állítottuk be. A vörsejtek méretét és sűrűségét előre és oldalsó szögszóródással (*FSC – Forward Scatter* és *SSC – Side Scatter*) határoztuk meg. A DiOC6 zöld fluoreszcenciáját a fluoreszcein-izotiocianát (*FITC*) csatornában 500-550 nm közötti hullámhosszon detektáltuk. Az *FSC-FITC* pontdiagramokat a szétválogatandó és a morfológiai azonosítási eljárásnak alávetett populációk azonosítására használtuk, mértük és hasonlítottuk össze különböző kezelési csoportokban. Minden populációból 100.000 sejtet választottunk ki. A szétválogatott populációkat 1.500 fordulat/perc sebességgel centrifugáltuk, a pelleteket 100 µl *PBS*-ben újra szuszpendáltuk, üveglapokra pipettáztuk, majd a felmelegített (70°C) levegőn szárított keneteket metanolban fixáltuk 2-3 percig, majd Giemsa folyadékkal megfestettük. 8-10 percig mostuk, szárítottuk és lefedtük. A megfestett keneteket egy számítógéphez csatlakoztatott videokamerával felszerelt fénymikroszkóp alatt figyeltük meg és fényképeztük le. A különböző

populációk véresejtjeit azonosítottuk, és 30 látómezőben megszámláltuk egy 40X-es lencse segítségével. Az amurok különböző kezelési csoportjait a korábban szétválogatott, elkent, festett, karakterizált sejtpopulációk alapján hasonlítottuk össze. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy az adatelemzés során használt kapuk mindegyike azonos, és gyakorlatilag azonos volt az első válogatás során használt kapukkal. Az eredmények értékelése STATISTICA v. 13: *ANOVA, post hoc (Tukey-teszt)* szerint történt.

5. Eredmények és értékelésük

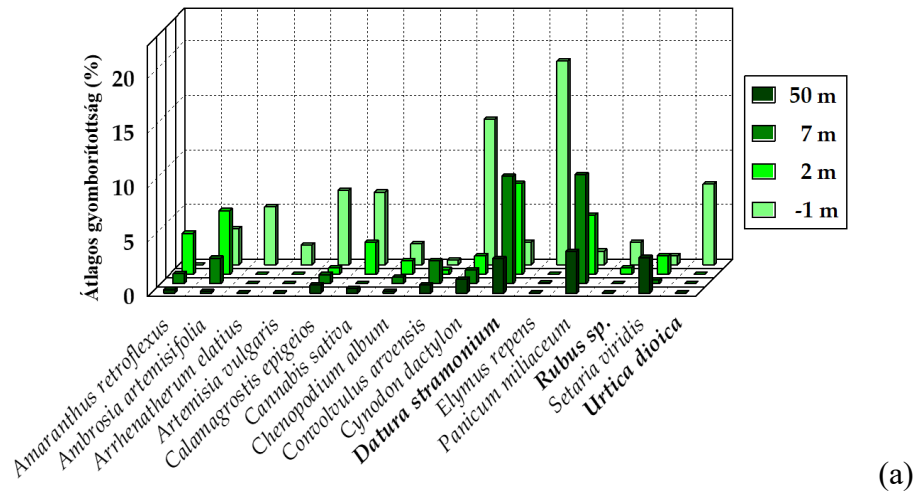
5.1. A *MON810* kukoricapollen kockázatbecslése Cry1Ab-toxinra érzékeny és toleráns *Inachis io* fiatal lárvák esetében

5.1.1. A kukoricatáblák jellemző gyomközösségei

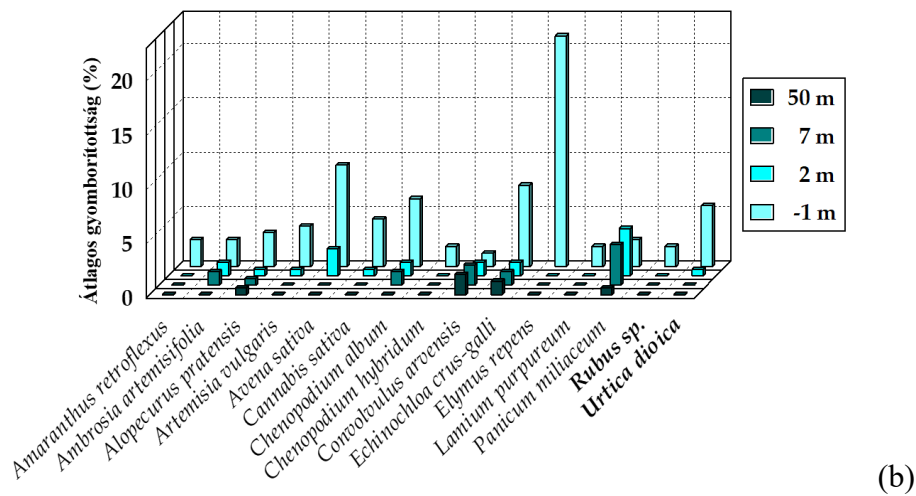
A kukoricatáblákban a virágzási időszak során feljegyzett, többé-kevésbé gyakori gyomfajok száma Magyarországon 2003-ban 44, míg 2024-ben 26 volt. A gyomborítottság egyetlen faj esetében sem haladta meg átlagosan a 20%-ot egyik zónában sem, beleértve a táblák –1 m-es szegélyét is.

A gyomfajok kukoricatáblákba való elterjedését ábrázoló hisztogram (14. ábra) a főbb fajok átlagos borítási százalékát mutatja a négy zónában: –1 m (a tábla szegélye), valamint 2 m, 7 m és 50 m távolságra a tábla belseje felé. Az adatok a különböző gyomfajok eltérő terjedési képességét jelzik. A nagyon gyakori és agresszív *Elymus repens* (L.) Gould (tarackbúza) és *Cynodon dactylon* (L.) Persoon (csillagpázsit) (különösen homoktalajokon) voltak a domináns fajok. Az *Urtica dioica* jelentős borítást mutatott a kukoricatáblák szegélyeinél, ami azzal magyarázható, hogy a táblákat gyakran vízelvezető árok határolják, a hazai, mintegy százötven évre visszanyúló hagyományos vízgazdálkodási gyakorlat eredményeként. Ez a gyomtársulás-típus nem érintett a herbicides kezeléseknél, mivel ezeket a területeket általában nem permetezik. A *Urtica dioica* rendszerint csak a tábla első méteréig képes terjedni. Kisebb borítással a *Rubus* fajok is előfordulhatnak, amelyek a tábla első két méteréig jutnak el. Ezzel szemben a *Datura stramonium* Linnaeus (csattanó maszlag) és a *Panicum miliaceum* Linnaeus (köles) a tábla belsejében akár 50 méteres távolságig is elérhet (14. ábra).

Jelentős különbség mutatkozott a gyomfajok elterjedési mintázata között a tábla peremén (félig természetes, kvázi zavartalan ökoszisztéma) és a tábla belsejében (agroökoszisztéma). Néhány gyakori faj – például az *Ambrosia artemisiifolia* Linnaeus (ürömlevelű parlagfű) és a *Datura stramonium* – kizárólag a tábla belsejében fordul elő, nem pedig a szegélyekben. Ez arra utal, hogy megjelenésük elsősorban a talajművelés következménye, és így ezek a fajok különösen kitettek a gyomszabályozási beavatkozásoknak.



(a)



(b)

14. ábra. A Magyarországon, kukoricatáblákban előforduló legfontosabb, gyomnövényfajok átlagos borítása

Megjegyzés: (–1 m a tábla szegélye, valamint 2 m, 7 m és 50 m távolságra a tábla belseje felé), 2003 júliusában (a) és 2024 júniusában (b).

A 2003 és 2024 közötti időszakban jelentős változás figyelhető meg abban, hogy a *Datura stramonium* ritkává vált a kukoricatáblák gyomnövényei között. Ennek nyilvánvaló oka a vegyszeres gyomirtás megváltozott hatóanyaga.

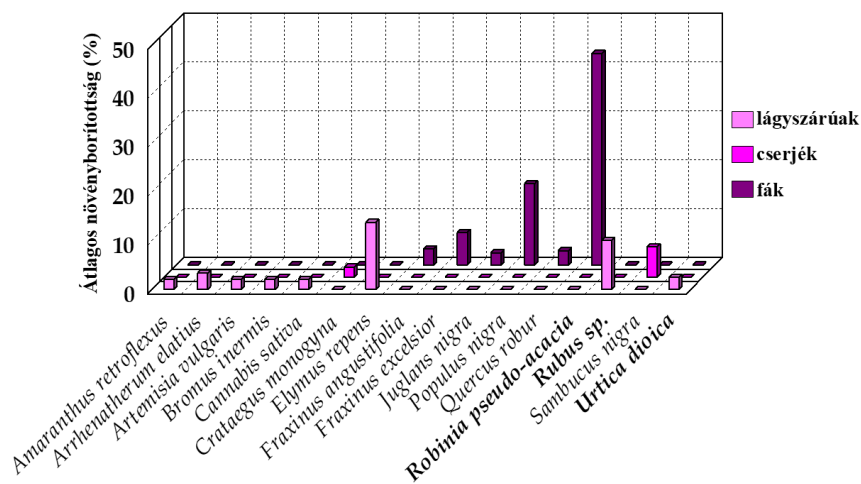
A kontrasztív főkomponens-analízis (*cPCA*) azt mutatja, hogy a szegély (-1 m) gyomflórája (félleg természetes terület) mindkét vizsgálati évben lényegesen eltér a kukoricatáblákon belüli zónák (agroökoszisztéma) fajösszetételétől. Ez az eredmény jó összhangban van a gyomok elterjedését ábrázoló hisztogramokkal. A -1 m-es minták az ordinációs ábrákon jól elkülönülnek a többitől (15. ábra), ami egyértelműen jelzi a szegély gyomközösségének sajátosságait.

A kizárólag a -1 m-es zónában megjelenő fajok, mint például az *Urtica dioica* és az *Elymus repens*, negatív korrelációt mutatnak a táblán belül előforduló gyomfajokkal, különösen a *Panicum miliaceum*-mal. Emellett az *Elymus repens* legalább három szegélyben előfordult 2003-ban. Az adatszerkezetet erőteljesen az első főkomponens uralja, amely a variancia 40%-át magyarázza 2003-ban és 25,5%-át 2024-ben. A standardizált főkomponens-analízis (*sPCA*) kiegyenlített eredményeket adott (16. ábra), ahol az első tengely 2003-ban 25,5%, 2024-ben pedig 21,2% varianciát mutatott. A szegélyhez közeli (2 m-es) zóna gyomszerkezete némileg eltér a belsőbb (7 és 50 m-es) zónákétól. Ezt a különbséget részben a szegélyekben előforduló fajok, mint például a *Datura stramonium* (2003-ban) és az *Amaranthus retroflexus*, valamint az alacsonyabb kukoricaborítás okozza, amely az ún. szegélyhatás következménye. A két belső zóna (7 m és 50 m) fajösszetételében gyakorlatilag nem mutatható ki különbség, és az ordinációban sem különíthetők el egymástól. A fajösszetételbeli különbségek mellett a gyomborítottság átlagos értéke is szignifikánsan magasabb volt a szegélyekben, mint a tábla első 50 méterében (VII. táblázat). Összességében 2003 és 2024 között a gyomfajok száma és az általuk borított terület is jelentősen csökkenhetett (VII. táblázat), ami a herbicid-hatóanyagok változásának és hatékonyságuk növekedésének tudható be.

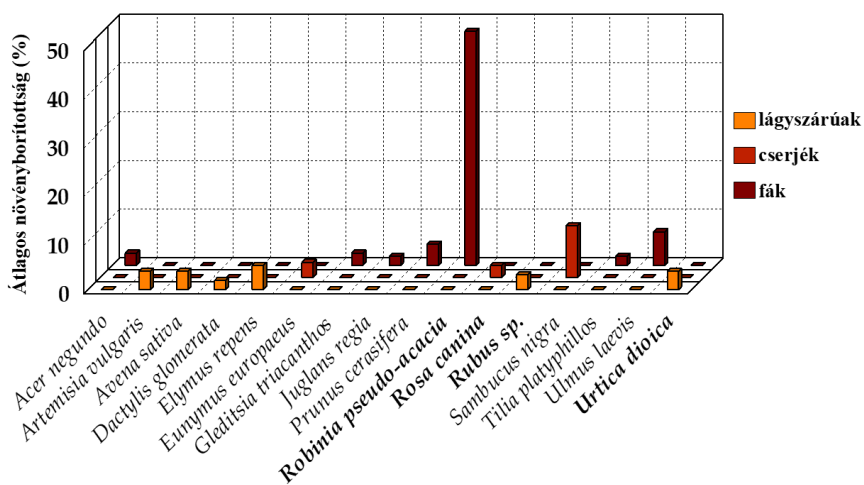
VII. táblázat. Átlagos gyomborítottsági értékek a kukoricatáblák négy vizsgált zónájában. A különböző betűkkel (a–d) jelölt zónák szignifikánsan különböznek egymástól ($p < 0,05$; *Kruskal–Wallis ANOVA* és mediánpróba, a csoportok átlagos rangjainak többszörös összehasonlítása alapján).

Távolság a tábla szélétől (m)	Gyomborítottság (%)	
	2003	2024
-1	92.50 ± 13.63 ^a	77.50 ± 16.48 ^c
2	37.67 ± 27.46 ^b	14.38 ± 17.82 ^d
7	30.50 ± 34.82 ^b	11.25 ± 12.46 ^b
50	15.50 ± 15.04 ^b	4.38 ± 6.78 ^d

2024-ben a felvételezés ismétlésekor 14 fa, 6 cserje és 14 lágyszárú fajt rögzítettünk összesen 34 fajt. A védősávok leggyakoribb növénytársulásait ekkor a *Robinia pseudoacacia* (48%) uralta a lombkoronaszintben, a *Sambucus nigra* (10%) a cserjeszintben, míg a *Urtica dioica* és a *Rubus* fajok továbbra is meghatározók maradtak a lágyszárú szintben (17. ábra). A fás növények átlagos borítása 73,5%, míg a gyomoké 32,8% volt (18. ábra).



(a)

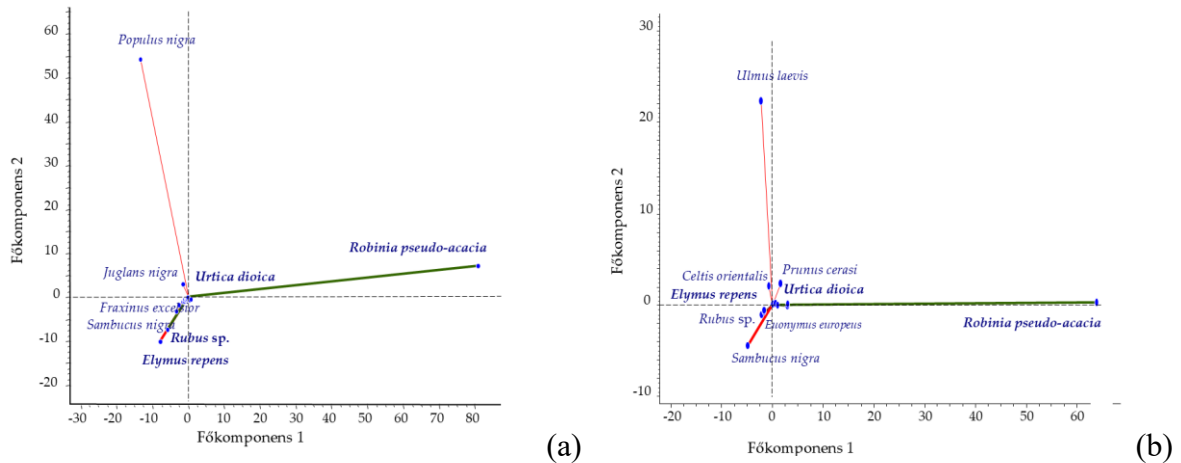


(b)

17. ábra. A leggyakoribb fák, cserjék és lágyszárú növények (gyepszint) átlagos borítása a kukoricatáblákhoz közeli védősávokban Magyarországon, 2006 júliusában (a) és 2024 júniusában (b).

VIII. táblázat. A kukoricatáblák menti védősávok növény szintjeinek borítási aránya (%). A különböző betűkkel (a–c) jelölt növény szintek szignifikánsan különböznek egymástól ($p < 0,05$).

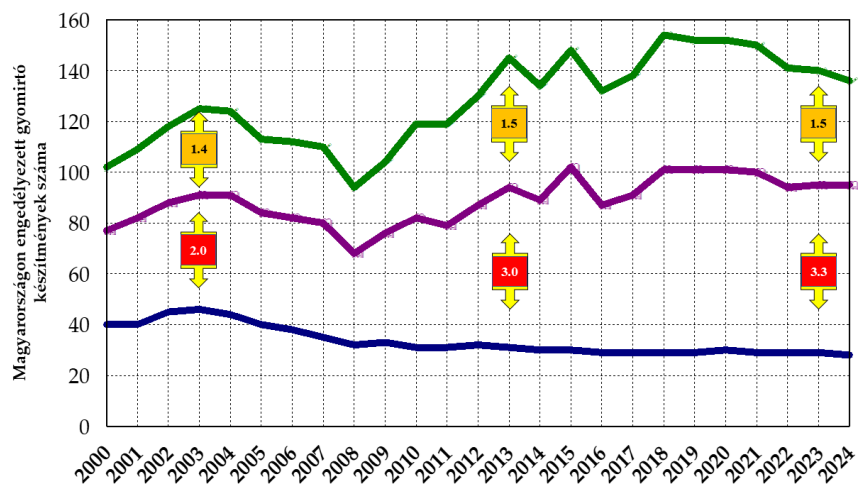
Növény szint	Borítás (%)	
	2006	2024
Fás szint	75.42 ± 14.05 ^a	73.13 ± 14.62 ^a
Cserjeszint	8.50 ± 5.44 ^b	15.00 ± 10.70 ^b
Lágyszárú (gyep) szint	37.92 ± 30.78 ^c	31.88 ± 12.23 ^c



18. ábra. Kontrasztív főkomponens-analízis (*cPCA*) a kukoricatáblákhoz közeli védősávok növényfajainak átlagos borítása alapján Magyarországon, 2006-ban (a) és 2024-ben (b).
Megjegyzés: a fás szintben két fafaj dominanciája figyelhető meg, míg a másik két szintben a *Rubus* sp. és az *Elymus repens* voltak meghatározóak. A legtöbb lágyszárú faj térbeli elhelyezkedése átfedést mutat az *Urtica dioica*-val, ezért az ábrán az áttekinthetőség érdekében nem kerültek feltüntetésre.

5.1.3. A kémiai gyomszabályozás gyakorlata Magyarországon a vizsgált időszakban

A herbicidek használata egyértelműen befolyásolja a gyomnövény-együttesek összetételét, ezért elemeztük a Magyarországon kukoricában engedélyezett, hivatalos növényvédőszerlistákban (Agrinex Bt., Budapest, 2000–2024) szereplő kereskedelmi forgalomban kapható gyomirtó készítményeket, hatóanyagok és kémiai csoportok szerint rendszerezve (SZÉKÁCS, 2021). Magyarországon az elmúlt 25 évben összesen 222 különböző (gyakran több hatóanyagot kombináló) gyomirtó készítmény állt rendelkezésre a kukorica gyomszabályozásához. Az egyes években elérhető termékek száma 68 és 102 között mozgott, amelyek 28–46 különböző hatóanyagot tartalmaztak (19. ábra). A kukoricában felhasználható hatóanyagok száma 2005 óta fokozatosan csökken, ami részben az Európai Unió szigorú újra regisztrációs programjának, részben pedig annak tudható be, hogy a gyártók fejlesztési üteme jelentősen visszaesett. Új, eltérő biokémiai hatásmechanizmusú herbicid-hatóanyag 1992 óta nem jelent meg (SZÉKÁCS, 2021; 2024).



19. ábra. Kukoricában felhasználható, Magyarországon engedélyezett gyomirtószer.

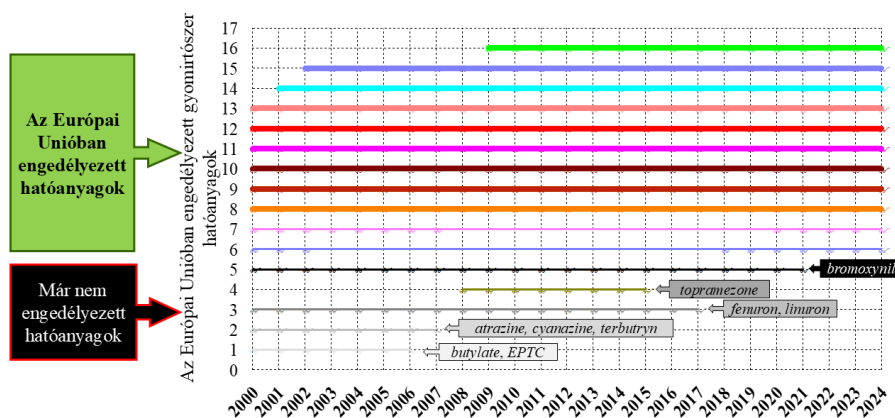
Magyarázat: (kereskedelmi készítmények – lila vonal), azok hatóanyagainak (kék vonal) és az összetevők teljes számának (zöld vonal) alakulása 2000 és 2024 között (Agrinex Bt., Budapest, 2000–2024).

A vizsgált gyomirtó készítményekben a hatóanyagok egyértelműen elkülöníthetők elsődleges és kiegészítő komponensekre, mivel az egyszikű és kétszikű gyomfajok a legtöbb herbicidre eltérő érzékenységet mutatnak. Emellett az egyes herbicidrezisztens gyomcsoportok is specifikus, a készítményektől függő viselkedést mutatnak, ami megnehezíti az ellenük való védekezést. Minél hatékonyabb a gyomszabályozás, annál kisebb a túlélő gyomnövények előfordulási aránya, amelyek a védett lepkefajok lárváinak táplálékául szolgálhatnak.

A 2003-as fajlista és a borítási értékek jól tükrözik a triazin-típusú herbicidekkel (elsősorban *atrazine*) kezelt kukoricatáblák állapotát, amely hatóanyag 2007-ig rendkívül elterjedt volt Magyarországon. Hasonló mintázat figyelhető meg azonban más, széles körben alkalmazott hatóanyagcsoportok – például a klóracetamidok (*acetochlor*) és a fenoxi-ecetsav-származékok (*2,4-D*) – esetében is. A vizsgált időszak során a jóváhagyott herbicid-hatóanyagok köre jelentős mértékben változott (20. ábra), elsősorban számos hatóanyag kivonása vagy betiltása, kisebb részben pedig új hatóanyagok engedélyezése miatt. Az Európai Unió szintű szabályozás mellett több, egy vagy több hatóanyagot tartalmazó herbicidkészítmény is nemzeti (magyarországi) szinten került engedélyezésre (21. ábra).

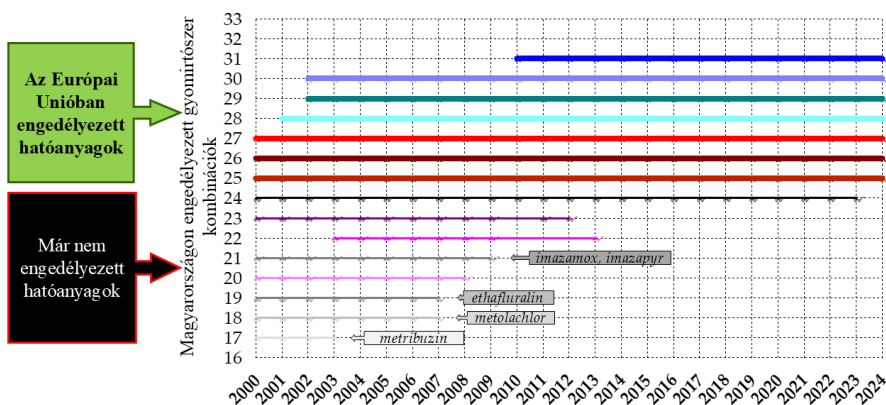
A 1,3,5-triazin típusú hatóanyagokat – *atrazine*, *cyanazine* és *terbutryn* – még alkalmazták 2003-ban, az első gyomfelmérés idején. Ezek kivonása nem eredményezte új, problémás gyomfajok megjelenését a kukoricában, mivel a szulfonil-urea-típusú hatóanyagok (*nicosulfuron*, *rimsulfuron*, *thifensulfuron-methyl*) forgalomba kerülésével a gyomirtás hatékonysága tovább javult, amit a 2024-es gyomfelmérés is igazolt. 2013-ig Magyarországon az összes, kukoricában alkalmazott herbicid segédanyag is kivonásra került, együtt azokkal a fő hatóanyagokkal, amelyekhez kapcsolódtak. A hatóanyag-kombinációkban a 1,3,5-triazinok utolsó képviselője, a

terbuthylazine maradt gyakran használt komponens. Emellett – bár ritkábban – szulfonil-urea-származékokat is gyakran alkalmaznak kombinációs partnerként, például *iodosulfuron-methyl*, *foramsulfuron*, *prosulfuron*, *thiencarbazone-methyl* hatóanyagokat.



20. ábra. A kukoricában alkalmazott főbb gyomirtószercsoportok Magyarországon 2000 és 2024 között.

Megjegyzés: 1 – tiokarbamátok; 2 – 1,3,5-triazinok; 3 – karbamidok; 4 – aromás ketonok; 5 – hidroxibenzonitrilek; 6 – fenilpiridazinok; 7 – oxiacetamildek; 8 – 2,6-dinitroanilinek; 9 – ariloxi-alkánsavak; 10 – benzotiazineketonok; 11 – klóracetamildek; 12 – szulfonilureák; 13 – triketonok; 14 – piridinkarbonsavak; 15 – ftálimidek; 16 – ciklohexándion-oximok (Agrinex Bt., Budapest, 2000–2024).



21. ábra. A kukoricában alkalmazott főbb gyomirtószercsoportok hatóanyag-kombinációi Magyarországon 2000 és 2024 között.

Megjegyzés: 17 – 1,2,4-triazinonok; 18 – klóroacetanilidek; 19 – 2,6-dinitroanilinek; 20 – *dahemid* (SA); 21 – imidazolinonok; 22 – *ethylan TT 15* (SA); 23 – *diklormid* (SA); 24 – acetamidok; 25 – 1,2-oxazolok; 26 – szulfonamidok; 27 – szulfonilureák; 28 – 1,3,5-triazinok; 29 – aromás ketonok; 30 – izoxazolinok; 31 – N-szulfonilkarboxamidok (Agrinex Bt., Budapest, 2000–2024).

5.1.4. A kukoricafajták pollenszórásának időzítése és intenzitása a Pannon biogeográfiai régióban

A címer- és pollen-tömeg alapján számított pollenprodukciónak a kukorica föld feletti biomasszájának 0,4–2,7%-át tette ki (IX. táblázat). A 2009 és 2020 között végzett vizsgálataink kimutatták, hogy a kukoricafajták virágzási (pollenszórás) időtartama jelentősen eltérhet egymástól, különösen a későn címert hánnyó, fehér szilázfajta KISKUN 4517 esetében (X. táblázat). A kukoricánövények egyedi virágzási időszaka általában 4–8 napig tart, míg az egész tábla pollenszórás időtartama 17–26 nap volt (XI. táblázat). Az egyedek virágzási intervallumaiban nagyfokú változékonyság mutatkozott, különösen az első 5 méteren, ami az ún. szegélyhatásnak tudható be. A kukoricahibridek pollenszórás időszaka rövidebb volt, mint a nyílt termékenyülésű, tájfajta „KÉK FŐZNIVALÓ” esetében (XI. táblázat), amelyet korábban nem nemesítettek intenzíven. Az országos szinten mért összesített virágzási időszak azonban ennél jóval hosszabb volt, mivel a termesztett kukoricafajták *FAO*-száma széles tartományban mozgott, beleértve a gyorsan érő csemegekukoricákat is.

A kukorica virágzási idejét egyértelműen befolyásolja a vetés időpontja (22. ábra), a talajhőmérséklet a kelés során (2009-ben és 2011-ben ez egy hét, 2010-ben viszont két hét volt), továbbá a talajminőség, a vízellátottság és az aktuális időjárási viszonyok.

IX. táblázat. A kukorica címertömegének alakulása Magyarországon. ^a A termesztés helyszíne: Zsámbék (Pest vármegye, Magyarország) 2007-ben; Budapest (Magyarország) 2020-ban; valamint Nagykovácsi (Pest vármegye, Magyarország) a többi vizsgálati évben.

^b Hanway (1966) alapján meghatározott fejlődési stádium.

Kukoricafajta	Év	Növény sűrűség (növény/ha) ^a	Fenológiai állapot betakarításakor ^b	Címer + pollen tömeg (t nedves tömeg/ha)	Teljes föld feletti biomassza (t nedves tömeg/ha)
DK-440 BTY	2001	120 000	VT	1,15	51,91
DK-440	2002	75 000	VT	0,60	33,50
DK-440 BTY		120 000		1,62	84,79
DK-440	2007	75 000	VT	0,90	33,60
DK-440 BTY		53 330		0,80	74,73
DK-440 BTY	2008	57 200	VT	0,86	34,26
YIELDGARD MSG	2011	53 700	R4	0,65	66,64
MSG közel izogenikus		53 700		0,61	61,37
HERCULEX RW		53 700		0,20	50,61
PR közel izogenikus		53 700		0,57	63,55
DK-440	2020	75 000	VT	0,30	20,40

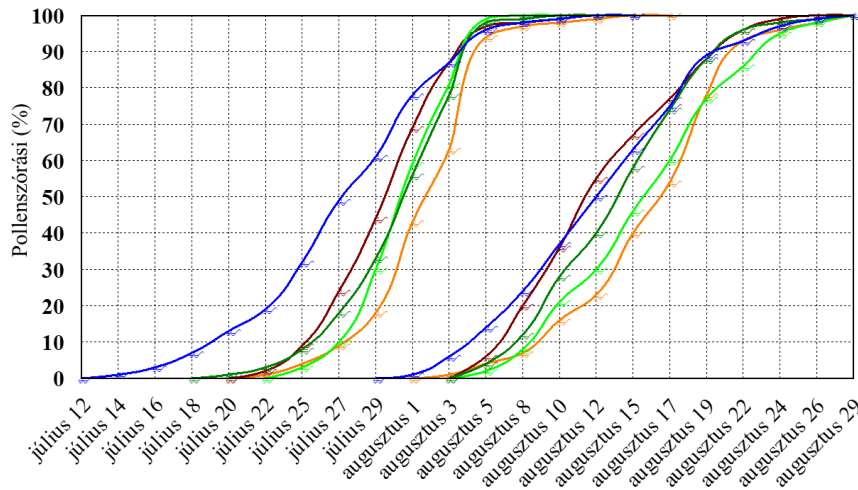
X. táblázat. Különböző kukoricafajták pollinációs felezési ideje (PT_{50}), a felmérés (probit-analízis) alapján számítva. Esz – a vizsgált kukoricánövény-egyedek száma; Pn – az összesített virágzási (pollenzórás) napok száma; LCL – *lower control limits* (alsó kontrollhatár); UCL – *upper control limits* (felső kontrollhatár); SH – standard hiba; $Beta$ – béta-együttható; PT_{50} – a pollenzórási idő felezőpontja; PT_{90} – a pollenzórási idő 90%-os pontja.

Kukoricafajta	Év	Esz	Pn	Esz/Pn	PT_{50}	LCL	UCL	SH	Beta (SH)	PT_{90}
DK-440 A	2009	72	203	2,82	78,98	78,31	79,66	0,34	0,21 (0,02)	85,20
DK-440 B	2009	75	165	2,20	76,32	75,32	77,31	0,50	0,20 (0,02)	82,78
DK-440 BTY	2009	67	183	2,73	79,63	78,88	80,39	0,38	0,21 (0,02)	85,66
YIELDGARD MSG A	2009	75	265	3,53	80,10	79,34	80,86	0,39	0,21 (0,02)	86,16
YIELDGARD MSG B	2010	200	608	3,04	84,87	84,27	85,48	0,31	0,21 (0,03)	91,11
YIELDGARD MSG C	2011	136	455	3,35	80,78	80,19	81,36	0,30	0,21 (0,02)	86,80
YIELDGARD MSG D	2011	50	188	3,76	78,94	78,38	79,50	0,29	0,20 (0,02)	85,29
PR IZOGÉN A	2009	64	184	2,88	79,30	78,63	79,97	0,34	0,21 (0,02)	85,46
MSG IZOGÉN A	2009	69	152	2,20	80,41	79,76	81,07	0,33	0,21 (0,02)	86,45
MSG IZOGÉN B	2010	243	649	2,67	86,46	85,70	87,15	0,37	0,19 (0,02)	93,12
MSG IZOGÉN C	2011	100	183	1,83	80,92	80,30	81,54	0,31	0,23 (0,02)	86,61
MSG IZOGÉN D	2011	102	359	3,52	80,35	79,80	80,89	0,28	0,19 (0,02)	87,01
PR IZOGÉN B	2010	206	647	3,14	86,11	85,39	86,82	0,37	0,19 (0,02)	92,71
PR IZOGÉN C	2011	80	150	1,88	82,29	81,61	82,98	0,35	0,20 (0,02)	88,62
PR IZOGÉN D	2011	65	145	2,23	80,53	79,98	81,07	0,28	0,19 (0,02)	87,13
HERCULEX RW B	2009	69	182	2,64	79,18	78,43	79,94	0,38	0,21 (0,02)	85,20
HERCULEX RW B	2010	198	618	3,12	84,77	84,17	85,37	0,31	0,21 (0,03)	90,97
HERCULEX RW C	2011	136	359	2,64	80,23	79,65	80,80	0,29	0,21 (0,02)	86,19
HERCULEX RW D	2011	70	154	2,20	78,01	77,45	78,58	0,29	0,20 (0,02)	84,42
SU ZAMORA	2009	75	199	2,65	76,29	75,57	77,01	0,37	0,19 (0,02)	82,92
KISKUN 4517	2009	81	288	3,56	85,87	85,17	86,57	0,36	0,18 (0,02)	93,12
MINDSZENTI FEHÉR	2009	79	266	3,37	74,12	73,42	74,81	0,35	0,15 (0,02)	82,58
KÉK FŐZNIVALÓ A	2009	67	237	3,54	75,51	74,85	76,18	0,34	0,17 (0,02)	83,02
KÉK FŐZNIVALÓ B	2010	229	1010	4,41	80,00	79,47	80,54	0,27	0,20 (0,02)	86,54
KÉK FŐZNIVALÓ C	2011	132	438	3,32	77,81	77,26	78,37	0,28	0,18 (0,02)	85,06
KÉK FŐZNIVALÓ D	2011	84	279	3,32	77,81	77,26	78,36	0,28	0,18 (0,02)	85,02
VÖRÖS LÓFOGÚ	2009	54	204	3,78	80,47	79,90	81,03	0,29	0,20 (0,02)	86,88

XI. táblázat. A kukoricafajták pollenzórásának időtartama (Julianna-major, 2009–2011). A különböző betűkkel (a–b) jelölt fajták között szignifikáns különbség mutatható ki ($p = 0,02$; ANOVA, Tukey-próba alapján).

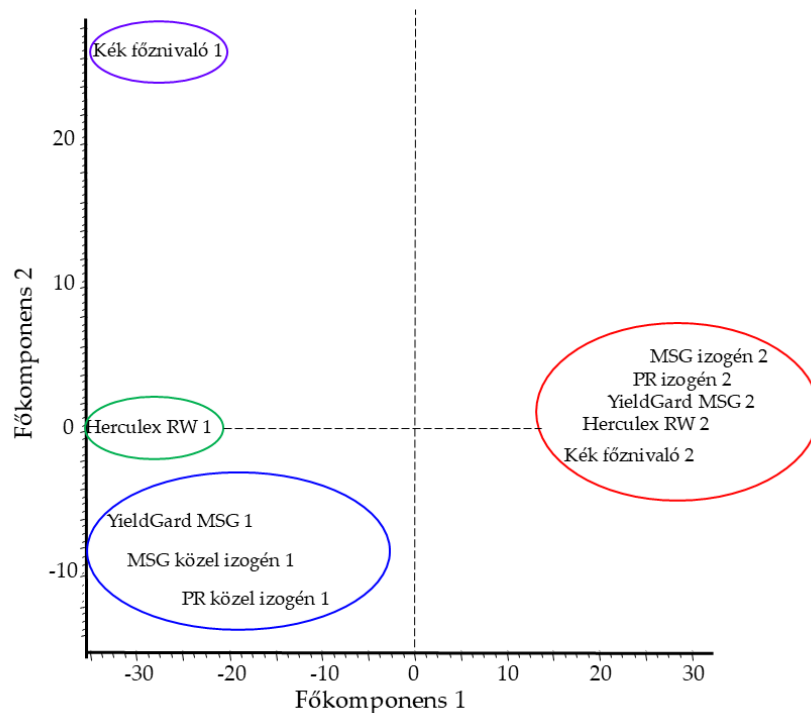
Kukoricafajta	Pollenzórás időtartama (nap)
KÉK FŐZNIVALÓ	25,50 ± 2,52 ^a
MSG IZOGÉN	16,50 ± 4,04 ^b
YIELDGARD MSG	17,50 ± 4,12 ^{ab}
PR IZOGÉN	20,00 ± 4,08 ^{ab}
HERCULEX PR	16,50 ± 4,12 ^b

2011-ben, amikor a kukoricafajtákat két eltérő időpontban vetették, a vetés kéthetes késése a fajták fejlődési mintázatában egészen a virágzásig kimutatható maradt (22–23. ábra).



22. ábra. Különböző vetési időpontokkal, ikertáblákban termesztett kukoricafajták pollenszórási ideje Magyarországon, 2011-ben. Az első és második vetés időpontja május 10. és május 24. volt.

Magyarázat: Kék – KÉK FŐZNI VALÓ; barna – HERCULEX RW; narancs – PR, a HERCULEX RW közel izogén; sötétzöld – YIELDGARD; világoszöld – MSG, a YIELDGARD közel izogén.



23. ábra. A különböző vetési időpontokkal, ikertáblákban termesztett kukoricafajták időbeli polleneloszlása alapján végzett főkoordináta-analízis (PCoA) Magyarországon, 2011-ben.

Megjegyzés: Az 1 és 2 jelölések az első (május 10.) és második (május 24.) vetési időpontot jelölik.

A második vetési időpont esetében az egyes fajták időbeli polleneloszlása összességében nagyfokú hasonlóságot mutatott.

5.1.5. A nappali pávaszem lárva előfordulása kukoricatáblák melletti csalánosokban

2003-ban augusztus 6-7 között országosan 12 hazai kukoricatáblát járt be Csóti Attila és Darvas Béla (DARVAS *et al.*, 2004). Hat esetben (minden esetben Fejér megyében) találtak csalánost a kukoricatábla szegélyén, amely a tábla szélső 1-3 sorába is áttért (LAUBER, 2011). A hat vizsgált terület közül egy esetben, Kocson, 1% körüli kártételi területen találtak *I. io* által hátrahagyott hernyófészkeket, ami nagyon alacsony érintettséget jelent. Összeségben elmondható, hogy 12 kukoricatábla közül hat mellett (a tábla belsejében nem) találtak csalánt (50%). A hat vizsgált kukorica – csalán élőhelykapcsolat közül egyben (17%) figyeltek meg *I. io* lárva által okozott foltos kártételt, amely a terület 1%-t érintette. Az érintettség mértéke ez alapján nagyon alacsonynak tekinthető. Más egyéb rovarkártételt 2003-ban a gyomokon nem találtak.

2024-ben június végén 8 táblát jártunk be Fejér megyében (Gyurcsó Gergő és Darvas Béla). Az eredmények alapján az arányok megegyeztek a korábbi megfigyelésekkel, ugyanakkor Mocsán észleltünk *I. io* lárva által előidézett kártételt.

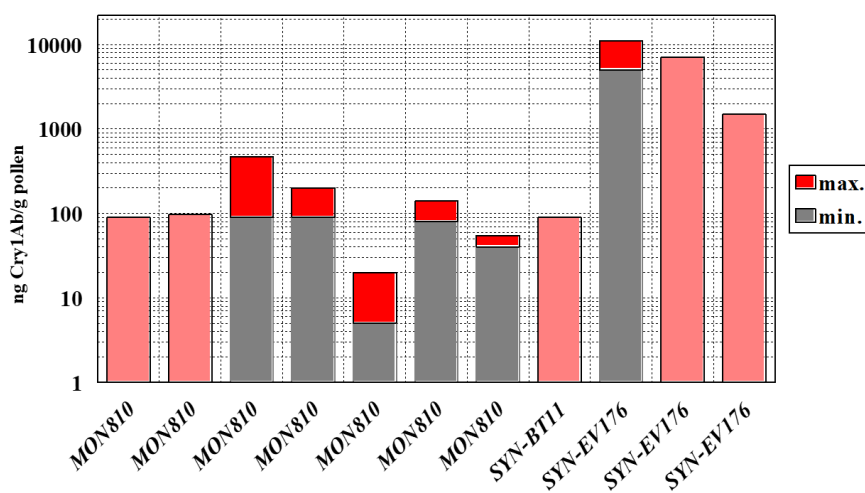
Felvételezésünk során a hazai kukoricatáblák kevesebb, mint 50%-ának szegélyében fordul elő csalánféle a tábla melletti nedves árkokban. Míg ezeknek a területeknek kevesebb, mint 20%-án figyelhető meg *I. io* lárva okozta kártétel, amely a terület kevesebb mint 1%-át érinti. A felmérések eredményei nagyon alacsony érintettséget jeleznek az *I. io* állománya szempontjából. Legkedvezőtlenebb esetben is <50% lárva pusztulás 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. Ugyanakkor a kukorica – csalán élőhelykapcsolat esetében egyetlen kukoricában engedélyezett rovarölő szer alkalmazása sem lenne elfogadható, hiszen ezek esetében az élőhelyre gyakorolt kockázat még magasabb. A hazai jogszabályok élőhelyre vonatkozó rendelkezéseinek megváltoztatása kétségtelenül az *EFSA* véleményét igazolná, amely szerint 'A *Bt*-növények által kibocsátott Cry-toxinfehérjék hatása nem jelent érdemi kockázatot a védett lepkefajokra, ha a GM-növényeket a javasolt mezőgazdasági feltételek mellett termesztik.' (ARPAIA *et al.*, 2015; DEVOS *et al.*, 2021).

5.1.6. A *MON810* GM-kukoricafajtacsoport pollenjének Cry1Ab-toxintartalma

A kukoricapollenben termelt Cry1Ab-toxin mennyiségének jelentős mértékű variabilitása több okra is visszavezethető, így többek között függ a konkrét fajtától. Ugyanis a beltenyésztett génmódosított vonalakat rendszerint egy, a tenyésztőterülethez környezeti feltételeinek megfelelően

nemesített, közel izogenikus vonallal keresztezik. Vizsgálataink során a Monsanto által kísérleti célra biztosított DK-440 BTY hibrid magjaiból nevelt kukoricák (DK-440 BTY/1 vs. DK-440 BTY/2) Cry1Ab-toxintartalma egy nagyságrenddel eltért egymástól (XII. táblázat), ami eltérő biológiai hatásokat eredményezett. A DK-440 BTY/2 pollen biológiai hatása az *I. io* lárvákon megegyezett a közel izogenikus anyavonal hatásaival. A *MON810* vonalon végzett méréseink szerint megállapítható, hogy a pollenben kifejeződő Cry1Ab-toxintartalom nagyon széles határok között ingadozik (24. ábra; XII. táblázat), ami felveti a kérdést, hogy ez a fajta tekinthető-e egyáltalán standard tulajdonságokkal rendelkező stabil fajtának?



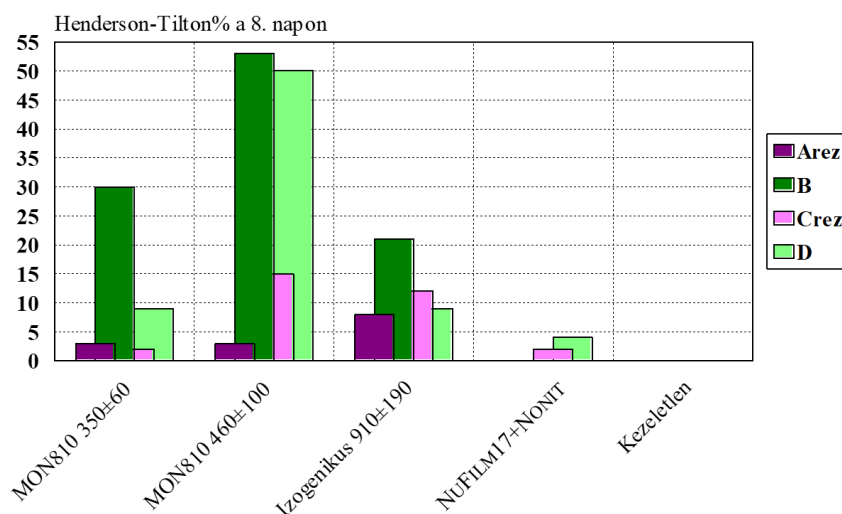
24. ábra: A Cry1Ab-toxint termelő kukorica-fajtacsoportok pollenjében mért toxintartalom alakulása.

XII. táblázat. A Cry1Ab-toxint termelő kukorica-fajtacsoportok pollenjében mért toxintartalom alakulása, zölddel kiemelve a Székács András által vezetett *ELISA* mérések.

Genetikai esemény	Fajta	min.	max.	Forrás
		ng Cry1Ab/g pollen		
<i>MON810</i>		90		SANDERS <i>et al.</i> , 1995
<i>MON810</i>	Novelis	1	97	NGUYEN és JEHLE, 2007
<i>MON810</i>	DK-440BTY/1	90	470	SZÉKÁCS <i>et al.</i> , 2010
<i>MON810</i>	DK-440BTY/1	90	200	nem közölt
<i>MON810</i>	DK-440BTY/2	5	20	nem közölt
<i>MON810</i>	DK-440BTY/3	80	140	LAUBER, 2011
<i>MON810</i>	DK-440BTY/4	40	55	LAUBER, 2011
<i>SYN-BT11</i>		90		STANLEY-HORN <i>et al.</i> , 2001/US EPA
<i>SYN-EV176</i>	beltenyésztett vonal	5000	11000	FEARING <i>et al.</i> , 1997
<i>SYN-EV176</i>		7100		STANLEY-HORN <i>et al.</i> , 2001
<i>SYN-EV176</i>	Compa CB	10300		LI <i>et al.</i> , 2008

5.1.7. A nappali pávaszem Cry1Ab-toxinrezisztenciája

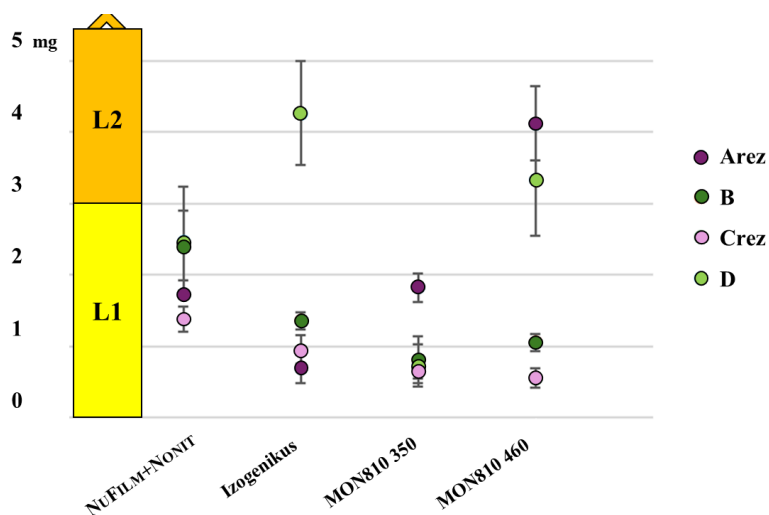
A kukoricatáblák szegélyében élő csalánleveleken előforduló pollenmennyiség az első nyolc nap során a Nagykovácsi völgyben élő négy *I. io* nőtény utódai közül kettőnél (köztük a 'D' jelű a saját tenyészetünk) jelentős pusztulást okozott, míg a másik kettőnél nem volt kimutatható hatás. A négy eltérő utódcsoportból kettő érzékenynek, míg kettő tűrőképesnek bizonyult (25. ábra), vagyis a szabadföldi *I. io* népségeiben is jelen vannak a Cry1Ab-toxinnal szemben tűrőképes népségcsoportok. A két tűrőképes törzs eltérő reakciója arra utal, hogy a tolerancia kialakulását különböző tényezők befolyásolhatják. A NUFILM 17 + NONIT kombináció nem okozott >5% pusztulást, míg a nagymennyiségű kukoricapollen önmagában is toxikus hatásúnak bizonyult. A 120 ng Cry1Ab/g *MON810* kukoricapollen esetében a 350 pollen/cm² (ami a táblaszegélyen átlagosnak tekinthető) csak mérsékelt pusztulást idézett elő, míg a 460 pollen/cm² (szélnyomásos oldalon) két törzsnél is ('B' és 'D') jelentős pusztulást okozott, amelyek a másik kettőhöz viszonyítva érzékenyebbnak 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. Az eddigi – egymásnak ellentmondó – modellezések (PERRY *et al.*, 2010; HOLST *et al.*, 2013) figyelmen kívül hagyták ezeket a biológiai eseményeket.



25. ábra: Négy eltérő genetikai háttérű *Inachis io* utódainak érzékenysége a Cry1Ab-toxintartalmú kukoricapollen hatásaival szemben (*MON810* – 120 ng Cry1Ab/g kukoricapollen).

A korábbi modellek figyelmen kívül hagyták azt is, hogy az *I. io* L1-L3 fejlődési stádiumú lárváinak pusztulási aránya megnő (LAUBER és DARVAS, 2009), ha a lárvák idő előtt szétszélednek (>1.500 pollen/cm² esetében aktív elkerülés következik be, mivel a lárvák felismerik

a tápnövény megváltozott állapotát). Tipikusan ez a helyzet a levelek érvölgyeiben összegyűlő kukoricapollen esetében is, amit a lárvák otthagynak és elkerülnek. Az eddigi modellek (PERRY *et al.*, 2011; HOLST *et al.*, 2013) tehát a valóság modellezését a kísérleti tapasztalatok hiányában nem tudták követni. Az *I. io* lárvákon szerzett ismeretek nem terjeszthetők ki még más csalánon élő lepkefajok [kis rókalepke (*Aglais urticae*), C-betűs lepke (*Polygonia c-album*), atalantalepke (*Vanessa atalanta*)] hernyóira sem, hiszen az életvitelük és Cry1Ab-toxinnal szemben mutatott érzékenységük eltér. Az L1 fejlődési stádiumra jellemző tűrőképességi sorrend a következő (DIPEL-lel végzett vizsgálatok alapján bizonyítva): *I. io* (1x) < *P. c-album* (~2x) < *V. atalanta* (~4x) (LAUBER, 2011). Az érzékenységbeli különbségek részben az L1-L3 stádiumok eltérő életmódjából következnek (pl. levélfonákon való táplálkozás, levélszivarban való tartózkodás stb.). Az eddig elkészült modellek különböző fajokra történő kiterjesztése biológiai szempontból megalapozatlan (PERRY *et al.*, 2011; HOLST *et al.*, 2013; LÖVEI *et al.*, 2020).



26. ábra: Az *Inachis io* lárvatömeg (mg) alakulása a 8. napon, négy eltérő genetikai hátterű nőstény testvérpárosodásból származó *unokáin*.

Az alkalmazott segédanyagokkal (NUFILM17 + NONIT) elvégzett kontrollkezelés esetében a két érzékeny törzs ('B' és 'D' jelű törzsek) lárvatömege szignifikánsan magasabb volt, mint a két tűrőképes törzs esetében ('A' és 'C' jelű törzsek) ($p < 0,001$). A közel izogenikus vonal esetében a nagymennyiségű kukoricapollenes kezelés során szignifikánsan magasabb lárvatömeget tapasztaltunk a 'D' jelű törzs esetében a többi törzshöz képest ($p < 0,001$). A két tűrőképes törzs esetében szignifikánsan alacsonyabb lárvatömegeket határoztunk meg a 'B' jelű érzékeny törzshöz képest is ($p < 0,001$). A *MON810 350* pollen/cm² kezelés esetében szignifikánsan magasabb lárvatömeget figyeltünk meg az 'A' jelű törzs esetében a többi törzs lárvatömegéhez képest ($p < 0,001$). A másik három törzs lárváinak tömege azonban nem különbözött egymástól szignifikáns mértékben ($p \geq 0,438$). A *MON810 460* pollen/cm² kezelés során a törzsek

lárvatömegei szignifikáns mértékben különböztek egymástól ($p \leq 0,008$). A legnagyobb lárvatömeget az 'A' jelű, míg a legkisebb lárvatömeget a 'C' jelű törzs esetében tapasztaltuk.

A tűrőképes 'A' törzs esetében a legkisebb lárvatömeget a nagymennyiségű kukoricapollent tartalmazó kezelést követően tapasztaltuk ($p < 0,001$), míg a legnagyobb lárvatömeg a *MON810* 460 pollen/cm² kezelés esetében volt megfigyelhető ($p < 0,001$). A tűrőképes 'A' törzs lárvatömege a kontrol és a *MON810* 350 pollen/cm² kezelést követően nem különbözött egymástól szignifikáns mértékben ($p = 0,812$). A szintén tűrőképest 'C' törzs esetében a legkisebb lárvatömeget a *MON810* 460 pollen/cm² kezelés esetében ($p \leq 0,048$), míg a legnagyobb lárvatömeg a kontrollkezelést követően volt megfigyelhető ($p < 0,001$). A kontrollkezeléshez képest a magas pollentartalmú kezelés szignifikánsan kisebb lárvatömeget idézett elő ($p < 0,001$). A *MON810* 460 pollen/cm² kezeléshez képest a kisebb Cry1Ab-toxintartalom (*MON810* 350 pollen/cm²) magasabb lárvatömeget eredményezett ($p < 0,001$). A 'B' jelű érzékeny törzs esetében a kontrollcsoporthoz képest szignifikánsan kisebb lárvatömeget határoztunk meg a pollent tartalmazó kezelések esetében ($p < 0,001$), azonban a legalacsonyabb lárvatömegeket a Cry1Ab-toxint tartalmazó kezelések esetében határoztuk meg ($p \leq 0,015$). A *MON810* 350 pollen/cm² és 460 pollen/cm² kezelések esetében meghatározott lárvatömegek között nem volt szignifikáns mértékű különbség ($p = 0,057$). A 'D' jelű érzékeny törzs esetében a legnagyobb lárvatömeget a magas pollentartalmú kezelés eredményezte ($p < 0,001$), míg a legkisebb lárvatömeget a *MON810* 350 pollen/cm² kezelést követően tapasztaltuk ($p < 0,001$). A kontrollkezeléshez és a *MON810* 350 pollen/cm² kezeléshez képest a magasabb Cry1Ab-toxint tartalmazó kezelés (*MON810* 460 pollen/cm²) szignifikánsan nagyobb lárvatömeget eredményezett ($p < 0,001$). A lárvatömegek helyenként ellentmondásos változása összefügg a Cry1Ab-toxin okozta megelőző jelentősebb pusztulással, ami a 8. napon a gyengébb fejlettségű lárvák halálát okozta, vagyis a lárvanépeség szelektált (még így is heterogén tulajdonságú), életképesebb egyedeinek tömegét mérhettük csak.

A Nagykovácsi völgyből befogott négy *I. io* nőtény utódain eltérő hatásokat tapasztaltunk, mivel kettő érzékenynek, míg kettő tűrőképesnek bizonyult a Cry1Ab-toxin hatásaival szemben. A túlélő lárvák tömege (esetenként fejlődési stádiuma is) szignifikánsan különbözött a törzsek között. A *MON810* kukoricapollen-fogyasztása általánosságban visszavetette a fejlődést, vagyis a 8. napon (normál esetben ez 5. nap lett volna) még L1 stádiumban maradtak a lárvák, kivéve a 'D' érzékeny törzset (26. ábra), amely normális ütemben fejlődött.

A 'D' érzékeny törzs az alkalmazott segédanyagokra nem reagált, viszont a nagymennyiségű kukoricapollenre érzékenynek bizonyult. A tűrőképes 'A' törzs a segédanyagokra nem reagált tömegváltozással és a nagymennyiségű kukoricapollent is jobban tolerálta, mint a többi vizsgált törzs. A *MON810* pollenre azonban visszafogott tömeggel és fejlődésbeli visszamaradással reagált (26. ábra). A szintén tűrőképes 'C' törzs minden kezelés

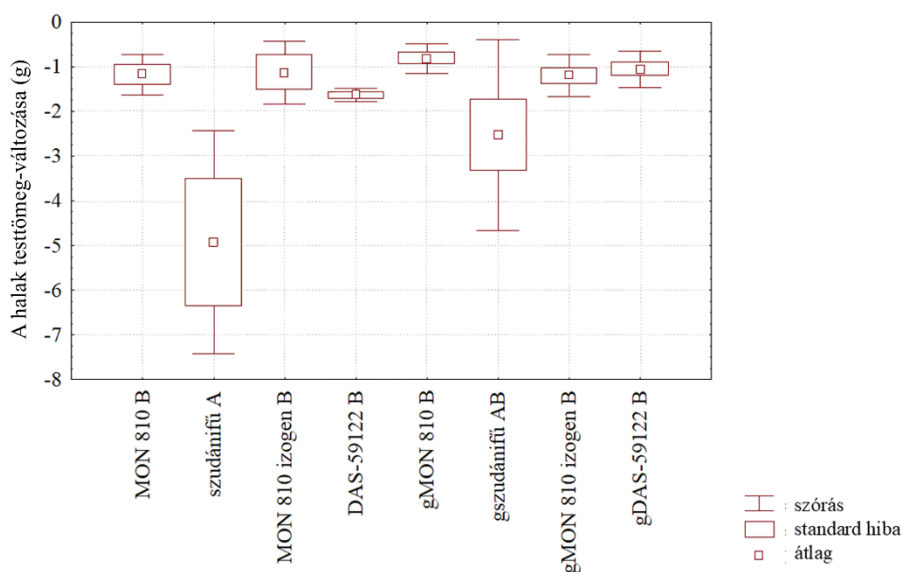
esetében az átlagosnál lassabb fejlődést mutatott, így időegység alatt kevesebb táplálékot vett magához, ami a tűrőképességének alapja is lehet. A Cry1Ab-toxinnal szembeni tűrőképesség és rezisztencia mintázata eltérő volt a vizsgált *I. io* lárvákon, ami arra utal, hogy a jelenség hátterében különböző biológiai okok állhatnak.

5.2. Az amur vizsgálatai

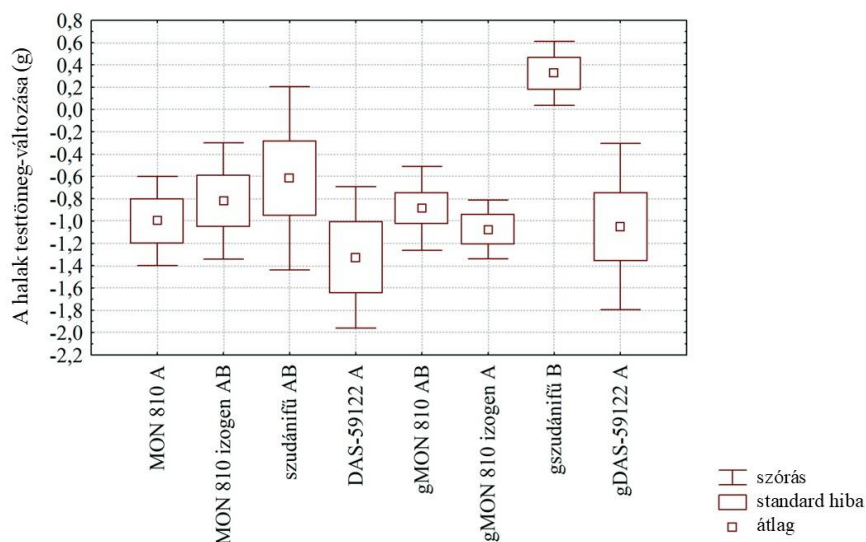
5.2.1. Tömegmérés

5.2.1.1. Testtömeg-növekedés

A kísérleti állatok testtömeg-gyarapodását folyamatosan nyomon követtük. Az egyedeket kis (A), közepes (K) és nagy (N) testtömegű csoportokba soroltuk (lásd a 4.2.2.3. fejezetet), és az eredményeket ennek megfelelően értékeltük. Egyhónapos etetés után csak a legkisebb testtömegű (A) csoport, amelyet szudánifüvel (*Sorghum sudanense*) etettünk, mutatott szignifikáns fejlődésbeli elmaradást ($-4,93 \pm 2,49$ g), ami mérsékeltebb volt a galandférgesekénél ($-2,53 \pm 2,14$ g). (27. ábra). A *Bothriocephalus acheilognathi* galandférgessel való fertőzöttség aránya a szudánifüvel etetett K csoportban is emelkedő volt. Az N csoportban a fertőzött egyedek átlagos testtömege magasabb volt a szudánifüvel etetett csoportban, mint az ugyanebbe a csoportba tartozó nem fertőzöttek, ami ödémás vízvisszatartási problémára (túlkompenzációra) utalhat (28. ábra). A *DAS-59122* vagy *MON810* génmódosított kukoricával történő etetés nem eredményezett statisztikailag kimutatható eltérést a nem génmódosított (közel izogén) kukoricával etetett csoportokhoz képest.



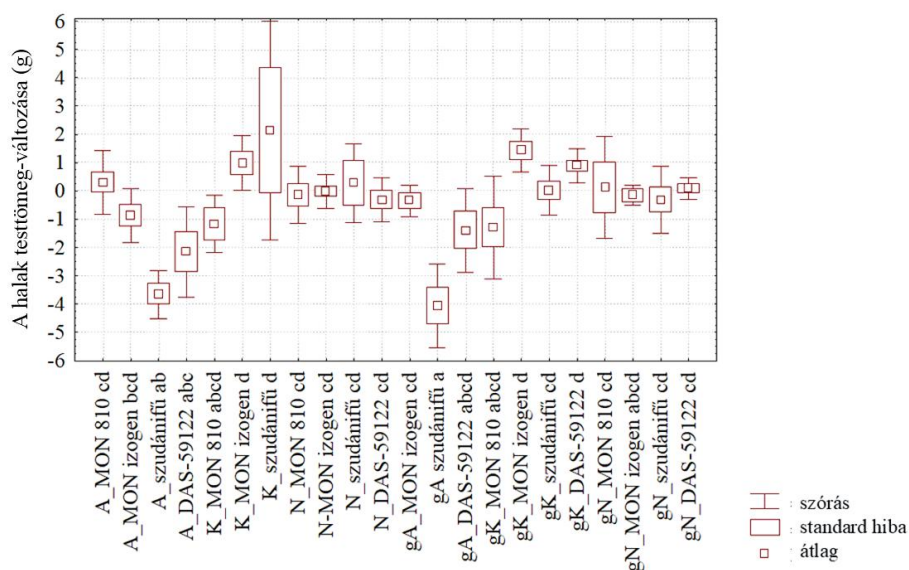
27. ábra. A különböző tápokkal etetett halak testtömeg elmaradása a legkisebb méretű (A) csoportban 1 hónap után (g – galandférgessel fertőzött).



28. ábra. A különböző tápokkal etetett halak testtömeg-változása a legnagyobb méretű (N) csoportban 1 hónap után (g – galandféreggel fertőzött).

Három- és hathónapos etetési periódus után sem volt kimutatható szignifikáns különbség a testtömegben a *DAS-59122*, *MON810* és a közel izogén kukoricával táplált halak között. A háromhónapos etetési periódus után a legkisebb tömegű (A) szudánifűvel etetett halaknál szignifikáns fejlődésbeli elmaradást mutatott (29. ábra), a galandféreggel nem fertőzöttek ($-3,66 \pm 0,85$ g) és a fertőzöttek ($-4,06 \pm 1,48$ g) is visszamaradtak. HEMRE *et al.* (2005) növendék (*smolt*, 104 ± 15 g) atlanti lazacon végzett kísérletében, három hónapon keresztül normál haltáppal, Roundup Ready-szójatáppal (RR, *glyphosate*-tűrő) és nem módosított szójatáppal etették a halakat. A különböző csoportok növekedésében nem mértek szignifikáns különbséget (HEMRE *et al.*, 2005). BAKKE-MCKELLEP *et al.* 2007 szintén nem mértek szignifikáns különbség a csoportok súlygyarapodása között növendék atlanti lazacon (BAKKE MCKELLEP *et al.*, 2007). SISSENER *et al.* (2009) krónikus vizsgálatot végeztek RR-szójával atlanti lazacon. A GM-szójával etetett csoport halai nagyobbak voltak, de a kísérlet végén már ez nem volt kimutatható (SISSENER *et al.*, 2009). HEMRE *et al.* 2007 *MON810* módosított kukoricát vizsgáltak 82-napos takarmányozási vizsgálatban növendék atlanti lazacon. A vizsgálatban a testtömeget szignifikánsan alacsonyabbnak találták a GM-kukoricával etetett csoportban, a normál kukoricához viszonyítva, de egyik csoport sem tért el szignifikánsan a normál haltápot kapott csoporttól. A táplálékfelvétel szignifikánsan eltért, alacsonyabb volt a GM-kukoricával etetett csoportban (HEMRE *et al.*, 2007). GU *et al.* (2013) 33 és 97 napos takarmányozási kísérletben *MON810* GM-kukorica hatását vizsgálták növendék atlanti lazacon. A GM-kukoricával etetett halak kevésbé értékesítették a takarmányt, alacsonyabb volt a fehérje- és ásványianyag felvétel hatékonysága, és alacsonyabb volt a lipid- és energiaretenció (GU *et al.*, 2013). SISSENER *et al.*

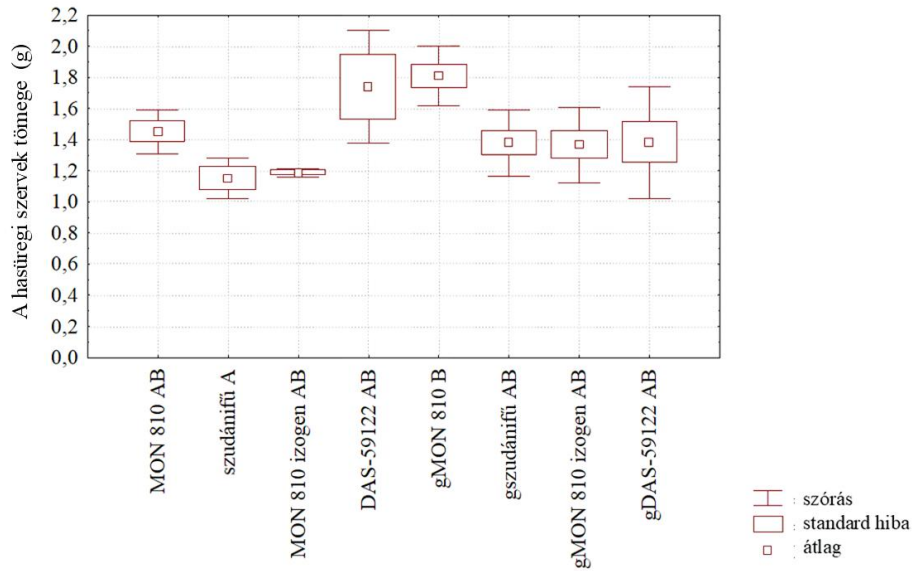
(2010) hatvannapos zebradánión végeztek húsznapos etetési vizsgálatot. A normál haltáppal etetett halak testtömege szignifikánsan magasabb volt, mint a módosított tápot fogyasztóké (SISSENER *et al.*, 2010). SANDEN *et al.* (2013) kétgenerációs vizsgálatban zebradániót etettek kazein/zselatin alapú takarmánnyal, amelybe 19% *Bt*-kukoricát (*MON810*) és annak nem *Bt* kontrollját keverték. A szülőkből (F0) nem találtak szignifikáns hatást. Az utódok (F1) nagyobb testtömeg-növekedést és jobb takarmányhasznosítást mutattak (SADEN *et al.*, 2013). Vizsgálataink hasonló képet mutattak.



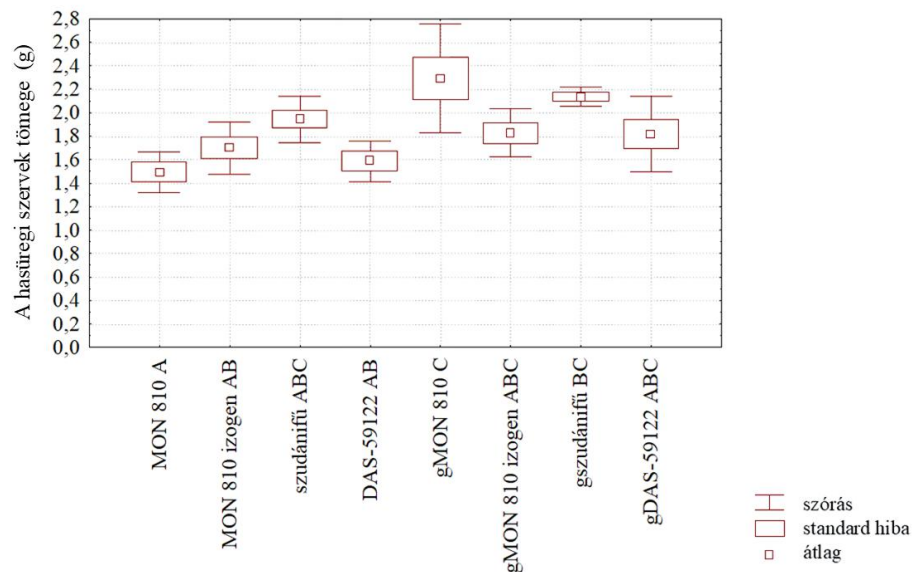
29. ábra. A különböző tápokkal etetett halak testtömeg-változása három hónap alatt (g – galandféreggel fertőzött).

5.2.1.2. Hasüregi szervek tömege

Egyhónapos etetést követően a szudánifűvel (*Sorghum sudanense*) táplált A csoport egyedei a hasi szervek (bélrendszer, máj, epehólyag) tömegének mérése alapján is fejletlenek maradtak (30. ábra). A nagy testtömegű (N) csoportban, a *Bothriocephalus acheilognathi* galandféreggel fertőzött egyedek esetében a *MON810* génmódosított kukoricával etetett halaknál szignifikánsan nagyobb hasi szervtömeget mértünk ($2,29 \pm 0,49$ g), mint a nem fertőzött halaknál ($1,49 \pm 0,17$ g), ami vízvisszatartási problémákra (ödémára) utal (31. ábra).



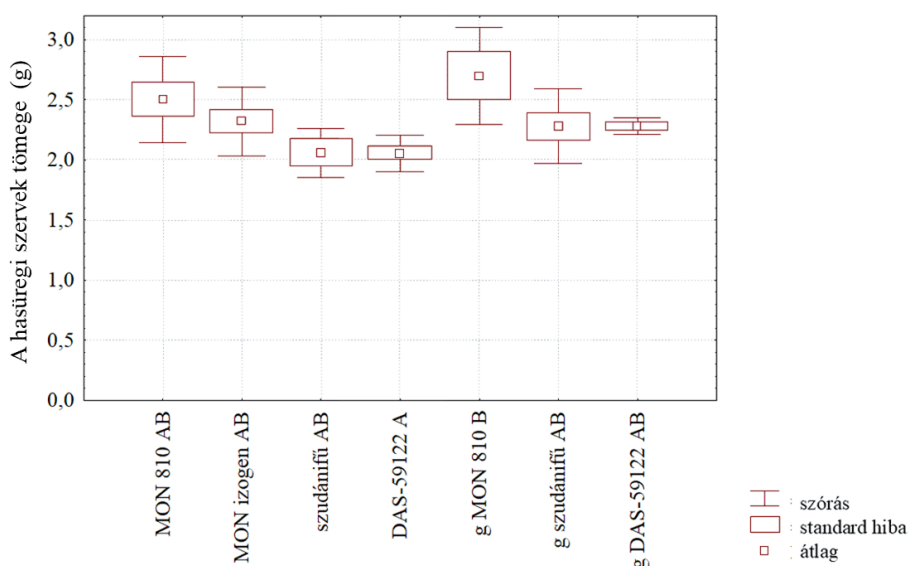
30. ábra. A különböző tápokkal etetett halak hasüregi szerveinek tömege a legkisebb méretű (A) csoportban egy hónap után (g – galandféreggel fertőzött).



31. ábra. A különböző tápokkal etetett halak hasüregi szerveinek tömege a legnagyobb méretű (N) csoportban egy hónap után (g – galandféreggel fertőzött).

Háromhónapos etetési időszak után sem volt szignifikáns különbség a *DAS-59122* vagy *MON810* génmódosított kukoricával, illetve a közel izogén vonalakkal etetett halak hasi szervtömegei között. A közepes testtömegű (K) csoportban, a *Bothriocephalus acheilognathi* galandféreggel fertőzött egyedek esetében a *MON810* génmódosított kukoricával etetett halaknál szignifikánsan nagyobb hasi szervtömeget mértünk, mint a nem fertőzött halaknál, ami vízvisszatartási problémákra (ödémára) utal (32. ábra). Különböző módosított tápokkal végeztek

etetéses vizsgálatokat atlanti lazacon, a szójával végzett kísérleteket nehezítette, hogy gyulladást okozhat a belekben. HEMRE *et al.* 2005 vizsgálatában a lép mérete szignifikánsan nagyobb volt a normál szójával etetett csoporttal összehasonlítva, de hasonló volt a normál táppal etetettével. A szójával etetett csoportokban szignifikánsan csökkent a csípőbél (*ileum*) tömege (HEMRE *et al.*, 2005). SAGSTAD *et al.* 2008 szintén szignifikánsan nagyobb tömeget mértek lép esetében (SAGSTAD *et al.*, 2008). SISSENER *et al.* 2009 szójával végzett krónikus vizsgálatban a szervek többségénél nem mértek szignifikáns eltérést, de a középbél szignifikánsan nagyobb volt a nem módosított szójával etetett csoportban (SISSENER *et al.*, 2009). MON810 GM-kukoricával végzett kísérletekben növendék atlanti lazacokban mért májtömeg a testtömeghez viszonyított indexszáma szignifikánsan magasabb volt a nagyobb arányban kukoricatáppal etetett csoportban. A középbéltömeg a testtömeghez viszonyított indexszáma szintén szignifikánsan nagyobb volt, de nem tért el a normál haltápot kapott csoporttól HEMRE *et al.* 2007). GU *et al.* 2013 nagyobb béltömeget mértek (GU *et al.*, 2013).



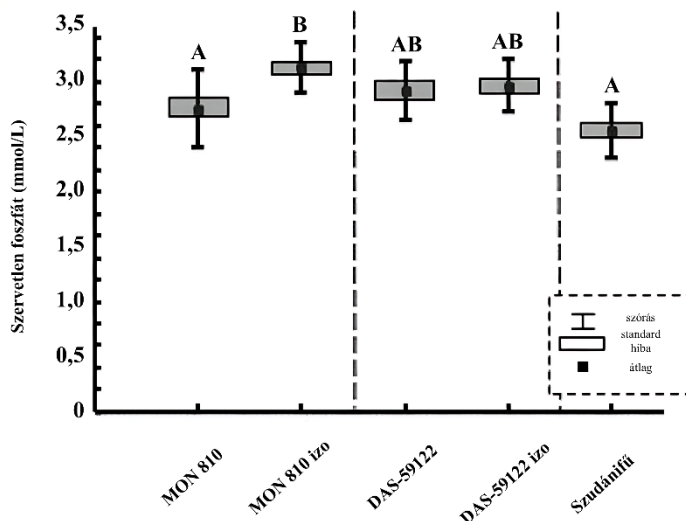
32. ábra. A különböző táppal etetett halak hasüregi szerveinek tömege a közepes méretű (K) csoportban három hónap után (g – galandféreggel fertőzött).

5.2.2. Vérvégzés

5.2.2.1. Szervetlen foszfát

A szervetlen foszfátszint a veseműködés állapotára utaló élettani paraméter. Egyhónapos etetést követően a A és N csoportban 2–5 mmol/l közötti értékeket mértünk. Az eredmények alapján nem mutatkozott különbség a DAS-59122, MON810 és a közel izogén vonalak között, bár a szudánifűvel etetett csoportokban a foszfátszint enyhén emelkedett volt a MON810-zel

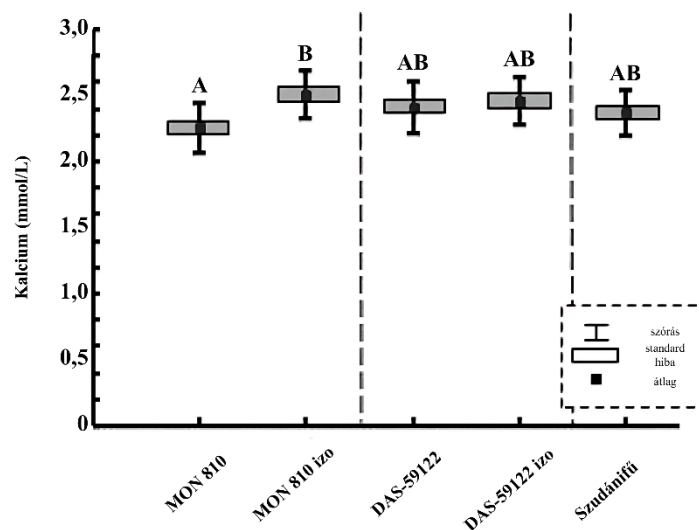
etettekhez képest. A változás oka mindkét esetben a *Bothriocephalus acheilognathi* fertőzés volt. Háromhónapos *DAS-59122* vagy *MON810* etetés nem befolyásolta az A csoport szervetlen foszfátszintjét. Az N csoportban a szudánifű és a *MON810* etetés statisztikailag kimutatható eltérést okozott a *MON810* közel izogén csoporthoz képest (33. ábra). Ugyanakkor ez a különbség eltűnt, ha a *B. acheilognathi*-val fertőzött egyedeket kizártuk az értékelésből. A *DAS-59122* etetés nem eredményezett eltérést. A 14-hónapos amur élettani foszfátszintje 2,5–3,5 mmol/l volt, amely enyhe csökkenést mutatott a két hónappal korábban mért értékekhez képest.



33. ábra. A különböző tápokkal etetett halak szervetlen foszfátszintje három hónap után a legnagyobb méretű (N) csoportban.

5.2.2.2. Kalcium

A vér kalciumszintje a kalcium-anyagcsere állapotát jellemzi. Háromhónapos *MON810* és *DAS-59122* etetést követően az A csoportban a kalciumszint nem változott. Az N csoportban a *MON810*-zel etetett egyedek esetében a kalciumszint szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a közel izogén kontrollcsoportban (34. ábra). Ugyanakkor ez a különbség eltűnt, ha a *Bothriocephalus acheilognathi*-val fertőzött egyedeket kizártuk az értékelésből. A *DAS-59122* etetés nem okozott változást. A 14-hónapos amur élettani kalciumszintje 2,0–2,7 mmol/l tartományba esett.



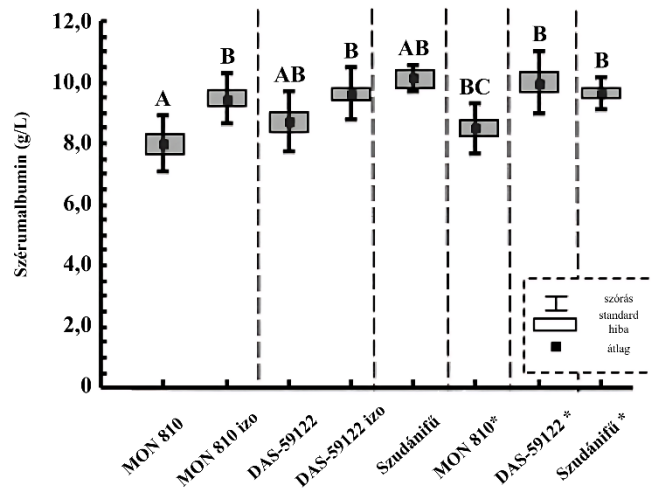
34. ábra. A különböző tápokkal etetett halak kalciumszintje három hónap után a legnagyobb méretű (N) csoportban.

5.2.2.3. Fruktózamin

A megemelkedett fruktózamin-szint a stresszállapot indikátora. Egyhónapos etetést követően a szérumban fruktózamin-szintje az A és N csoportokban 150–350 $\mu\text{mol/l}$ tartományban mozgott. Szignifikáns különbséget a csoportok között nem tapasztaltunk.

5.2.2.4. Szérumalbumin

A szérumalbumin-szint mérése a máj- és veseműködés állapotának felmérésére szolgál. Háromhónapos etetést követően a szérumalbumin-koncentráció 7–11 g/l tartományban volt mérhető. Az A csoportban nem mutatkozott szignifikáns különbség, ugyanakkor az N csoportban a *MON810*-zel etetett egyedekben a szérumalbumin-szint szignifikánsan csökkent a *MON810* közel izogén csoporthoz képest (35. ábra). A *DAS-59122* etetés nem okozott változást. A *MON810* esetében tapasztalt eltérés nem a *Bothriocephalus acheilognathi* fertőzés következménye volt, hanem a testtömeggel mutatott összefüggésben jelentkezett.



35. ábra. A különböző tápokkal etetett halak szérumalbumin-szintje három hónap után a legnagyobb méretű (N) csoportban.

5.2.2.5. Epesavak

Az epesavszint a máj állapotáról ad információt. Egyhónapos etetést követően az A csoportban a vér epesav-koncentrációja 6–25 $\mu\text{mol/l}$ tartományban mozgott. Az adatok nagy szórása miatt nem volt kimutatható különbség a génmódosított és a nem génmódosított kukoricával etetett csoportok között. Ugyanakkor a *Bothriocephalus acheilognathi* galandféreggel fertőzött halak esetében a *MON810* közel izogén vonalával etetett csoportban az epesavszint jelentősen megemelkedett ($\geq 30 \mu\text{mol/l}$ az átlagosan $10,10 \mu\text{mol/l}$ értékhez képest). Az N csoportban nem mutatkozott szignifikáns különbség.

5.2.2.6. Trigliceridek

Ez a paraméter a lipid-anyagcserét érintő érrendszeri elváltozások jellemzésére szolgál. Háromhónapos *MON810* és *DAS-59122* etetést követően a trigliceridszint az A és N csoportokban nem változott. A 14-hónapos amur élettani trigliceridszintje $1,5\text{--}3,5 \text{ mmol/l}$ tartományba esett. Szójával etetett atlanti lazacoknál ellentmondásos eredményeket mértek fiatalabb (*parr-smolt*) halakon szignifikánsan magasabb (SISSENER *et al.*, 2009), míg növendék (*smolt*) halakon szignifikánsan alacsonyabb szintet mértek (SAGSTAD *et al.*, 2008).

5.2.2.7. Koleszterin

A koleszterinszint a szív- és érrendszer állapotának fontos indikátora. Háromhónapos *MON810* és *DAS-59122* etetést követően az A és N csoportokban a koleszterinszint nem változott. A 14-hónapos amur élettani koleszterinszintje $3,5\text{--}5,5 \text{ mmol/l}$ tartományban volt mérhető.

5.2.2.8. Alanin-aminotranszferáz

Az alanin-aminotranszferáz (*ALT*) szintjének változása a májfunkció zavaraira utalhat. Egyhónapos etetést követően az *ALT*-aktivitás mind az A, mind az N csoportban nagyon alacsony volt, 1–5 U/l tartományban. Szignifikáns különbséget a csoportok között nem mutattunk ki.

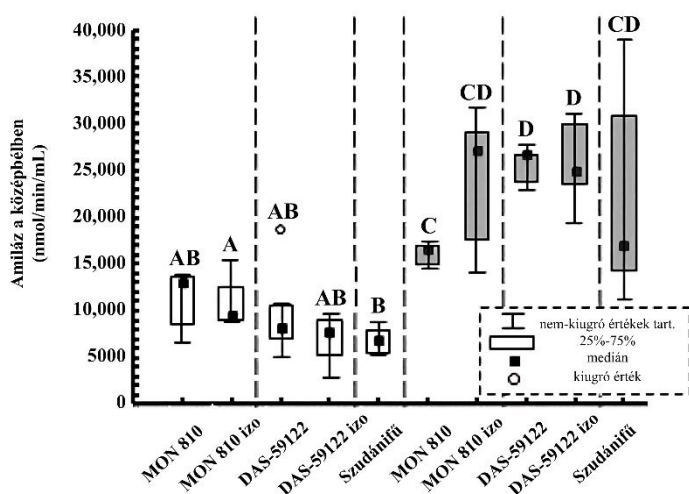
5.2.2.9. Aszpartát-aminotranszferáz

A megemelkedett aszpartát-aminotranszferáz (*AST*) szint szövetkárosodásra utal, leggyakrabban a máj, a vese vagy a szív érintettsége esetén. Egyhónapos etetést követően az *AST*-aktivitás az A és N csoportban 40–150 U/l tartományban mozgott. Szignifikáns különbséget a csoportok között nem észleltünk.

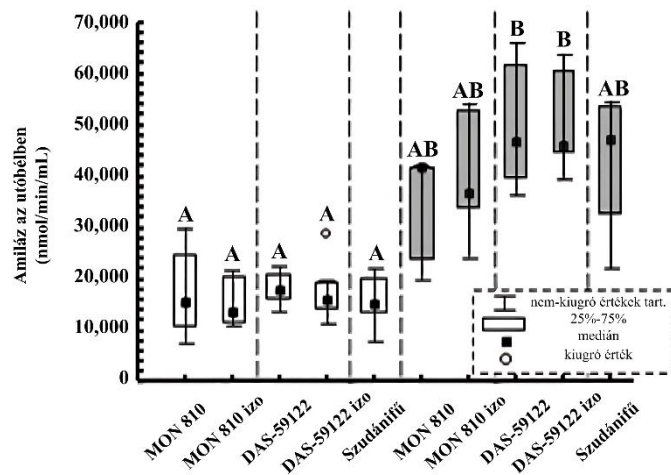
5.2.3. Enzimológia

5.2.3.1. α -amiláz aktivitása a közép- és utóbélben

Az α -amiláz a komplex szénhidrátok (poliszacharidok) lebontásában kulcsszerepet játszó emésztőenzim. A vizsgálatok szerint a *DAS-59122* és a *MON810* takarmányok nem befolyásolták jelentősen az amilázaktivitás alakulását, ugyanakkor a testtömegcsoportok között eltérések mutatkoztak (közép-és utóbél 36. és 37. ábra). A közép bélben mért enzimaktivitás a K csoporthoz képest az N csoportban szignifikánsan magasabb volt – 6000–10000 nmol/min/ml -ről 15000–25000 nmol/min/ml-re emelkedett (36. ábra). Ez az eltérés valószínűleg az eltérő növekedési ütemmel és a növényevő életmódhoz való gyorsabb fiziológiai alkalmazkodással magyarázható.



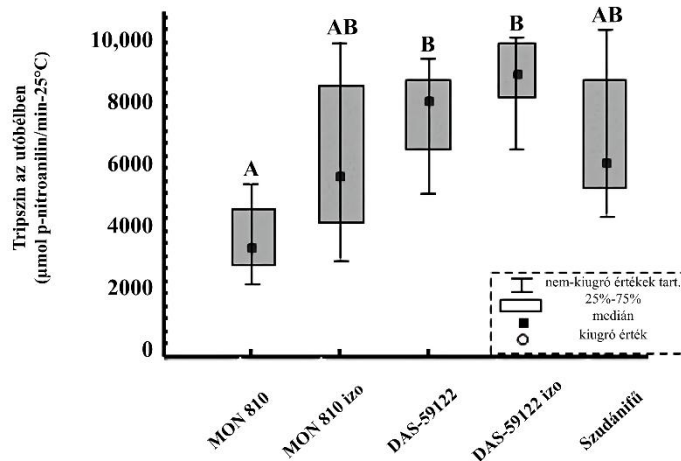
36. ábra. A közép bél amiláz-aktivitása háromhónapos etetés után (K – fehér, N – szürke).



37. ábra. Az utóbél amiláz-aktivitása háromhónapos etetés után (K – fehér, N – szürke).

5.2.3.2. Tripszinaktivitás az utóbélben

A tripszin egy proteolitikus hidroláz enzim, amely a fehérjék emésztésében játszik kulcsszerepet. A vizsgálatok alapján a *DAS-59122* és *MON810* takarmányok nem befolyásolták a tripszinaktivitás szintjét (38. ábra).



38. ábra. Az utóbél tripszin-aktivitása háromhónapos etetés után.

5.2.3.3. Leucin-aminopeptidáz aktivitása a középbélben

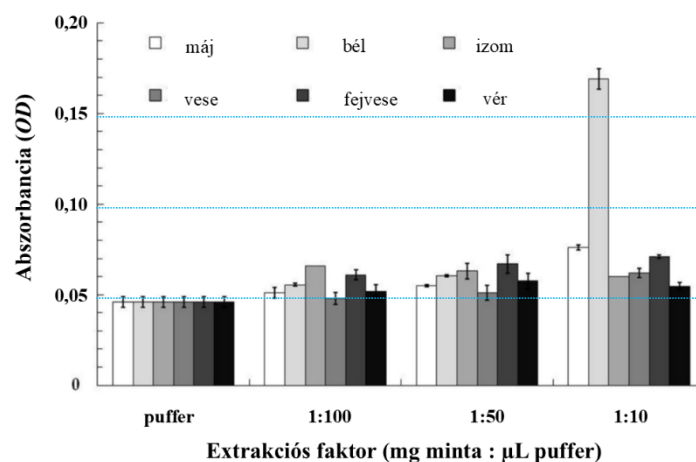
A leucin-aminopeptidáz (LAP) egy olyan enzim, amely a fehérjék peptidkötéseinek hasítását végzi, és főként a májban található meg. A vizsgálatok szerint a *DAS-59122* és a *MON810* takarmányok nem befolyásolták a LAP-aktivitás szintjét. Lazacoknál a RR-szója csökkentette a

LAP-és a maltázaktivitását csipőbélben (BAKKE MCKELLEP *et al.*, 2007) MON810 GM-kukorica szignifikánsan csökkentette a LAP- és maltázaktivitását és növelte az amilázaktivitását a belekben (GU *et al.*, 2014).

5.3. Cry-toxinok mennyisége az amur szöveteiben

5.3.1. Az amur szöveteinek mátrixhatásának meghatározása Cry1Ab- és Cry34Ab1-toxinmérés során

A különböző szövetekben előforduló lehetséges mátrixhatásokat a titrálási jelek (optikai denzitás, OD) alapján határoztuk meg, összehasonlítva a szövethomogenizátumokban és a standard pufferben mért értékeket. A kontrollmintákat 1:10, 1:50 és 1:100 arányú hígításban (mg minta/ μ l extrakciós puffer) vizsgáltuk (39. ábra). A legnagyobb mátrixhatás az 1:10 mintapuffer-arány mellett az emésztőtraktusból származó mintákban volt kimutatható. A 1:50 hígítási aránynál a mátrixhatás jelentősen csökkent, bár enyhe háttérjel továbbra is megfigyelhető volt minden vizsgált szövetben. Ennek alapján a végleges mintaelőkészítési eljárás során 100 mg szövetet homogenizáltunk 1 ml extrakciós pufferben, majd a kapott kivonatokat három párhuzamos ismétlésben mértük az ELISA-rendszerben, további hígítás nélkül.



39. ábra. Az amur szöveteiben kimutatott mátrixhatások különböző hígítási arányok mellett (m/V arány: mg minta/ μ l puffer) a mintaelőkészítés során. A mérési eredményeket optikai denzitás (OD) formájában, azaz abszorbanciaként tüntettük fel.

A visszanyerési vizsgálatok során a kontroll szövetmintákat 1:10, 1:50 és 1:100 arányú mintapuffer-hígítás mellett (mg minta/ μ L extrakciós puffer) dolgoztuk fel, és mindegyiket két szinten dúsítottuk *Cry34Ab1* vagy *Cry1Ab* toxinokkal. Ehhez 40 mg kukoricelevél/mL extrakciós puffer arányú *DAS-59122* és *MON810* kivonatokat készítettünk, majd ezekkel dúsítottuk a hígított halszövetek kivonatait. A dúsítási szintek a következők voltak *Cry34Ab1* esetében: $1,463 \pm 0,210$

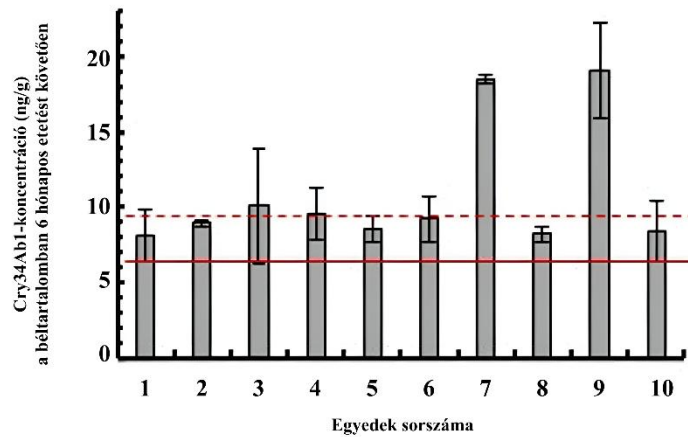
ng/mL és $0,731 \pm 0,105$ ng/mL, *Cry1Ab* esetében: $1,030 \pm 0,085$ ng/mL és $0,206 \pm 0,017$ ng/mL. A dúsított minták optikai denzitás (OD) értékeit összehasonlítottuk a pufferben mért kontrollértékekkel: *Cry34Ab1*: $0,287 \pm 0,006$ (1. szint) és $0,159 \pm 0,009$ (2. szint), *Cry1Ab*: $0,265 \pm 0,006$ (1. szint) és $0,061 \pm 0,002$ (2. szint). A dúsítási kísérletek alapján megállapítottuk, hogy a 1:50 mintapuffer-arány minden halszövet esetében megfelelő volt a toxinmeghatározáshoz mindkét dúsítási szinten a *Cry34Ab1* esetében, valamint az első dúsítási szinten a *Cry1Ab* esetében. A második dúsítási szinten a minták túlzott hígítása miatt a toxin mennyiségi meghatározása nem volt pontosan kivitelezhető.

5.3.2. *Cry34Ab1*- és *Cry1Ab*-toxinok mennyisége az amur szöveteiben

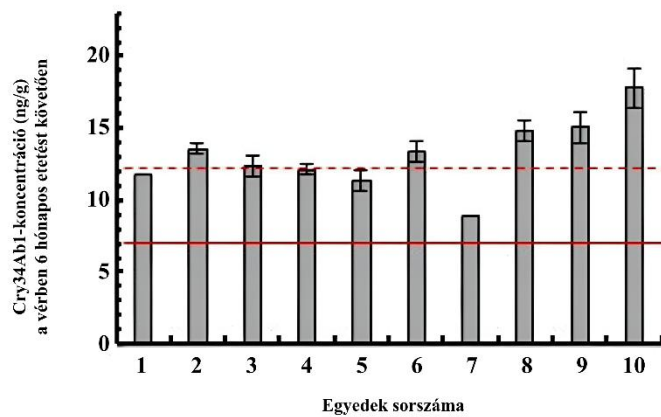
Az amurtáp (lásd a 4.2.2.4. fejezetet) előállításához felhasznált, őrölt és szárított kukoricalevelek *Cry34Ab1*- és *Cry1Ab*-toxintartalma a *DAS-59122* és a *MON810* esetében rendre $182,9 \pm 26,3$ és $25,7 \pm 2,1$ µg/g volt. A toxinmennyiség meghatározásakor nem jelentkeztek mátrixhatások sem az őrölt kukoricalevelekben, sem az amurtápban, az alkalmazott extrakciós körülmények között (40 mg kukoricalevél/ml extrakciós puffer), az ELISA-mérések során. Az amurtápban a száraz, őrölt kukoricalevél tömegaránya 4,2% (m/m) volt, a receptúra szerint. Az ELISA-módszerrel meghatározott toxintartalom alapján az amurtáp kukoricabiomassza-arányát $4,6 \pm 0,7\%$ és $4,3 \pm 0,4\%$ (m/m) értéknek találtuk a *DAS-59122* és a *MON810* esetében. Ez igazolta, hogy az amurtáp-előkészítés különböző lépései nem befolyásolták jelentősen a toxintartalmat.

A háromhónapos etetési periódus után nem volt kimutatható különbség a K vagy N testtömegcsoportba tartozó egyedek között a vizsgált szövetek toxinmennyisége tekintetében, sem a *Cry34Ab1*, sem a *Cry1Ab* esetében. A mintavételt megelőző egy napos koplaltatás következtében a *DAS-59122* esetében a béltartalom (részben megemésztett amurtáp) *Cry34Ab1*-szintje a kimutatási határ ($LOD = 6,03$ ng/g) fölött csak négy mintában volt mérhető (átlag: $8,65 \pm 0,62$ ng/g). A *MON810* esetében a megemésztett amurtáp *Cry1Ab*-szintje az ELISA kimutatási határa alatt volt. Néhány mintában a *Cry1Ab*-koncentráció kissé meghaladta a kimutatási határt (LOD), azonban ezek az eredmények statisztikailag nem tekinthetők relevánsnak.

A 6-hónapos etetési periódust követően, amikor nem alkalmaztunk koplaltatást, a béltartalom *Cry34Ab1*-koncentrációja $10,86 \pm 4,21$ ng/g volt, az összes halmintában az érték a kimutatási határ fölött volt, és két minta meghaladta a mennyiségi meghatározási határt ($LOQ = 9,50$ ng/g) (40. ábra). Noha az amurtáp *Cry34Ab1*-tartalma a bélrendszerben gyorsan 0,1–0,2%-ra csökken, a toxin kimutatható volt a vérben is (41. ábra).



40. ábra. A *Cry34Ab1*-toxin koncentrációja a béltartalomban 6-hónapos etetés után (piros vonal – kimutatási határérték, piros szaggatott vonal – mennyiségi meghatározási határérték).

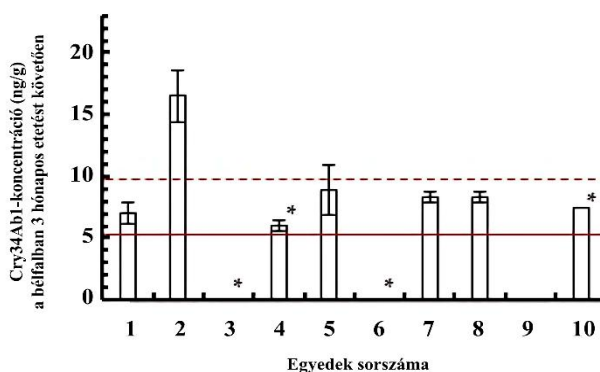


41. ábra. A *Cry34Ab1*-toxintartalom a vérben 6-hónapos etetés után (piros vonal – kimutatási határérték, piros szaggatott vonal – mennyiségi meghatározási határérték).

A vérminták *Cry34Ab1*-koncentrációja minden vizsgált állat esetében a kimutatási határ (7,0 ng/ml) fölött volt, átlagosan $12,59 \pm 1,89$ ng/g koncentrációval. A 6-hónapos etetési kísérletben vizsgált amurok között egy példány galandféreg-fertőzött (*B. acheilognathi*) volt, és a hal vérében a *Cry34Ab1*-koncentráció $17,77 \pm 1,40$ ng/g volt, ami a bélfal galandféreg okozta atrófiája miatti fokozott toxin-penetrációra utalhat.

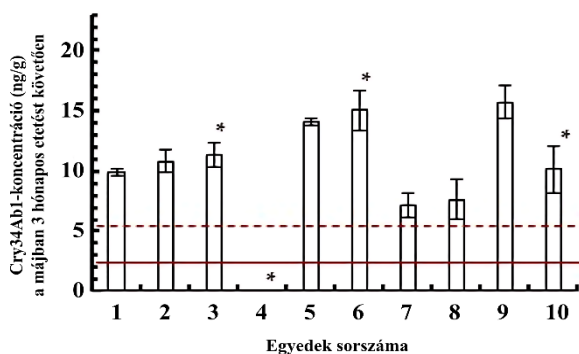
A bélrendszeri szövet rendkívül összetett mátrixnak bizonyult a *Cry34Ab1*-meghatározásban, és az ELISA-val meghatározott toxin-koncentrációk nyolc mintában a kimutatási határ (5,26 ng/g) alatt maradtak; továbbá a vizsgált szövetek közül a bél esetében

mutatkozott a legnagyobb szórás az egyedek között. A *Cry34Ab1*-tartalom $8,90 \pm 3,50$ ng/g és $7,32 \pm 2,24$ ng/g volt a három- és hathónapos etetést követően (42. ábra).



42. ábra 3-hónapos etetés után a *Cry34Ab1*-toxintartalom a bélrendszeri szövetben (piros vonal – kimutatási határérték, piros szaggatott vonal – mennyiségi meghatározási határérték).

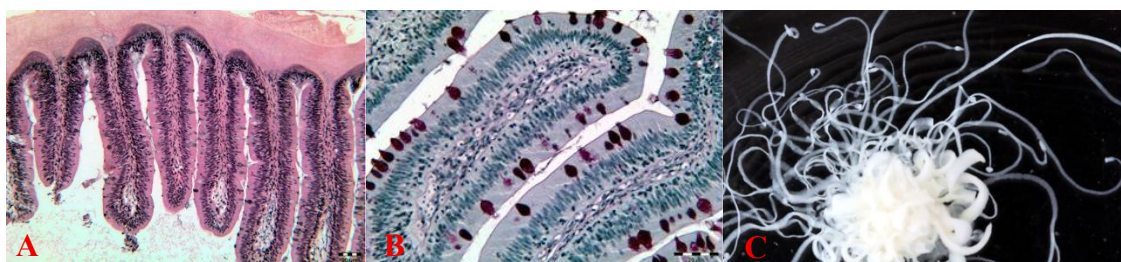
A májban egy minta toxintartalma a kimutatási határ (2,39 ng/g) alatt maradt, az átlagos *Cry34Ab1*-koncentráció $11,31 \pm 3,07$ ng/g volt (43. ábra). Az izom, vese és fejevese (*pronephros*) mintákban rendre $4,97 \pm 1,56$ ng/g (*LOD*: 3,25 ng/g), $9,76 \pm 2,26$ ng/g (*LOD*: 4,96 ng/g) és $5,52 \pm 1,43$ ng/g (*LOD*: 2,39 ng/g) *Cry34Ab1*-toxinkoncentrációt határoztunk meg. A *DAS-59122*-vel etetett csoportban a *B. acheilognathi*-fertőzöttség $46,7 \pm 5,8\%$ volt a háromhónapos etetési vizsgálatban, és nem volt különbség a különböző testtömegű amurok között. Bár a *B. acheilognathi*-fertőzés valószínűleg elősegíti a *Cry34Ab1* magasabb vérszintjének kialakulását (lásd fent), ilyen összefüggést más vizsgált szövetekben nem tapasztaltunk. A galandfereg minták *Cry34Ab1*-toxintartalma $7,13 \pm 0,40$ ng/g volt, és nem mutatkozott negatív korreláció a fereg és a hal bélrendszerének toxinkoncentrációja között.



43. ábra. 3-hónapos etetés után a *Cry34Ab1*-tartalom a májban (piros vonal – kimutatási határérték, piros szaggatott vonal – mennyiségi meghatározási határérték).

5.3.3. Szövettan

A *C. idella* egyedekből származó szövetmintákon végzett szövettani vizsgálatok eredményeit a 44. ábra szemlélteti. A vizsgálatok nem mutattak rendellenességet a májban. Hasonlóképpen, a bélrendszerben sem volt kimutatható szignifikáns különbség a hátsó és a legvégső bélszakasz mirigyödröcskéinek mélységében (kriptamélység) – ezek átlagos mélysége 180–200 μm , míg a hengerhámsejtek magassága átlagosan 16,16 μm volt. A kehelysejtek száma ugyanazon látómezőben 3-hónapos etetés után 80–90, míg 6 hónap után 50–60 között változott. Egyik GM-kukoricaváltozat (*DAS-59122*, *MON810*) sem idézett elő további változásokat a bélben a két domináns sejttípusban (44. ábra A, B), a fejlődési eltérésektől eltekintve. A *Bothriocephalus acheilognathi* fertőzés hatása (44. ábra C) jól megfigyelhető volt a bélrendszerben: a bél nyálkahártyája elvékonyodott, a fiziológias 380–460 μm helyett csak 35–60 μm vastagságot mutatott. A fertőzött egyedekben a kehelysejtek száma megnövekedett, míg a *hepatopancreas* kóros elváltozásokat mutatott, úgymint zsírfelhalmozódást (lipid infiltrációt) és fibrózist (BASKA *et al.*, 2017).

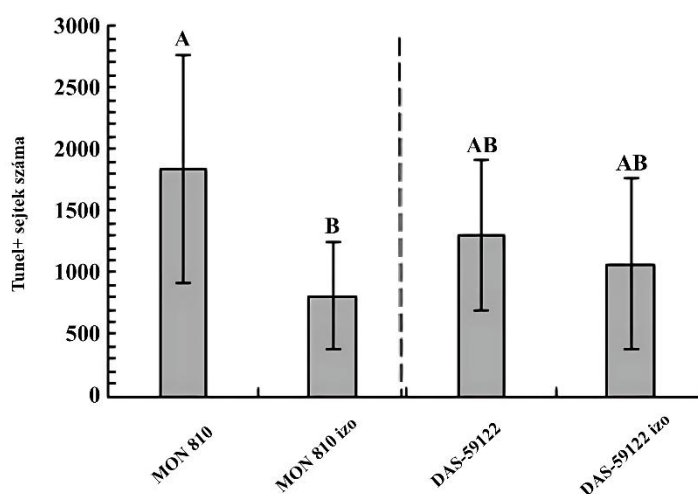


44. ábra. (A) hátsó bélszakasz, (B) kehelysejtek, (C) galandférek (*Bothriocephalus acheilognathi*). Fotó: (A, B) – Baska Ferenc, (C) – Darvas Béla.

5.3.4. Az apoptotikus sejtek kimutatása (*TUNEL*-próba)

A DNS-lánc-törések gyakran a programozott sejthalállal (apoptózissal) hozhatók összefüggésbe: apoptózis során az apoptotikus sejtekben jellegzetes DNS-fragmentáció (lánc-törések) figyelhető meg, ugyanakkor DNS-károsodás is kiválthat apoptózist. Az apoptózis során bekövetkező DNS-törések kialakulhatnak az immunrendszer közvetítésével is, amikor bizonyos sejtek felismerése után olyan jel érkezik, amely a sejt örökítőanyagának feldarabolását váltja ki. Kísérleteinkben a *DAS-59122* kukoricát tartalmazó takarmánnyal történő 6-hónapos etetés nem okozott a *TUNEL*-próbával kimutatható DNS-károsodást (az apoptotikus sejtek száma az N testtömegcsoportban 1310 ± 607 volt, míg a közeli izogén kontrollvonalban 1081 ± 684).

Ezzel szemben a *MON810* kukoricát tartalmazó takarmánnyal történő etetés a vérben az apoptotikus sejtek számának szignifikáns növekedését eredményezte (1849 ± 924), a hozzá tartozó izogén kontrollvonalhoz (813 ± 427) képest (45. ábra).

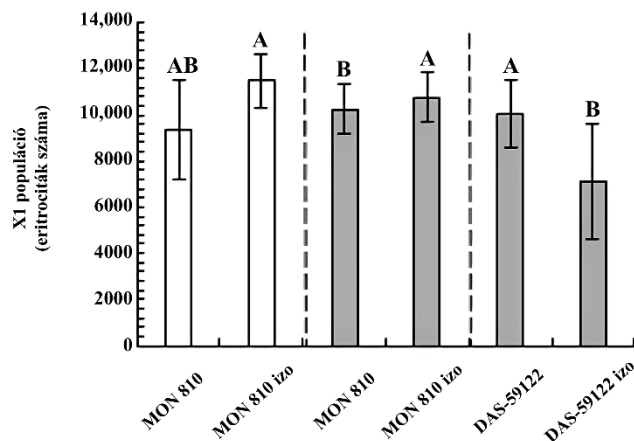


45. ábra. Az apoptotikus sejtek száma 6-hónapos etetést követően a módosított kukoricát tartalmazó takarmánnyal etetett halaknál.

5.3.5. Immunológia

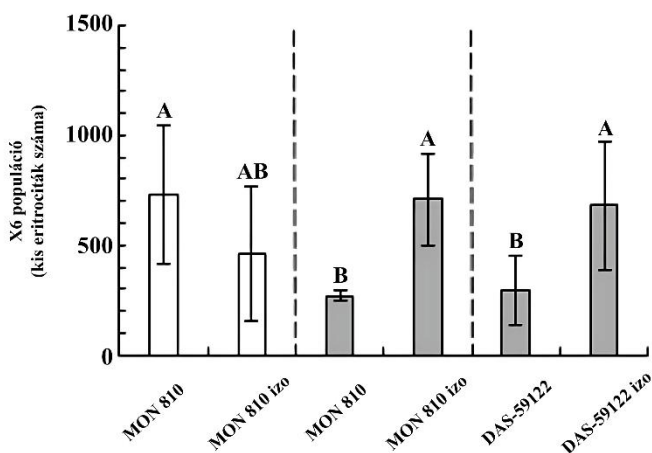
5.3.5.1. Vörösvérsejtek

A halak vörösvérsejtjei sejttaggal rendelkező sejtek, bár ezek a magok funkcionálisan inaktívak, és a vörösvérsejteknek az immunválasz közvetítésében betöltött szerepe mindmáig nem kellően feltárt. A fehérvérsejt–antigén kölcsönhatások a halaknál elsősorban a vesében, a fejvesében, a lépben, a kopolytúban és a bélben zajlanak, ezért ezek a szervek az immunválasz fő helyszíneinek tekinthetők. Kísérleteinkben a *MON810* kukoricát tartalmazó takarmánnyal végzett 6-hónapos etetés nem okozott kimutatható hatást sem az N, sem a K testtömegcsoportban. Ezzel szemben a *DAS-59122*-t tartalmazó takarmánnyal való etetés szignifikánsan megnövelte a vérben található érett vörösvérsejtek számát (10040 ± 1414), a közeli izogén kukoricával etetett állatokhoz képest (7083 ± 2455). Megjegyzendő, hogy az utóbbi, negatív kontrollcsoport értékei nem tértek el szignifikánsan sem a *MON810*, sem annak izogén vonalától (46. ábra). HEMRE *et al.* 2005 háromhónapos vizsgálat felénél RR-szójával etetett lazacoknál csökkent az eritociták száma, de a kísérlet végén nem volt szignifikáns eltérés (HEMRE *et al.*, 2005).



46. ábra. X1 populáció eritrocitaszámai az egyes kezelésekben (szürke – N testtömegcsoport).

Az áramlási citométerrel (*flow cytometry*) izolált X6 sejtcsoport kisebb méretű eritrocitákból álló populációnak bizonyult. Ennek az X6 sejtcsoportnak a száma csökkent az N testtömegcsoportokban mind a *DAS-59122*, mind a *MON810* esetében. Ilyen csökkenés a K testtömegcsoportban a *MON810*-et tartalmazó takarmánnyal etetett halaknál nem volt megfigyelhető (47. ábra).

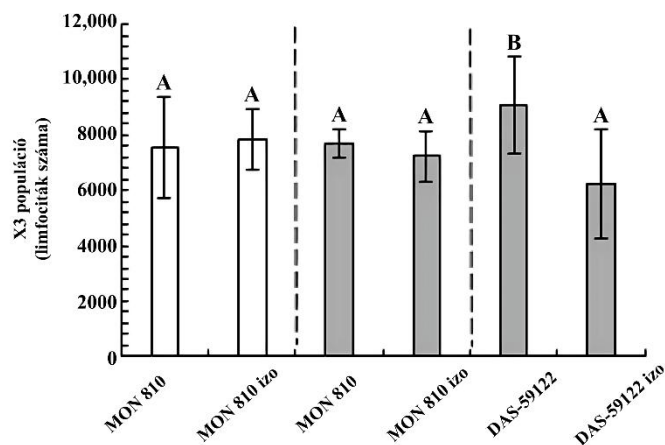


47. ábra. X6 populáció kis eritrocitáinak száma az egyes kezelésekben (szürke – N testtömegcsoport).

5.3.5.2. Limfociták

A limfociták a halak immunvédekezésének egyik alapvető sejtípusát képezik. A jelen vizsgálatban a 6-hónapos etetési kísérlet során a *DAS-59122*-t tartalmazó takarmány

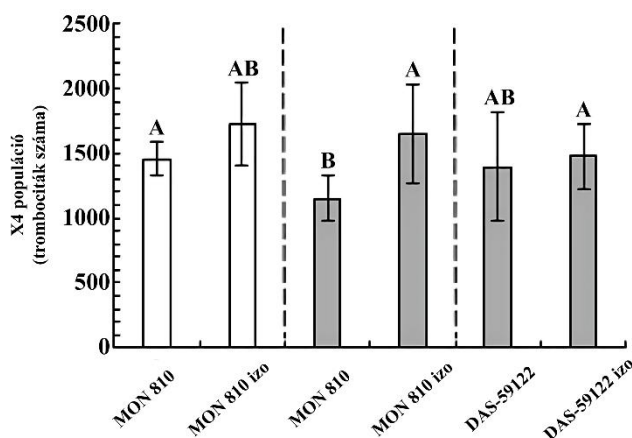
szignifikánsan megnövelte a limfociták számát az N testtömegcsoportban (9169 ± 1771), a közeli izogén vonallal etetett kontrollcsoportéhoz képest (6267 ± 1972). Ez utóbbi negatív kontrollcsoport értékei nem különböztek szignifikánsan sem a *MON810*, sem annak izogén vonalától (48. ábra). Ezzel szemben atlanti lazacoknál a *MON810* csökkentette a limfociták arányát a fehérvérsejtek között (SAGSTAD *et al.*, 2007).



48. ábra. X3 populáció limfociták száma az egyes kezelésekben (szürke – N testtömegcsoport).

5.3.5.3. Trombociták

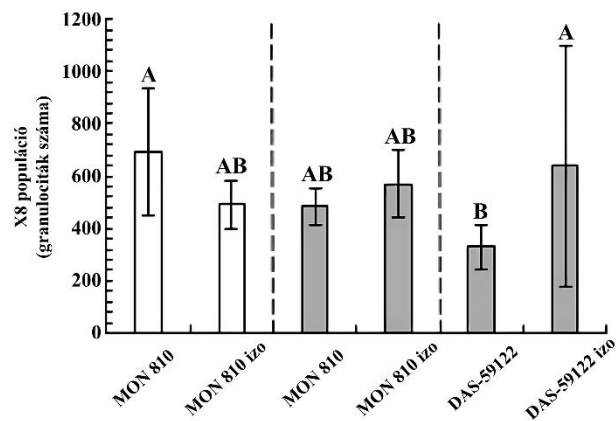
A halak trombocitái a gerincesek vérlemezkéinek megfelelő sejtelemek, amelyek a vérárvadásért felelősek. A 6-hónapos etetési kísérletben a *MON810*-et tartalmazó takarmány szignifikánsan csökkentette a trombociták számát a vérben az N testtömegcsoportban (1162 ± 177), a közeli izogén vonallal etetett kontrollcsoportéhoz képest (1653 ± 396). Ez a hatás azonban nem volt kimutatható az K testtömegcsoportban, amely szintén *MON810*-et fogyasztott (49. ábra).



49. ábra. X4 populáció trombocitaszámai az egyes kezelésekben (szürke – N testtömegcsoport).

5.3.5.4. Granulociták

A granulociták különböző sejtjei a halak immunvédekezésének, amelyek között olyan típusok is előfordulnak, amelyek a gerincesek neutrofil sejtjeivel rokon funkciót tölthetnek be. Jelen vizsgálatban a *DAS-59122*-t tartalmazó takarmánnyal végzett 6-hónapos etetés szignifikánsan csökkentette a granulociták számát az N testtömegcsoportban (332 ± 82), a közeli izogén vonalhoz képest (644 ± 466). Ez az érték alacsonyabb maradt, mint a *MON810* esetében mért (488 ± 64) és annak izogén megfelelőjénél (576 ± 131) (50. ábra). Lazacoknál a *MON810* növelte a granulociták arányát a fehérvérsejtek között (SAGSTAD *et al.*, 2007).



50. ábra. X8 populáció granulocitaszámai az egyes kezelésekben (szürke – N testtömegcsoport)

6. Következtetések és javaslatok

6.1. 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 beavatkozása. 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-kezelési (*insect resistance management, IRM*) 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 (MESSÉAN *et al.*, 2025). A modellvizsgálatok és terepi eredmények összevetése azt mutatja, hogy a *Bt*-pollen által okozott mortalitásra vonatkozó korábbi predikciók túlzóak voltak. A védett lepkefajok lárvái elkerülik a magas pollensűrűségű mikrokozmoszokat (pl. levélerek mélyedéseit, felső leveleket), és más ökológiai tényezők (pl. a lárvák természetes szétszóródása, mikrotopográfia, növényélettani jelzések által kiváltott elkerülő viselkedés) tovább csökkentik a tényleges expozíciót. Többgenerációs fajok esetében (pl. *Inachis io*, *Aglais urticae*) a *Bt*-pollen csupán a második nemzedék egy részét érintheti. A természetes populációkban toleráns egyedek jelenléte kimutatható (pl. *Nymphalidae*), és hosszú távon is valószínűsíthető a tolerancia fennmaradása vagy kialakulása – hasonlóan más kukorica-kártevőkben 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/cm²-ről mintegy 50 pollen/cm²-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 (*ARPAIA et al.*, 2015; *DEVOS et al.*, 2021) helytállóak, és összhangban vannak a hazai moratórium indokoltságával. Ugyanakkor a dán–német modellek (*HOLST et al.*, 2013; *LÖVEI et al.*, 2020) módszertani okokból túlbecsülték a kockázatot.

6.2. Az amur vizsgálatai

A *MON810* kukorica sertésekkel történő kereskedelmi és széleskörű etetése során sem fejlődési rendellenességeket, sem szövettani problémákat nem tapasztaltak (*WALSH et al.*, 2011; 2012; *BUZOIANU et al.*, 2012a; 2012b). A *DAS-59122* kukoricával végzett, *Sprague–Dawley* patkányokon folytatott kísérletek során a DuPont kutatói nem rögzítettek semmilyen hatást a testparaméterekre [testsúly/gyarapodás, takarmányfogyasztás/hatékonyság, toxikológiai klinikai jelek, mortalitás, szemészeti és idegrendszeri vizsgálatok (funkcionális megfigyelési akkumuláció és mozgásaktivitás), klinikai patológia (hematológia, klinikai kémia, véralvadás és vizelelelemzés), valamint patológia (szervtömegek, makroszkópos és mikroszkópos elváltozások)] (*MALLEY et al.*, 2007).

DE VENDÔMOIS et al. ugyanakkor eltérő hatásokat jelentettek Cry1 (*MON810*) és Cry3 (*MON863*) események esetében: „Elemzésünk egyértelműen kimutatja, hogy a három *GMO* esetében új mellékhatások társulnak a GM-kukorica fogyasztásához, amelyek ivarhoz és gyakran dózishoz kötöttek. A hatások elsősorban a veséhez és a májhoz, a táplálék eredetű detoxifikációs szervekhez kapcsolódtak, de eseményenként eltérően jelentek meg. További hatásokat is észleltünk a szívben, a mellékvesében, a lépben és a vérképző rendszerben. Következtetésünk szerint ezek az adatok hepatorenális toxicitás jeleit mutatják, amelyet feltehetően az egyes GM-kukoricákban lévő specifikus új növényvédő szerek okoznak. Emellett a genetikai módosítás nem szándékolt közvetlen vagy közvetett metabolikus következményei sem zárhatók ki (*DE VENDÔMOIS et al.*, 2009).” A vita mára halkulóban, pontosan a GM-szója behozatalán európai takarmányozási célra folyamatos (csak vetni nem lehet), ami jelzi, hogy nem általános egészségügyi problémák állnak az EU moratórium mögött, hanem környezettudományiak. A *SÉRALINI et al.* által publikált (majd visszavont és újraközölt) beszámoló a *glyphosate*-toleráns fajtákról (*MON603*) különösen megosztó volt (*SÉRALINI et al.*, 2012; *SÉRALINI et al.*, 2014). A GM-növények csaknem húszéves etetési tapasztalata alapján sem a teljes ártalmatlanság, sem a káros hatás nem bizonyosodott be kétséget kizáróan, gazdasági károk ugyanakkor nem mutathatók ki emlős fajokon végzett vizsgálatok alapján (*CARMAN et al.*, 2013; *VAN EENENNAAM et al.*, 2013).

Halakkal végzett tanulmányok lényegesen kisebb számban állnak rendelkezésre, de megfelelő tudományos szigorral. A lazacfélék takarmányozásakor a szója alkalmazása azért igényel kiemelt figyelmet, mert az abban található anti-nutritív komponensek a belekben gyulladással (*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 (HEMRE *et al.*, 2005; BAKKE-MCKELLEP *et al.*, 2007; SISSENER *et al.*, 2009). 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 (HEMRE *et al.*, 2005). 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 (BAKKE-MCKELLEP *et al.*, 2007). Magasabb RR-szója-inklúziónál anyagcsere- és testösszetétel-változásokat (pl. alacsonyabb plazma triglicerid- és glükózszint, zsírsavarányok eltolódása), valamint nagyobb léptömeget is leírtak, és a hemoglobin-léptömeg kapcsolat gyengébb immunválasz lehetőségét veteti fel (SAGSTAD *et al.*, 2008). 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 életciklus- és végpontfüggő, és a GM-státuszhoz köthető eltérések gyakran kisebbek, mint maga a „szója-hatás” (SISSENER *et al.*, 2009; SAGSTAD *et al.*, 2008).

A *Bt*-kukoricával (*MON810*) végzett lazac-kísérletek már közvetlenebb összevetési alapot adnak a saját *Bt*-kukoricalevél-etetési eredményeinkhez, mert itt nem a szója-indukált *enteritis*, hanem a *Bt*-eseményhez társuló teljesítmény- és biomarker-változók kerülnek előtérbe. *Post-smolt* atlanti lazacban *MON810* kukoricával 82 nap alatt a takarmányfelvétel csökkenését és ehhez kapcsolódóan kisebb növekedést írtak le a nem GM kukoricához képest, illetve egyes szervszomatikus indexek (pl. máj (HSI), bél (DISI) elmozdulását megfigyelték, miközben kifejezett, dietetikai eredetű morfológiai károsodást nem igazoltak (HEMRE *et al.*, 2007). Ugyanehhez a táplálási 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 (SAGSTAD *et al.*, 2007). 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 (GU *et al.*, 2014). 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 $25,7 \pm 2,1$ µg/g, *DAS-59122* esetén Cry34Ab1 $182,9 \pm 26,3$ µg/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), *Bothriocephalus 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 (HEMRE *et al.*, 2007; SAGSTAD *et al.*, 2007; GU *et al.*, 2014). 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.

7. 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 *Inachis 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.

8. Összefoglalás

A *MON810* (Cry1Ab) *Bt*-kukorica nem célszervezeti kockázatát a kukoricatáblák szegélyében megjelenő csalános (*Urtica* spp.) élőhelyfoltok és a nappali pávaszem (*Inachis io*) fiatal lárváinak lehetséges pollenkitettsége felől értékeltük, valamint GM-kukoricák (*MON810* – Cry1Ab; *DAS-59122* – Cry34Ab1/Cry35Ab1) takarmányozási hatásainak vizsgálata fiatal amuron (*Ctenopharyngodon idella*). Szabadföldi felmérésekkel tisztáztuk a csalánfoltok táblaszegélyi előfordulását és az *I. io* lárvák jelenlétét, laboratóriumi etetési kísérletekben vizsgáltuk a faj eltérő népségeinek érzékenységét a Cry1Ab-toxintartalmú pollenre, és értékeltük a Cry1-toxin iránti tolerancia/rezisztencia megjelenésének lehetőségét. 1-, 3- és 6-hónapos takarmányozási vizsgálatokat végeztünk fiatal amuron *MON810* és *DAS-59122*, illetve közel izogénikus kontrollvonalai szárított kukoricaleveleivel, valamint összehasonlításként szudánifű-levelekkel készített takarmányokkal. A takarmányozási kísérletekben a növekedési, vérkémi és immunrendszeri, illetve tápcsatornai változásokat hasonlítottuk össze a kezelések között, és mértük (*ELISA*) a Cry1Ab-, illetve Cry34Ab1-toxin emésztőrendszeri sorsát.

A 2024-es szabadföldi felmérések alapján a kukoricatáblák közel felénél volt jelen csalános élőhelyfolt, azonban ezeknek is csak mintegy 20%-ban fordultak elő foltszerűen *I. io* lárvák; a megfigyelt károsítás esetenként legfeljebb a csalánfoltok 1%-át érintette. Területre vetítve ez összességében alacsony, a hazai *I. io* állomány szempontjából várhatóan elhanyagolható *MON810*-pollen kitettséget jelentene. A szakirodalom és laboratóriumi mérések rávilágítottak arra, hogy a pollen Cry1Ab-toxintartalma nem tekinthető egységesnek. Négy, szabadföldről származó nőstény utódain végzett vizsgálatban két utódcsoporthoz érzékenynek, kettő tűrőképesnek bizonyult. 120 ng Cry1Ab/g toxintartalmú *MON810* pollen mellett a 350 pollen/cm² (átlagos táblaszegélyi terhelés) mérsékelt pusztulással járt, míg a 460 pollen/cm² (szélnyomásos oldal) az érzékenyebb törzsnél 50% feletti mortalitást okozott. Ez a populáción belüli válaszkülönbségekre utal, és felveti a tolerancia/rezisztencia szelekciójának lehetőségét, ezért a nem célszervezeti kockázat értékelésekor az érzékenységi variabilitás figyelembevétele indokolt.

Az amur etetési vizsgálatban az egyedeket kis (A), közepes (K) és nagy (N) testtömegű csoportokba sorolva egy hónapos etetés után szignifikáns fejlődési elmaradást csak a legkisebb (A) csoportban, szudánifűvel etetett halaknál tapasztaltunk. A GM-kukoricával (*DAS-59122* vagy *MON810*) etetett csoportok növekedése három és hat hónap után sem különbözött el a közel izogén kontrolltól. A vérkémi paraméterek többsége nem mutatott különbséget, több eltérés (például szövetlen foszfát, kalcium) a galandféreg-fertőzött egyedek kizárásával eltűnt. Ugyanakkor három hónap után a nagy testtömegű (N) csoportban *MON810* etetés mellett a szérumalbumin-koncentráció szignifikánsan alacsonyabb volt a közel izogén kontrollhoz képest. A közép- és

utóbélben mért amiláz, utóbél tripszin és középbel leucin-aminopeptidáz aktivitása alapján a GM-kukoricák nem befolyásolták érdemben az emésztőenzimeket; a különbségek inkább testtömegcsoportokhoz kapcsolódtak. Az etetéshez használt szárított kukoricalevelek toxintartalma *DAS-59122* esetében Cry34Ab1-re $182,9 \pm 26,3$ µg/g, *MON810* esetében Cry1Ab-re $25,7 \pm 2,1$ µg/g volt. Három hónap után (egynapos koplaltatást követően) a béltartalomban a Cry34Ab1 csak korlátozottan volt kimutatható, a Cry1Ab jellemzően a kimutatási határ alatt maradt. Hat hónap után, koplaltatás nélkül, a béltartalom Cry34Ab1-koncentrációja átlagosan $10,86 \pm 4,21$ ng/g volt, és a toxin a vérben is mérhetővé vált (átlagosan $12,59 \pm 1,89$ ng/ml). Egy fertőzött egyednél a vér toxintartalma $17,77 \pm 1,40$ ng/ml értéket mutatott, ami a bélnyálkahártya-elvékonyodásával összefüggő fokozott toxin-penetrációt valószínűsít. A Cry34Ab1 kis mennyiségben több szövetben (bél, máj, izom, vese, feje) is kimutatható volt. Szövettanilag a májban nem igazolódott GM-etetéshez köthető kóros eltérés, és a bélrendszerben sem volt kimutatható szignifikáns, a markáns elváltozások a *B. acheilognathi* fertőzéshez kapcsolódtak. Hathónapos 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 izogén vonalhoz képest szignifikánsan csökkent.

Összességében a vizsgálatok alapján a *MON810*-pollen kitétség a hazai *I. io* állomány szempontjából elhanyagolható kitétséget jelentene, de a hazai természetvédelmi törvények (1996. évi LIII.) nem teszi elfogadhatóvá, mivel az élőhelyminőségét megváltoztatja. Az amur esetében a GM-kukoricalevél-alapú takarmányozás teljesítménycsökkentő hatása nem igazolódott, de a Cry34Ab1 kimutathatósága, valamint az észlelt, finom immunológiai elmozdulások alapján javasolt a hosszabb távú, több végpontos, különösen immuntoxikológiai vizsgálatok folytatása, a parazitaferozottság kontrollja mellett, és a toxinok szervezeten belüli megjelenésének biológiai relevanciáját célzottan tisztázó kísérletekkel.

9. Summary

We assessed the non-target-organism risk of MON810 (Cry1Ab) *Bt*-maize from the perspective of nettle (*Urtica* spp.) habitat patches appearing along the margins of maize fields and the potential pollen exposure of young larvae of the European peacock (*Inachis io*), and we also examined the feeding effects of GM maize (MON810 – Cry1Ab; DAS-59122 – Cry34Ab1/Cry35Ab1) in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). With field surveys we clarified the occurrence of nettle patches at field edges and the presence of *I. io* larvae; in laboratory feeding experiments we investigated the sensitivity of different populations of the species to Cry1Ab-toxin-containing pollen and evaluated the possibility of the emergence of tolerance/resistance to the Cry1 toxin. We conducted 1-, 3-, and 6-month feeding trials in juvenile grass carp using feeds prepared with dried maize leaves of MON810 and DAS-59122 and of their near-isogenic control lines, and, for comparison, feeds prepared with Sudan grass leaves. In the feeding experiments we compared growth, blood-chemical and immune-system, and gastrointestinal changes among treatments, and we measured (ELISA) the gastrointestinal fate of the Cry1Ab and Cry34Ab1 toxins.

Based on the 2024 field surveys, nettle habitat patches were present at nearly half of the maize fields; however, even among these, *I. io* larvae occurred patchily in only about 20%, and the observed damage affected at most 1% of the nettle patches in individual cases. Expressed per unit area, this overall would mean low MON810 pollen exposure that would presumably be negligible from the perspective of the Hungarian *I. io* population. The literature and laboratory measurements highlighted that the Cry1Ab toxin content of pollen cannot be considered uniform. In tests performed on the offspring of four field-derived females, two offspring groups proved sensitive and two proved tolerant. With MON810 pollen containing 120 ng Cry1Ab/g toxin, a load of 350 pollen/cm² (average field-edge load) resulted in moderate mortality, whereas 460 pollen/cm² (windward side) caused over 50% mortality in the more sensitive strain. This points to within-population differences in response and raises the possibility of selection for tolerance/resistance; therefore, when assessing non-target-organism risk, taking sensitivity variability into account is justified.

In the grass carp feeding study, after one month of feeding—classifying individuals into small (A), medium (K), and large (N) body-mass groups—significant developmental delay was observed only in the smallest (A) group in fish fed Sudan grass. After three and six months, the growth of the groups fed GM-maize (DAS-59122 or MON810) did not differ from that of near-isogenic control. Most blood-chemical parameters showed no differences, and several deviations (e.g., inorganic phosphate, calcium) disappeared when tapeworm-infected individuals were

excluded. However, after three months, in the large body-mass (N) group under *MON810* feeding, serum albumin concentration was significantly lower than in near-isogenic control. Based on the activities of amylase in the mid- and hindgut, hindgut trypsin, and midgut leucine-aminopeptidase, the GM-maize lines did not meaningfully affect digestive enzymes; the differences were rather related to body-mass groups. The toxin content of the dried maize leaves used for feeding was 182.9 ± 26.3 µg/g for Cry34Ab1 in the case of *DAS-59122* and 25.7 ± 2.1 µg/g for Cry1Ab in the case of *MON810*. After three months (following one day of fasting), Cry34Ab1 in the intestinal contents was only detectable to a limited extent, while Cry1Ab typically remained below the detection limit. After six months, without fasting, the Cry34Ab1 concentration in the intestinal contents averaged 10.86 ± 4.21 ng/g, and the toxin also became measurable in blood (average 12.59 ± 1.89 ng/ml). In one infected individual, the blood toxin content showed 17.77 ± 1.40 ng/ml, which suggests increased toxin penetration associated with thinning of the intestinal mucosa. Cry34Ab1 was detectable in small amounts in several tissues (intestine, liver, muscle, kidney, head kidney). Histologically, no pathological alteration attributable to GM feeding was confirmed in the liver, and no significant alteration was detectable in the intestinal tract either; the marked lesions were linked to *B. acheilognathi* infection. After six months of feeding, mild immunological-type deviations were observable: in the case of *MON810*, in one group the proportion of apoptotic cells increased significantly ($p < 0.05$) and platelet numbers decreased, whereas in the case of *DAS-59122* the granulocyte count decreased significantly compared with the near-isogenic line.

Overall, based on the studies, *MON810* pollen exposure would represent negligible exposure from the perspective of the Hungarian *I. io* population, but Hungarian nature conservation legislation (Act LIII of 1996) does not make it acceptable, because it changes habitat quality. In the case of grass carp, a performance-reducing effect of GM-maize-leaf-based feeding was not confirmed, but based on the detectability of Cry34Ab1 and the observed subtle immunological shifts, continuation of longer-term, multi-endpoint—especially immunotoxicological—studies is recommended, alongside control of parasite infection, and with experiments specifically aimed at clarifying the biological relevance of the appearance of the toxins within the organism.

Melléklet

M1. IRODALOMJEGYZÉK

- ADIAHA, M. S., AGBA, O. A., ATTOE, E. E., OJKPONG, T. O., KEKONG, M. A., OBIO, A.,
UNDIE, U. L. (2016): Effect of maize (*Zea mays* L.) on human development and the future
of man-maize survival: A review. *World Scientific News*, **59**, 52–62. <https://hal.science/hal-04608984v1>
- ANDOW, D. A., SOMERS, D. A., AMUGUNE, N., ARAGAO, F. J. L., GHOSH, K., GUDU, S.,
MAGIRI, E., MOAR, W. J., NJIHIA, S., OSIR, E. (2004): Transgene locus structure and
expression of *Bt* maize. 83-116. p. *In*: HILBECK A., ANDOW D.A. (Eds.): Environmental
risk assessment of genetically modified organisms. Oxfordshire, UK: CABI Publishing, 289.
p. <https://doi.org/10.1079/9780851998619.0083>
- ANTALFI, A., TÖLG, I. (1972): Növényevő halak. Második, átdozott kiadás. Budapest:
Mezőgazdasági Kiadó. 202 p.
- ARIS, A., LEBLANC, S. (2011): Maternal and fetal exposure to pesticides associated to
genetically modified foods in Eastern Townships of Quebec, Canada. *Reprod. Toxicol.*, **31**,
528–533. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2011.02.004>
- ARONSON, A. (2002): Sporulation and δ -endotoxin synthesis by *Bacillus thuringiensis*. *CMLS,
Cell. Mol. Life Sci.*, **59**, 417–425. <https://doi.org/10.1007/s00018-002-8434-6>
- ARONSON, A. I., SHAI, Y. (2001): Why *Bacillus thuringiensis* insecticidal toxins are so
effective: unique features of their mode of action. *FEMS Microbiol. Lett.*, **195**, 1-8.
<https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2001.tb10489.x>
- ARPAIA, S., BIRCH, A. N. E., CHESSON, A., DU JARDIN, P., GATHMANN, A., GROPP, J.,
HERMAN, L., HOEN-SØRTEBERG, H-G., JONES, H., KISS, J., KLETER, G., LØVIK,
M., MESSÉAN, A., NAEGELI, H., NIELSEN, K. M., OVESNÁ, J., PERRY, J. N.,
ROSTOKS, N., TEBBE, C. (2015): Updating risk management recommendations to limit
exposure of non-target Lepidoptera of conservation concern in protected habitats to *Bt*-maize
pollen. *EFSA J.*, **13** (7), 4127. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4127>
- AVERY, O., T., MACLEOD, C., M., MCCARTY, M. (1944): Studies on the chemical nature of
the substance inducing transformation of pneumococcal types: induction of transformation
by a deoxyribonucleic acid fraction isolated from pneumococcus type III. *J. Exp. Med.*, **79**,
(2), 137-158. <https://doi.org/10.1084/jem.79.2.137>

- BACTERIAL PESTICIDAL PROTEIN RESOURCE CENTER (2026): Bacterial Pesticidal Protein Database. <https://www.bpprc-db.org/> Lekérdezés időpontja: 2026.01.20.
- BAKKE-MCKELLEP, A. M., KOPPANG, E. O., GUNNES, G., SANDEN, M., HEMRE, G. I., LANDSVERK, T., KROGDAHL, A. (2007): Histological, digestive, metabolic, hormonal and some immune factor responses in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fed genetically modified soybeans. *J. Fish Dis.*, **30**, 65–79. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2007.00782.x>
- BAKKE-MCKELLEP, A. M., SANDEN, M., DANIELI, A., ACIERNO, R., HEMRE, G. I., MAFFIA, M., KROGDAHL, A. (2008): Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) *parr* fed genetically modified soybeans and maize: histological, digestive, metabolic, and immunological investigations. *Res. Vet. Sci.*, **84** (3), 395–408.
- BAKONYI, G., JUHÁSZ, L., KISS, I., PALOTÁS, G. (Szerk.) Bakonyi, G. (2003): Állattan. Mezőgazda Kiadó, pp.720.
- BAKONYI, G., SZIRA, F., KISS, I., VILÁNNYI, I., SERES, A., SZÉKÁCS, A. (2006): Preference tests with collembolas on isogenic and Bt-maize. *Eur. J. Soil Biol.*, **42**, S132–S135. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.06.005>
- BÁNÁTI, H., DARVAS, B., FEHÉR-TÓTH, SZ., CZÉH, Á., SZÉKÁCS, A. (2017): Determination of mycotoxin production of *Fusarium* species in genetically modified maize varieties by quantitative flow cytometry. *Toxins*, **9** (2), 70. <https://doi.org/10.3390/toxins9020070>
- BASKA, F., SIMON, L., VINCZE, B., GYURCSÓ, G., PASARÉTI, GY., DARVAS, B. (2017): Az amur (*Ctenopharyngodon idella*) tápcsatornájának szövettani vizsgálata 1-, 3- és 6-hónapos Cry1- (*MON810*) és Cry3-toxinnal (*DAS-59122*) való etetés után [No²]. *BioKontroll*, **8**, (1), 36–37.
- BATISTA, R., NUNES, B., CARMO, M., CARDOSO, C., SAO JOSÉ, H., ALMEIDA, A. B., MANIQUE, A., BENTO, L., RICARDO, C., P., OLIVEIRA, M., M. (2005): Lack of detectable allergenicity of transgenic maize and soya samples. *J. Allergy Clin. Immunol.*, **116**, 403–410. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2005.04.014>
- BAUDROT, V., WALKER, E., LANG, A., CONSTANTINI, S., REY, JF., SOUBEYRAND, S., MESSEAN, A. (2021): When the average hides the risk of Bt-corn pollen on non-target Lepidoptera: application to *Aglais io* in Catalonia. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **207**: 111215. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111215>

- BAWA, A., S., ANILAKUMAR, K., R. (2013): Genetically modified foods: safety, risks and public concerns – a review. *J. Food Sci. Technol.*, **50** (6), 1035-1046. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0899-1>
- BEEGLE C., C., YAMAMOTO, T. (1992): History of *Bacillus thuringiensis* Berliner research and development. *Can. Entomol.*, **124**, 587–616. <https://doi.org/10.4039/Ent124587-4>
- BØHN, T., ROVER, C. M., SEMENCHUK, P. (2016): *Daphnia magna* negatively affected by chronic exposure to purified Cry-toxins. *Food Chem. Toxicol.*, **91** 130-140, [10.1016/j.fct.2016.03.009](https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.03.009)
- BRAVO, A., GILL, S. S., SOBERÓN, M. (2007): Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. *Toxicon*, **49**, 423–435. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2006.11.022>
- BRAVO, A., GÓMEZ, I., PORTA, H., GARCÍA-GÓMEZ, B. I., RODRIGUEZ-ALMAZAN, C., PARDO, L., SOBERÓN, M. (2012): Evolution of *Bacillus thuringiensis* Cry toxins insecticidal activity. *Micro. Biotech.*, **6**, 17-16. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2012.00342.x>
- BRAVO, A., PACHECO, S., GÓMEZ, I., GARCIA-GÓMEZ, B., ONOFRE, J., SOBERÓN, M. (2017): Insecticidal Proteins from *Bacillus thuringiensis* and Their Mechanism of Action. In: FIUZA, L., POLANCZYK, R., CRICKMORE, N. (Eds.): *Bacillus thuringiensis* and *Lysinibacillus sphaericus*. Springer, Cham, Svájc, pp. 53-66 https://doi.org/10.1007/978-3-319-56678-8_4
- BRAVO, A., SOBERÓN, M., GILL, S. S. (2010): *Bacillus thuringiensis*: Mechanisms and Use. In: GILBERT, L., I., GILL, S., S. (Eds.): *Insect control – Biological and synthetic agents*. Elsevier, Academic Press, London, UK, pp. 247-277. (ISBN: 978-0-12-381449-4)
- BUZOIANU, S. G., WALSH, M. C., REA, M. C., CASSIDY, J. P., ROSS, R. P., GARDINER, G. E., Lawlor, P. G. (2012a): Effect of feeding genetically modified *Bt MON810* maize to 40-day-old pigs for 110 days on growth and health indicators. *Animal*, **6**, 1609–1619. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000249>
- BUZOIANU, S. G., WALSH, M. C., REA, M. C., O'DONOVAN, O., GELENCSÉR, É., ÚJHELYI, G., SZABÓ, E., NAGY, A., ROSS, R. P., GARDINER, G. E., *et al.* (2012b): Effects of feeding *Bt* maize to sows during gestation and lactation on maternal and offspring immunity and fate of transgenic material. *PLoS ONE*, **7**, e47851. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047851>

- CARMAN, J. A., VLIETGER, H. R., VER STEEG, L. J., SNELLER, V. E., ROBINSON, G. W., CLINCH-JONES, C. A., HAYNES, J. I., EDWARDS, J. W. (2013): A long-term toxicology study on pigs fed a combined genetically modified (GM) soy and GM maize diet. *J. Org. Syst.*, **8**, (1), 38–54.
- CHEN, Y., YANG, Y., ZHU, H. J., ROMEIS, J., LI, Y. H., PENG Y. F., CHEN, X. P. (2018): Safety of *Bacillus thuringiensis Cry1C* protein for *Daphnia magna* based on different functional traits. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **147**, 631-636. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.065>
- CHOWDHURY, E. H., KURIBARA, H., HINO, A., SULTANA, P., MIKAMI, O., SHIMADA, N., GURUGE, K. S., SAITO, M., Nakajima, Y. (2003): Detection of corn intrinsic and recombinant DNA fragments and Cry1Ab protein in the gastrointestinal contents of pigs fed genetically modified corn *Bt11*. *J. Anim. Sci.*, **81**, 2546–2551. <https://doi.org/10.2527/2003.81102546x>
- CLIVE, J. (2011): Global status of commercialized Biotech/GM crops. *ISAAA Briefs 43*. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, Ithaca. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/43/executivesummary/default.asp>
Lekérdezés időpontja: 2025.10.09.
- COHEN, S. N., CHANG, A. C., Y., BOYER, H. W., HELLING, R. B. (1973): Construction of biologically functional bacterial plasmids *in vitro*. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **70** (11), 3240-3244. <https://doi.org/10.1073/pnas.70.11.3240>
- CRESPO, A. L. B, RODRIGO-SIMÓN, A., SIQUEIRA, H. A. A., PEREIRA, E. J. G., FERRÉ, J., SIEGFRIED, B. D. (2011): Cross-resistance and mechanism of resistance to Cry1Ab toxin from *Bacillus thuringiensis* in a field-derived strain of European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *J. Invertebr. Pathol.*, **107**, 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2011.04.007>
- CRICKMORE, N., BERRY, C., PANNEERSELVAM, S., MISHRA, R., CONNOR, T. R., BONNING, B. C. (2020): A structure-based nomenclature for *Bacillus thuringiensis* and other bacteria-derived pesticidal proteins. *J. Invertebr. Pathol.*, **186**, 107438. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107438>
- CRICKMORE, N., ZEIGLER, D. R., FEITELSON, J., SCHNEPF, E., VAN RIE, J., LERECLUS, D., BAUM, J., DEAN, D. H. (1998): Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. *Microbio. Mol. Bio. Rev.*, **62** (3), 807–813. <https://doi.org/10.1128/mnbr.62.3.807-813.1998>

- CZERWIŃSKI, J., BOGACKI, M., JALALI, B. M., KONIECZKA, P., SMILUKOWSKA, S. (2015a): The use of genetically modified Roundup Ready soyabean meal and genetically modified *MON810* maize in broiler chicken diets. Part 1. Effects on performance and blood lymphocyte subpopulations. *J. Anim. Feed Sci.*, **24**, 134-143.
- CZERWIŃSKI, J., SLUPECKA-ZIEMILSKA, M., WOLIŃSKI, J., BARSZCZ, M., KONIECZKA, P., SMILUKOWSKA, S. (2015b): The use of genetically modified Roundup Ready soyabean meal and genetically modified *MON810* maize in broiler chicken diets. Part 2. Functional status of the small intestine. *J. Anim. Feed Sci.*, **24**, 144-152.
- DAHM, R. (2005): Friedrich Miescher and the discovery of DNA. *Dev. Bio.*, **278** (2), 274-288. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2004.11.028>
- DARVAS, B. (1999): Baktériumok. (*Bacillus thuringiensis* Berliner). In Polgár A. L. (Szerk.) A biológiai növényvédelem és helyzete Magyarországon. OMFB, Budapest. pp. 83-91. <https://mek.oszk.hu/09900/09969/html/> Lekérdezés időpontja: 2025.10.09.
- DARVAS, B., POLGÁR, L. A. (1998): Novel type insecticides: specificity and effects on non-target organisms. In: Ishaaya, I., Degheele, D. (Eds.): Insecticides with Novel Modes of Action, Mechanism and Application. Springer-Verlag, Berlin; pp. 188-259. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03565-8_11
- DARVAS, B., BÁNÁTI, H., TAKÁCS, E., LAUBER, É., SZÉCSI, Á., SZÉKÁCS, A. (2011): Relationships of *Helicoverpa armigera*, *Ostrinia nubilalis* and *Fusarium verticillioides* on *MON810* maize. *Insects*, **2**, 1-11. <https://doi.org/10.3390/insects2010001>
- DARVAS, B., CSÓTI, A., GHARIB, A., PEREGOVITS, L., RONKAY, L., LAUBER, É., POLGÁR A.L. (2004): Adatok a *Bt*-kukoricapollen és védett lepkéfajok lárváinak magyarországi rizikó-analíziséhez. *Növényvédelem*, **40**, 441-449.
- 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. (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. <https://doi.org/10.3390/insects13020206>
- DARVAS B., LAUBER É., KINCSES J., VAJDICS GY., JURACSEK J. SZÉKÁCS A. (2011): Bt kukorica eredetű Cry1Ab-toxinra rezisztens *Plodia interpunctella*. pp. 36-38.; pp. 138-

139. (in English). In: DARVAS B., SZÉKÁCS A. (Szerk.) Az elsőgenerációs géntechnológiai úton módosított növények megítélésének magyarországi háttere. Magyar Országgyűlés Mezőgazdasági Bizottsága, Budapest (ISBN 978-963-9848-44-3).
- DARVAS, B., PASARÉTI, G. Y., CSÉFFÁN, T., GYURCSÓ, G., VAJDOVICH, P., SZABÓ, B., BASKA, F., SIMON, L., BÁNÁTI, H., TAKÁCS, E., *et al.* (2015): Egy- és háromhónapos takarmányozási kísérlet *MON810* és *DAS-59122* GM-táppal amuron (*Ctenopharyngodon idella*) – [N°1] tömegmérés és vérkémia. *Abs. V. Ökotoxikológiai Konferencia*, V, pp. 11–12.
- DARVAS, B., SZÉKÁCS, A. (2010): A géntechnológiai úton módosított növények megítélése az Európai Unió keleti határán. *Biokontroll*, **1** (1), 13-23.
- DARVAS, B., SZÉKÁCS, A. (2011): A géntechnológiai úton módosított növények megítélése az Európai Unió keleti határán. In: DARVAS, B. (Szerk.): *Az elsőgenerációs géntechnológiai úton módosított növények megítélésének magyarországi háttere*. Budapest: Magyar Országgyűlés Mezőgazdasági Bizottsága, 215 p, 22-23 pp. ISBN 978-963-87505-1-8
- DE ALMEIDA MELO, A. L. A., SOCCOL, V. T., SOCCOL, C. R., (2014): *Bacillus thuringiensis*: mechanism of action, resistance, and new applications: a review. *Crit. Rev. Biotechnol.*, **36** (2), 1-10. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.960793>
- DE MAAGD, R. A., BRAVO, A., CRICKMORE, N. (2001): How *Bacillus thuringiensis* has evolved specific toxins to colonize the insect world. *Trends Genet.*, **17**, 193-199. [https://doi.org/10.1016/s0168-9525\(01\)02237-5](https://doi.org/10.1016/s0168-9525(01)02237-5)
- DE VENDÔMOIS, J. S., ROULLIER, F., CELLIER, D., SÉRALINI, G.-E. (2009): A Comparison of the effects of three GM-corn varieties on mammalian health. *Int. J. Biol. Sci.*, **5**, 706–726. <https://doi.org/10.7150/ijbs.5.706>
- DE VOS, C. J, SWANENBURG, M. (2018): Health effects of feeding genetically modified (GM) crops to livestock animals: a review. *Food. Chem. Toxicol.*, **117**, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.08.031>
- DEVOS, Y., DE SANCTIS, G., NERI, F.-M. & MESSÉAN, A. (2021): EFSA is working to advance the environmental risk assessment of genetically modified crops to better protect butterflies and moths. *EFSA J.*, **19** (4), e190301. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.e190301>
- DIVELY, G. P., KUCHAR, T. P., TAYLOR, S. V., DO UGHTY, H., HOLMSTROM, K., GILREIN, D. O., NAULT, B. A., INGERSON-MAHAR, J., HUSETH, A., REISIG, D.,

- FLEISCHER, S., OWENS, D., TILMON, K., REAY-JONES, F., PORTER, P., SMITH, J., SAGUEZ, J., WELLS, J., CONGDON, C., BYKER, H., JENSEN, B., DIFONZO, C., HUTCHISON, W. D., BURKNESS, E., WRIGHT, R., CROSSLEY, M., DARBY, H., BILBO, T., SEI TER, N., KRUPKE, C., ABEL, C., COATES, B., S., MCMANUS, B., FULLER, B., BRADSHAW, J., PETERSON, J., A., BUNTIN, D., PAULA-MORAES, S., KESHEIMER, K., CROW, W., GORE, J., HUANG, F., LUDWICK, D., C., RAUDENBUSH, A., JIMENEZ, S., CARRIÈRE, Y., ELKNER, T., HAMBY, K. (2023): Extended sentinel monitoring of *Helicoverpa zea* resistance to cry and vip3Aa toxins in Bt sweet corn: Assessing changes in phenotypic and allele frequencies of resistance. *Insects*, **14**, 577. <https://doi.org/10.3390/insects14070577>
- DONOVAN, W. P., ENGLEMAN, J. T., DONOVAN, J. C., BAUM, J. A., BUNKERS, G. J., CHI, D. J., CLINTON, W. P., ENGLISH, L., HECK, G. R., ILAGAN, O. M., KRASOMILOSTERFELD, K. C., PITKIN, J. W., ROBERTS, J. K., WALTERS, M. R. (2006): Discovery and characterization of Sip1A: A novel secreted protein from *Bacillus thuringiensis* with activity against coleopteran larvae. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **72**, 713-719. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0332-7>
- DOMÍNGUEZ-ARRIZABALAGA, M., VILLANUEVA, M., ESCRICHE, B., ANCÍN-AZPILICUETA, C., CABALLERO, P. (2020): Insecticidal Activity of *Bacillus thuringiensis* Proteins against Coleopteran Pests. *Toxins*, **12**, 430. <https://doi.org/10.3390/toxins12070430>
- DU, Z.-Y., LIU, Y.-J., TIAN, L.-X., WANG, J.-T., WANG, Y., LIANG, G.-T. (2005) Effect of dietary lipid level on growth, feed utilization and body composition by juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Aquacult. Nutr.*, **11**, 139-146. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00333.x>
- DU, Z.-Y., TIAN, L.-X., LIANG, G.-Y., LAN, H.-B., LIU, Y.-J. (2009) The intestinal evacuation and maximum daily consumption of purified formulated diets by juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Open Fish Sci. J.* **2**, 1-5. <http://doi.org/10.2174/1874401x00902010001>
- DULMAGE, H., T. (1970): Insecticidal activity of HD-1, a new isolate of *Bacillus thuringiensis* var. alesti. *J. Invertebr. Pathol.* **15**, 232-239. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(70\)90240-5](https://doi.org/10.1016/0022-2011(70)90240-5)

- EINSPANIER, R., LUTZ, B., RIEF, S., BEREZINA, O., ZVERLOV, V., SCHWARZ, W., MAYER, J. (2004): Tracing residual recombinant feed molecules during digestion and rumen bacterial diversity in cattle fed transgene maize. *Eur. Food Res. Technol.*, **218**, 269-273. <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0842-9>
- ELLIS, R. T., STOCKHOFF, B. A., STAMP, L., SCHNEPF, H. E., SCHWAB, G. E., KNUTH, M., RUSSEL, J., CARDINEAU, G. A., NARVA, K. E. (2002): Novel *Bacillus thuringiensis* binary insecticidal crystal proteins active on western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte. *App. Env. Microbio.*, **68** (3), 1137-1145. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.3.1137-1145.2002>
- EUROPEAN COMMISSION (2007): Authorising the placing on the market of products containing, consisting of, or produced from genetically modified maize 59122 (DAS 59122-7) pursuant to Regulation (EC) No 1829/2003 of the European Parliament and of the Council (notified under document number C (2007) 5141) (Only the French, Dutch and English texts are authentic) (Text with EEA relevance) (2007/702/EC). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32007D0702> Lekérdezés időpontja: 2026.01.20.
- EUROPEAN COMMISSION (2018): Commission Implementing Decision (EU) 2018/1109 of 1 August 2018 renewing the authorisation for the placing on the market of products containing, consisting of, or produced from genetically modified maize 59122 (DAS-59122-7) pursuant to Regulation (EC) No 1829/2003 of the European Parliament and of the Council (notified under document C (2018) 4978) (Text with EEA relevance.) (2018/1109/EC) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32018D1109> Lekérdezés időpontja: 2026.01.20.
- EWEN, S.W.B., PUSZTAI, Á. (1999): Effect of diets containing genetically modified potatoes expressing *Galanthus nivalis* lectin on rat small intestine. *Lancet*, **354**, 1314–1315. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(98\)05860-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(98)05860-7)
- EIZAGUIRRE, M., MADEIRA, F. LÓPEZ., C. (2010): Effects of *Bt* maize on non-target Lepidoptera pests. *IOBC/WPRS Bulletin*, **52**, 49–55.
- EUGINIUS (2026): The European GMO database. <https://euginius.eu/euginius/pages/home.jsf> Lekérdezés időpontja: 2026.01.20.
- FAHSE, L., PAPASTEFANO, P., OTTO, M. (2018): Estimating acute mortality of Lepidoptera caused by the cultivation of insect-resistant *Bt* maize – The *LepiX* model. *Ecol. Mod.* **371**, 50-59 <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.01.006>

- FAOSTAT (2025): FAO Stat. FAO, Rome, Italy. <http://www.fao.org/faostat>. Licenz: CC-BY-4.0. Lekérdezés időpontja: 2026.01.20.
- FAO (2024): Agricultural production statistics 2010–2023. *FAOSTAT Analytical Briefs*, No. 96. Rome, Italy. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd3755en> Lekérdezés időpontja: 2026.01.20.
- FEARING, P.L., BROWN, D., VLACHOS, D., MEGHJI, M., PRIVALLE, L., (1997): Quantitative analysis of *CryIA* (b) expression in Bt maize plants, tissues, and silage and stability of expression over successive generations. *Molecular Breeding* **3**, 169-176. <https://doi.org/10.1023/A:1009611613475>
- FLORES, S., SAXENA, D., STOTZKY, G. (2005): Transgenic Bt plants decompose less in soil than non-Bt plants. *Soil Biol. Biochem.*, **37**, 1073-1082. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.11.006>
- FERRÉ, J., VAN, RIE, J., (2002): Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu. Rev. Entomol.* **47**, 501-533. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145234>
- FREIRE, I. S., MIRANDA-VILELA, A. L., FASCINELI, M. L. OLIVEIRA-FILHO, E. C., MARTINS, E. S., MONNERAT, R. G., GRISOLIA, C. K. (2014) Genotoxic evaluation in *Oreochromis niloticus* (Fish: Characidae) of recombinant spore–crystal complexes *CryIIa*, *Cry10Aa* and *Cry1Ba6* from *Bacillus thuringiensis*. *Ecotoxicology*, **23**, 267-272. <https://doi.org/10.1007/s10646-013-1170-x>
- GALINAT, W.C. (1988): The origin of corn. In: SPRAGUE, G.F., DUDLEY, J.W. (Eds.): *Corn and Corn Improvement*. Madison: American Society of Agronomy, pp. 1–31. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr18.3ed.c1>
- GAO, Y., SCHAFER, B. W., COLLINS, R. A., HERMAN, R. A., XU, X., GILBERT, J. R., NI, W., LANGER V. L., TAGLIANI L. A. (2004): Characterization of Cry34Ab1 and Cry35Ab1 insecticidal crystal proteins expressed in transgenic corn plants and *Pseudomonas fluorescens*. *Jou. of Agri. and Food Chem.*, **52** (26), 8057-8065. <https://doi.org/10.1021/jf048744+>
- GARCIA-LARA, S., SERNA-SALDIVAR, S. O. (2019): Corn history and culture. In: SERNA-SALDIVAR, S. O. (Eds.): *Corn, 3rd edn*, AACC International Press, pp. 1-18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2>

- GOLDBERG, L. J., MARGALIT, J. (1977): A bacterial spore demonstrating rapid larvicidal activity against *Anopheles sergentii*, *Uranotaenia unguiculata*, *Culex univertattus*, *Aedes aegypti*, and *Culex pipiens*. *Mosq. News* **37** (3), 355-358. https://www.biodiversitylibrary.org/content/part/JAMCA/MN_V37_N3_P355-358.pdf
Lekérdezés időpontja: 2026.01.20.
- GOLDSTEIN, D., A., DUBELMAN, S., GROTHAUS, D., HAMMOND, B., G. (2012): Comment: Aris and Leblanc “Maternal and fetal exposure to pesticides associated to genetically modified foods in Eastern Townships of Quebec, Canada”. *Reprod. Toxicol.* **33**, 120–121. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2011.10.007>
- GONZÁLEZ-CABRERA, J., GARCÍA, M., HERNÁNDEZ CRESPO, P., FARINÓS, G. P., ORTEGO, F. CASTANERA, P. (2013): Resistance to *Bt* maize in *Mythimna unipuncta* (Lepidoptera: Noctuidae) is mediated by alteration in Cry1Ab protein activation. *Ins. Biochem. Mol. Bio.*, **43**, 635-643. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2013.04.001>
- GRISOLIA, C. K., OLIVEIRA, R., DOMINGUES, I., OLIVEIRA-FILHO, E. C., MONNERAT, R. G., SOARES, A. M. V., M. (2009): Genotoxic evaluation of different-endotoxins from *Bacillus thuringiensis* on zebrafish adults and development in early life stages. *Mutat.*, **672**, 119-123. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2008.10.017>
- GU, J., KROGDAHL, A., SISSENER, N. H., KORTNER, T. M., GELENCSÉR, É., HEMRE, G.-I., BAKKE, A. M. (2013): Effects of oral *Bt*-maize (*MON810*) exposure on growth and health parameters in normal and sensitised Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Br. J. Nutr.*, **109**, 1408–1423. <https://doi.org/10.1017/S000711451200325X>
- GU, J., BAKKE, A. M., VALEN, E. C., LEIN, I., KROGDAHL, A. (2014): *Bt*-maize (*MON810*) and non-GM soybean meal in diets for atlantic salmon (*Salmo salar* L.) juveniles—Impact on survival, growth performance, development, digestive function, and transcriptional expression of intestinal immune and stress responses. *PLoS ONE*, **9**, e99932. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099932>
- HANWAY, J. (1966): How a corn plant develops. *Special Report No. 48*; Iowa State University: Ames, IA, USA pp. 1–18.
- HAYNES, C., A., NORDE, W. (1994): Globular proteins at solid/liquid interfaces. *Colloids Surf. B Biointerfaces*, **2**, 517-566. [https://doi.org/10.1016/0927-7765\(94\)80066-9](https://doi.org/10.1016/0927-7765(94)80066-9)

- HE, S., LIANG, X.-F., LI, L., SUN, J., WEN, Z.-Y., CHENG, X.-Y., LI, A.-X., CAI, W.-J., HE, Y.-H., WNG, Y.-P., TAO, Y.-X., YUAN, X.-C. (2015): Transcriptome analysis of food habit transition from carnivory to herbivory in a typical vertebrate herbivore, grass carp *Ctenopharyngodon idella*. *BMC Genomics*, **16**, 15. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1217-x>
- HELASSA, N., M'CHAREK, A., QUIQUAMPOIX, H., NOINVILLE, S., DÉJARDIN, F., FRUTOS, R., STAUNTON, S. (2011): Effects of physicochemical interactions and microbial activity on the persistence of *Cry1Aa Bt* (*Bacillus thuringiensis*) toxin in soil. *Soil Biol. Biochem.* 2011, **43**,1089-1097. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.01.030>
- HEMRE, G. I., SANDEN, M., BAKKE-MCKELLEP, A. M., SAGSTAD, A., KROGDAHL, A. (2005): Growth, feed utilization and health of Atlantic salmon *Salmo salar* L. fed genetically modified compared to non-modified commercial hybrid soybeans. *Aquacult. Nutr.*, **11**, 157-167. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2005.00328.x>
- HEMRE, G. I., SAGSTAD, A., BAKKE-MCKELLEP, A. M. DANIELI, A., ACIERNO, R., MAFFIA, M., FRØYSTAD, M., KROGDAHL, A., SANDEN, M. (2007): Nutritional, physiological, and histological responses in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. fed diets with genetically modified maize. *Aquacult. Nutr.*, **13**, 186-199. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00465.x>
- HERMAN, R. A., SCHERER, P. N., YOUNG, D. L., MIHALIAK, C. A., MEADE, T., WOODSWORTH, A. T., STOCKHOFF, B. A., NARVA, K. E. (2002): Binary insecticidal crystal protein from *Bacillus thuringiensis*, strain PS149B1: effects of individual protein components and mixtures in laboratory bioassays. *Journal of Economic Entomology*, **95** (3), 635-639. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.3.635>
- HICKLING, C.F., (1966): On the feeding process in the White Amur, *Ctenopharyngodon idella*. *Jou. of Zoology*, **148**, 408-419. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1966.tb02960.x>
- HOLDERBAUM, D. F, CUHRA, M., WICKSON, F., ORTH, A. I., NODARI, R. O. BØHN, T. (2015): Chronic responses of *Daphnia magna* under dietary exposure to leaves of a transgenic (event *MON810*) *Bt*-maize hybrid and its conventional near-isoline. *J Tox Env Health.*, **78** (15), 993-1007. [doi:10.1080/15287394.2015.1037877](https://doi.org/10.1080/15287394.2015.1037877).
- HOLST, N., LANG, A., LÖVEI, G. L. OTTO, M. (2013): Increased mortality is predicted of *Inachis io* larvae caused by *Bt*-maize pollen in European farmland. *Ecol. Model.*, **250**: 126-133. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.11.006>

- HUNG, T. P., TRUONG, L. V., BINH, N. D., FRUTOS, R., QUIQUAMPOIX, H., STAUNTON, S. (2016): Persistence of detectable insecticidal proteins from *Bacillus thuringiensis* (Cry) and toxicity after adsorption on contrasting soils. *Environ. Pollut.*, **208** Pt B, 318-325. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.046>
- HUSZ, B: (1929): On the use of *Bacillus thuringiensis* in the fight against the corn borer. *Corn Borer Invest. Sci. Rep.*, **2**, 99-165.
- ILSI Research Foundation, Center for Environmental Risk Assessment (2011). A review of the environmental safety of the Cry1Ab protein. *Environ. Biosaf. Res.* **10** (3), 51–71. <https://doi.org/10.1051/ebr/2012003>
- INFOGM (2019): World and EU- Decrease in the area of transgenic GMOs in 2019. <https://www.infogm.org/7145-world-and-eu-decrease-area-transgenic-gmos-2019?lang=fr#nb2-3>. Lekérdezés időpontja: 2022.06.16.
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications) (2019): Event name: *MON810*. <https://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/event/default.asp?EventID=85>. Lekérdezés időpontja: 2022.06.16.
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications) (2026): GM Approval Database. <https://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/> Lekérdezés időpontja: 2026.01.20.
- JENKINS, J., N. (1993): Use of *Bacillus thuringiensis* genes in transgenic cotton to control lepidopterous insects. *ACS Symp. Series* **524**, 267-280. <https://doi.org/10.1021/bk-1993-0524.ch019>
- JOUZANI, G. S., VALIJANIAN, E., SHARAFI, R. (2017): *Bacillus thuringiensis*: a successful insecticide with new environmental features and tidings. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **101**, 2691–2711. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8175-y>
- KELKER, M. S., BERRY, C., EVANS, S. L., PAI, R., McCASKILL, D. G., WANG, N. X., RUSSELL, J. C., BAKER, M. D., YANG, C., PFLUGRATH, J. W., WADE, M., WESS, T. J., NARVA, K. E. (2014): Structural and biophysical characterization of *Bacillus thuringiensis* insecticidal proteins Cry34Ab1 and Cry35Ab1. *PLoS One*, **9** (11), e112555. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112555>

- KESZTHELYI, S., (2004): A kukoricamolyle (*Ostrinia nubilalis* Hübner) bionómiája. Doktori disszertáció. Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely, Magyarország. pp. 1-206.
- KISS, I. (2019): Rendszertani és evolúciós történet. *In*: KOVÁCS, B., URBÁNYI, B. (Szerk.): Kínai „növényevő” pontyfélék biológiája és tenyésztése. Gödöllő: Vármédia-Print Kft. 204p, 19-34pp.
- KNOWLES, B. H., DOW, J. A. T. (1993): The crystal delta-endotoxins of *Bacillus thuringiensis* – Models for their mechanism of action on the insect gut. *Bioessays*, **15**, 469-476. <https://doi.org/10.1002/bies.950150706>
- KOLE, C., PANDEY, S., YASIN, J. K., MAMIDI, S., BOHRA, A., BHATTACHARYA, P., DHANRAJ, D., MADHAVAN, G., SAINI, D., GANGULI, S., HA. B., MANDAL, S., AGARWAL, S., PILLAI, A. M., NAGESWARA-RAO, M., CHAKRABARTI, S. K., SHARMA, P. C., TALUKDAR, A., PANIGRAHI, J., BOOPATHI M. N. (2025): Benefits, concerns, and sustainable alternatives to genetically modified crops from a global and Indian perspective. *Plant Genome*, **18**, e70154. <http://doi.org/10.1002/tpg2.70154>
- KRIEG, A., HUGER, A., M., LANGENBRUCH, G., A., SCHNETTER, W. (1983): *Bacillus thuringiensis* var. *tenebrionis*: en neuer, gegenüber Larven von Coleopteren wirksamer Pathotyp. *Z. Angew. Ent.* **96**, 500-508. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1983.tb03704.x>
- KRUTSAY, M. (1980): Szöveti technika. Budapest: Medicina Könyvkiadó, 204 p.
- LACOMEL, C. J., DUNSTONE, M. A., SPICER, B. A. (2021): Branching out the aerolysin, ETX/MTX-2 and Toxin_10 family of pore forming proteins. *J. Invertebr. Pathol.*, **186**, 107570. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2021.107570>
- LANG, A., LEE, M., DOLEK, M., BERCHTOLD, J., OTTO, M. (2019): Laboratory tests with Lepidoptera to assess non-target effects of *Bt* maize pollen: analysis of current studies and recommendations for a standardised design. *Environ. Sci. Eur.*, **31**, 39. (2019). <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0220-2>
- LAUBER, É. (2011): A *MON810* *Bt*-kukorica Cry1-toxintartalma és pollenjének hatása a hazai védett lepkékre. Doktori disszertáció, Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar, Budapest, Magyarország pp. 1–107.

- LAUBER, É., DARVAS, B. (2009): Increased mortality of isolated first instar larvae of *Inachis io* (Lepidoptera). *Acta Phytopath. Entomol. Hung.*, **44** (1), 111-117. <https://doi.org/10.1556/aphyt.44.2009.1.11>
- LI, H., CHENG, X., WANG, L., XIE, P., ZHANG, H., YANG, Y., LIU, T., WANG, Y. (2025): Global trends in the commercialization of genetically modified crops in 2024. *J. Integr. Agric.*, online first. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2025.11.037>
- LI, L., BALTO, G., XU, X., SHEN, Y., LI, J. (2022): The feeding ecology of grass carp: A review. *Aquacult.*, **15** (4), 1335-1354. <https://doi.org/10.1111/raq.12777>
- LI, Y., MEISSLE, M., ROMEIS, J. (2008): Consumption of *Bt* maize pollen expressing Cry1Ab or Cry3Bb1 does not harm adult green lacewings, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *PLoS ONE* **3** (8), e2909. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002909>
- LIN, S., MILARDI, M., GAO, Y., WONG, M. H. (2022): Sustainable management of non-native grass carp as a protein source, weed-control agent and sport fish. *Aquaculture Research*, **53**, 5809–5824. <https://doi.org/10.1111/are.16080>
- LOHSE, K., MACKINTOSH, A., VILA, R. (2021): The genome sequence of the European peacock butterfly, *Aglais io* (Linnaeus, 1758). *Wellcome Open Res.*, **6**, 258. <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.17204.1>
- LÖVEI, G.L., LANG, A., FERRANTE, M., BACLE, V. (2020): Can the growing of transgenic maize threaten protected Lepidoptera in Europe? *Insect Sci.*, **28** (4), 1159-1168. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12849>
- LUTZ, B., WIEDEMANN, S., EINSPANIER, R., MAYER, J., ALBRECHT, C. (2005): Degradation of Cry1Ab protein from genetically modified maize in the bovine gastrointestinal tract. *J. Agric. Food Chem.*, **53**, 1453-1456. <https://doi.org/10.1021/jf049222x>
- MALLEY, L. A., EVERDS, N. E., REYNOLDS, J., MANN, P. C., LAMB, I., ROOD, T., SCHMIDT, J., LAYTON, R. J., PROCHASKA, L. M., HINDS, M., LOCKE, M., CHUI, C-F., CLAUSSEN, F., MATTSSON, J. L., DELANEY, B. (2007): Subchronic feeding study of DAS-59122-7 maize grain in Sprague-Dawley rats. *Food Chem. Toxicol.*, **45**, 1277-1292. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.01.013>
- MASSON, L., SCHWAB, G., MAZZA, A., BROUSSEAU, R., POTVIN, L., SCHWARTZ, J. L. (2004): A novel *Bacillus thuringiensis* (PS149B1) containing a Cry34Ab1/ Cry35Ab1

- binary toxin specific for the western corn rootworm *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte forms ion channels in lipid membranes. *Biochemistry*, **43** (38), 12349-12357. <https://doi.org/10.1021/bi048946z>
- MASRI, L., BRANCA, A., SHEPPARD, A. E., PAPKOU, A., LAEHNEMANN, D., GUENTHER, P. S., PRAHL, S., SAEBELFELD, M., HOLLENSTEINER, J., LIESEGANG, H., BRZUSZKIEWICZ, E., DANIEL, R., MICHELIS, N. K., SCHULTE, R. D., KURTZ, J., ROSENSTIEL, P., TELSCHOW, A., BORBERG-BAUER, SCHULENBURG, H (2015): Host–Pathogen Coevolution: The selective advantage of *Bacillus thuringiensis* virulence and its cry toxin genes. *PLoS Biol.* **13** (6), e1002169. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002169>
- MENDELSON, M., KOUGH, J., VAITUZIS, Z., MATTHEWS, K. (2006): Are *Bt* crops safe? *Nat. Biotechnol.*, **21**, 1003-1009. <https://doi.org/10.1038/nbt0903-1003>
- MESSÉAN, A., ÁLVAREZ, F., DEVOS, Y., SÁNCHEZ-BRUNETE, E., CAMARGO, A. M. (2025). Assessment of the 2023 post-market environmental monitoring report on the cultivation of genetically modified maize *MON810* in the EU. *EFSA J.* **23** (8), e9613. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9613>
- MÉZES, M. (2019): A kínai növényevő pontyfélék táplálkozása. In: KOVÁCS, B., URBÁNYI, B. (Szerk.): Kínai „növényevő” pontyfélék biológiája és tenyésztése. Gödöllő: Vármédia-Print Kft. 204 p, pp. 81-88.
- MEZZOMO, B. P., MIRANDA-VILELA, A. L., BARBOSA, L. C. P., ALBERNAZ, V. L., GRISOLIA, C. K. (2016): Hematotoxicity and genotoxicity evaluations in swiss mice intraperitoneally exposed to *Bacillus thuringiensis*(*var. kurstaki*) spore crystals genetically modified to express individually *CryIAa*, *CryIAb*, *CryIAc*, or *Cry2Aa*. *Environ. Toxicol.*, **31**, 970–978. <https://doi.org/10.1002/tox.22106>
- MICHÉLI, E., CSORBA, Á., SZEGI, T., DOBOS, E., FUCHS, M. (2019): The soil types of the modernized, diagnostic based Hungarian Soil Classification System and their correlation with the World reference base for soil resources. *Hung. Geogr. Bull.*, **68** (2), 109–111. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.68.2.1>
- MICHÉLI, E., FUCHS, M., GELSLEICHTER, Y., ZEIN, M., CSORBA, Á. (2024): Spectroscopy supported definition and classification of sandy soils in Hungary. In *Sandy Soils*; Hartemink, A.E., Huang, J., (Eds.): Springer: Cham, Switzerland, pp. 63–74. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50285-9_6

- MOELLENBECK, D. J., PETERS, M. L., BING, J. W., ROUSE, J. R., HIGGINS, L. S., SIMS, L., NEVSHEMAL, T., MARSHALL, L., ELLIS, R. T., BYSTRAK, P. G., LANG, B. A., STEWART, J. L., KOUBA, K., SONDAG, V., GUSTAFSON, V., NOUR, K., XU, D., SWENSON, J., ZHANG, J., CZAPLA, T., SCHWAB, G., JAYNE, S., STOCKHOFF, B. A., NARVA, K., SCHNEPF, H. E., STELMAN, S. J., POUTRE, C., KOZIEL, M., DUCK, M. (2001): Insecticidal proteins from *Bacillus thuringiensis* protect corn from corn rootworms. *Nat. Biotech.*, **19** (7), 668-672. <https://doi.org/10.1038/90282>
- MUELLER, U., GORST, J. (2012): Comment on “Maternal and fetal exposure to pesticides associated to genetically modified foods in Eastern Townships of Quebec, Canada” by A. Aris and S. Leblanc [*Reprod. Toxicol.* **31** (2011) 528–533]. *Reprod. Toxicol.* **33**, 401–402. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2012.01.012>
- NARVA, K. E., SCHNEPF, H. E., KNUTH, M., POLLARD, M. R., CARDINEAU, G., SCHWAB, G. E. (2000): Pesticidal Proteins. United States Patent (Patent Number: 6677148). United States Patent Office.
- NARVA, K. E., WANG, N. X., HERMAN, R. (2017): Safety considerations derived from *Cry34Ab1/Cry35Ab1* structure and function. *Jou. of Invert. Path.*, **142** 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2016.07.019>
- NGUYEN, T. H., JEHLE, J. A. (2007): Quantitative analysis of the seasonal and tissue specific expression of *Cry1Ab* in transgenic maize *MON810*. *J. Plant Dis. Protect.*, **114**, 82-87. <https://doi.org/10.1007/BF03356208>
- OCSKÓ, Z.; ERDŐS, GY.; MOLNÁR, J. (2000-2024): Növényvédő szerek, terméshozó anyagok I. *Agrinex Bt*. Budapest.
- ODELL, J. T., NAGY, F., CHUA, N. H. (1985): Identification of DNA sequences required for activity of the cauliflower mosaic virus 35S promoter. *Nature*, **313**, 810-812. <https://doi.org/10.1038/313810a0>
- OGAWA, M., YAGASAKI, M., YAMAZAKI, F. (1973): The effect of prolactin on water influx in isolated gills of the goldfish, *Carassius auratus* L. *Comp. Biochem. Physiol.* **44A**, 1177-1183. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(73\)90257-0](https://doi.org/10.1016/0300-9629(73)90257-0)
- OLIVEIRA-FILHO, E. C., GRISOLIA, C. K. (2022): The Ecotoxicology of Microbial Insecticides and Their Toxins in Genetically Modified Crops: An Overview. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **19**, 16495. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416495>

- OMOTO, C., BERNARDI, O., SALMERON, E., SORGAT TO, R.J., DOURADO, P.M., CRIVELLARI, A., CARVALHO, R.A., WILLSE, A., MARTINELLI, S., HEAD, G.P. (2015): Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest. Manag. Sci.*, **72**, 1727-1736. <https://doi.org/10.1002/ps.4201>
- OPPERT, B., KRAMER, K. J., BEEMAN, R. W., JOHNSON, D., MCGAUGHEY, W. H. (1997): Proteinase-mediated insect resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins. *J. Biol. Chem.* **272**, 23473-23476. <https://doi.org/10.1074/jbc.272.38.23473>
- OPUSZYNSKI, K. (1967): Comparison of temperature and oxygen tolerance in grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.), silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.), and mirror carp (*Cyprinus carpio* L.). *Ekol. Pol.*, **15** (17), 385-400.
- OPUSZYNSKI, K. (1972): Use of phytophagous fish to control aquatic plants. *Aquaculture*, **1**, 61-74. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(72\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(72)90008-7)
- PALMA, L., MUNOZ, D., BERRY, C., MURILLO, J., CABALLERO, P. (2014): *Bacillus thuringiensis* Toxins: An Overview of Their Biocidal Activity. *Toxins*, **6**, 3296-3325. <https://doi.org/10.3390/toxins6123296>
- PARDO-LÓPEZ, L., SOBERÓN, M., BRAVO, A. (2013): *Bacillus thuringiensis* insecticidal three-domain Cry toxins: mode of action, insect resistance and consequences for crop protection. *FEMS Microbiology Reviews*, **37** (1), 3-22. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2012.00341.x>
- PÉREZ-HEDO, M., LÓPEZ, C., ALBAJES, R., EIZAGUIRRE, M. (2012): Low susceptibility of non-target lepidopteran maize pests to the *Bt* protein Cry1Ab. *Bull. of Ent. Res.* **102**, 737-743. <http://doi.org/10.1017/S0007485312000351>
- PERRY, N. J., DEVOS, Y., ARPAIA, S., BARTSCH, D., GATHMANN, A., HAILS, R. S., KISS, J., LHEUREUX, K., MANACHINI, B., MESTDAGH, S., NEEMANN, S. G., ORTEGO, F., SCHIEMANN, J. SWEET, J.B. (2010): A mathematical model of exposure of non-target Lepidoptera to *Bt*-maize pollen expressing Cry1Ab within Europe. *Proc. R. Soc. B.*, **277**, 1417-1425. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.2091>
- PINTÉR, K., PÓCSI, L. (2002): Hal. In: MIHÓK, S. (Sorozatszerk.): Gazdasági állataink – Fajtatan. Budapest: Mezőgazda Kiadó. 77 p.
- POLANCZYK, R. A., VAN FRANKENHUYZEN, K., PAULI, G. (2017): The American *Bacillus thuringiensis* Based Biopesticides Market. In: FIUZA, L., POLANCZYK, R.,

- CRICKMORE, N. (Eds.): *Bacillus thuringiensis* and *Lysinibacillus sphaericus*. Springer. Svájce, Cham, pp. 173-184. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56678-8_11
- PUSZTAI, Á., GRANT, G., BARDÓCZ, S., ALONSO, R., CHRISPEELS, M. J., SCHROEDER, H. E., TABE, L. M., HIGGINS, T. J. V. (1999): Expression of the insecticidal bean-amylase inhibitor transgene has minimal detrimental effect on the nutritional value of peas fed to rats at 30% of the diet. *J. Nutr.*, **129**, 1597–1600. <https://doi.org/10.1093/jn/129.8.1597>
- PUSZTAI, Á.; BARDÓCZ, Z. S.; EWEN, S. W. B. (2003): Genetically modified foods: Potential human health effects. *In* Food Safety: Contaminants and Toxins; D’Mello, J. P. F., (Ed.) CAB International: Wallingford, Oxon, UK, 2003; pp. 347–372, <https://doi.org/10.1079/9780851996073.0000>
- RANGEL, G. (2015): From Corgis to Corn: A Brief Look at the Long History of GMO Technology - Science in the News. Harvard University: The Graduate School of Arts and Sciences. <https://sites.harvard.edu/sitn/2015/08/09/from-corgis-to-corn-a-brief-look-at-the-long-history-of-gmo-technology/> Lekérdezés időpontja: 2025.10.09.
- REVILLA, P., ALVES, M. L., ANDELKOVIĆ, V., BALCONI, C., DINIS, I., MENDES-MOREIRA, P., REDAELLI, R., RUIZ DE GALARRETA, J. I., VAZ PATTO, M. C., ŽILIĆ, S., MALVAR, R. A. (2022): Traditional Foods From Maize (*Zea mays* L.) in Europe. *Front. Nutr.*, **8**, 683399. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.683399>.
- RITCHIE, W. W., HANWAY, J. J., BENSON, G. O. (1992) How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service, Special Report 48. https://www-archiv.fdm.uni-hamburg.de/online/library/maize/www.ag.iastate.edu/departments/agronomy/corn_grows.html Lekérdezés időpontja: 2025.10.09.
- RAMAN, R. (2017): The impact of Genetically Modified (GM) crops in modern agriculture: A review. *GM Crops & Food*, **8**, 195–208. <https://doi.org/10.1080/21645698.2017.1413522>
- RYZHKOVA, M. V., LOPATINA, E. B. (2015): Plasticity of the thermal developmental reaction norms in the european peacock butterfly *Inachis io* (Lepidoptera, Nymphalidae). *J Evol Biochem Phys*, **51** (3), 222—234. <https://doi.org/10.1134/S0022093015030076>
- SAGSTAD, A., SANDEN, M., HAUGLAND, Ø., HANSEN, A.-C., OLSVIK, P. A., HEMRE, G.-I. (2007) Evaluation of stress- and immune-response biomarkers in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fed different levels of genetically modified maize (*Bt* maize), compared with

its near-isogenic parental line and a commercial suprex maize. *J. Fish Dis.*, **30**, 201-212. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2007.00808.x>

SAGSTAD, A., SANDEN, M., KROGDAHL, A., BAKKE-MCKELLEP, A. M., FRØYSTAD, M., HEMRE, G. I. (2008): Organs development, gene expression and health of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed genetically modified soybeans compared to the near-isogenic non-modified parental line. *Aquacult. Nutr.*, **14**, 556-572. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00630.x>

SANAHUJA, G., BANAKAR, R., TWYMAN, R. M., CAPELL, T., AND CHRISTOU, P. (2011): *Bacillus thuringiensis*: a century of research development and commercial applications. *Plant Biotech. J.*, **9**, 283-300. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2011.00595.x>

SANDEN, M., ORNSRUD, R., SISENER, N. H., JORGENSEN, S., GU, J. (2013): Cross-generational feeding of Bt (*Bacillus thuringiensis*)-maize to zebrafish (*Danio rerio*) showed no adverse effects on the parental or offspring generations. *Br. J. Nutr.*, **110** (12), 2222-2233. <https://doi.org/10.1017/S0007114513001748>

SANDERS, P. R, ELSWICK, E. N., GROTH, M. E., LEDESMA, B. E. (1995) Evaluation of insect protected maize lines in 1994 U.S. field test locations. Study No. 94013901, MSL14179, an unpublished study conducted by Monsanto Company. EPA MRID No. 43665502.

https://archive.epa.gov/scipoly/sap/meetings/web/pdf/brad3_enviroassessment.pdf

Lekérdezés időpontja: 2025.10.16.

SAXENA, D., STOTZKY, G. (2001): *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) toxin released from root exudates and biomass of *Bt* corn has no apparent effect on earthworms, nematodes, protozoa, bacteria, and fungi in soil. *Soil Biol. Biochem.*, **33**, 1225-1230. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00027-X](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00027-X)

SÉRALINI, G.-E., CLAIR, E., MESNAGE, R., GRESS, S., DEFARGE, N., MALATESTA, M., HENNEQUIN, D., DE VENDÔMOIS, J.S. (2012): Retracted: Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. *Food Chem. Toxicol.*, **50**, 4221-4231. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.08.005>

SÉRALINI, G.-E., CLAIR, E., MESNAGE, R., GRESS, S., DEFARGE, N., MALATESTA, M., HENNEQUIN, M., DE VENDÔMOIS, J.S. (2014): Republished study: Long-term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. *Environ. Sci. Eur.*, **26** (14), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0014-5>

- SIEGFRIED, B. D., SPENCER, T. A., CRESPO, A. L. B., STORER, N. P., HEAD, G. P., OWENS, E. D., GUYER, D. (2007): Ten years of *Bt* resistance monitoring in the European corn borer: what we know, what we don't know and what we can do better. *Am. Entomol.*, **53**, 208-214. <https://doi.org/10.1093/ae/53.4.208>
- SIMON, L., BÁNÁTI, H., SZIKORA, B., MATKÓ, J., BASKA, F., SZÉKÁCS, A., DARVAS, B. (2016): Áramlási citometriás vérkép amur (*Ctenopharyngodon idella*) Cry1- (*MON810*) és Cry3-toxinnal (*DAS-59122*) való hathónapos etetése után [N°5] *Abs. VI. Ökotoxikológiai Konferencia, VI*, pp. 31–32.
- SISSENER, N. H., BAKKE, A. M., GU, J., PENN, M. H., EIE, E., KROGDAHL, A., SANDEN, M., HEMRE, G.-I. (2009): An assessment of organ and intestinal histomorphology and cellular stress response in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed genetically modified Roundup Ready soy. *Aquaculture*, **298**, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.10.011>
- SISSENER, N. H., JOHANNESSEN, L. E., HEVRØY, E. M., WIIK-NIELSEN, C. R., BERDAL, K. G., NORDGREEN, A., HEMRE, G.-I. (2010): Zebrafish (*Danio rerio*) as a model for investigating the safety of GM-feed ingredients (soya and maize); performance, stress response and uptake of dietary DNA sequences. *Br. J. Nutr.*, **103**, 3-15. <https://doi.org/10.1017/S0007114509991401>
- SMITH, J. L., FARHAN, Y. (2023): Monitoring resistance of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) in Canada to Cry toxins produced by *Bt* corn, *J. Econ. Entomol.*, **116**, (3), 916-926. <https://doi.org/10.1093/jee/toad046>
- SSEMUGENZE, B., OCWA, A., BOJTOR, CS., ILLÉS, Á., ESIMU, J., NAGY, J. (2024): Impact of research on maize production challenges in Hungary. *Heliyon*, **10**, e26099. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26099>
- STANLEY-HORN, D. E., DIVELY, G. P., HELLMICH, R. L., MATTILA, H. R., SEARS, M. K., ROSE, R., JESSE, L. C., LOSEY, J. E., OBRYCKI, J. J., LEWIS, L. (2001): Assessing the impact of Cry1Ab-expressing corn pollen on monarch butterfly larvae in field studies. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **98** (21), 11931-11936. <https://doi.org/10.1073/pnas.211277798>
- SZÉKÁCS, A. (2020): Environmental analytical and ecotoxicological aspects of *Bt* maize in the Pannonian Biogeographical Region of the European Union. In: Hawksworth, D. L., Pessoa de Miranda, M., Chaurasia, A. (Eds.): *GMOs: Implications for Biodiversity Conservation and*

Ecological Processes. Springer Nature, Dordrecht. pp. 149-172. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53183-6_7

SZÉKÁCS, A. (2021): Herbicide mode of action. *In*: MESNAGE, R., ZALLER, J. G., (Szerk.): Herbicides. Chemistry, Efficacy, Toxicology and Environmental Impacts. Elsevier, Amsterdam. ISBN 978-0-12-823674-1 pp. 41-86. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-04861-3>

SZÉKÁCS, A. (2024): Overcoming the barriers to adoption of microbial bioherbicides. *Pest Manag. Sci.* **80** (1), 8-9. <https://doi.org/10.1002/ps.7748>

SZÉKÁCS, A., DARVAS, B. (2007): A *MON810*-es kukorica Cry1-toxin termelése és annak tarlómaradványokban való bomlása. *In*: DARVAS, B. (Szerk.): Mezőgazdasági géntechnológia, elsőgenerációs GM-növények: Országgyűlési Nyílt Nap: részletek az Országgyűlés Felsőházi Termében 2006. november 22-én tartott programból. Budapest: Magyar Országgyűlés Mezőgazdasági Bizottsága, ISBN 978-963-87505-1-8, pp. 27-30pp.

SZÉKÁCS, A., DARVAS, B. (2012a): Environmental assessment of *MON810* maize in the Pannonian Biogeographical Region. *Acta Phytopath. Entomol. Hung.*, **47**, 307-319. <https://doi.org/10.1556/aphyt.47.2012.2.11>

SZÉKÁCS, A., DARVAS, B. (2012b): Environmental and ecological aspects of first generation genetically modified crops regarding their impacts in a European maize producer country. *Int. J. Environ. Prot.*, **2** (5), 9-15.

SZÉKÁCS, A., DARVAS, B. (2012c): Comparative aspects of Cry toxin usage in insect control. *In*: Ishaaya, I., Palli, S. R., Horowitz, A. R. (Eds.): Advanced Technologies for Managing Insect Pests. *Springer Science+Business Media Dordrecht*. pp. 195-230. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4497-4_10

SZÉKÁCS, A., LAUBER, É., JURACSEK, J., DARVAS, B. (2010): Cry1Ab toxin production of *MON810* transgenic maize. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **29** (1), 182-190. <https://doi.org/10.1002/etc.5>

TABASHNIK, B. E., CARRIÈRE, Y. (2019): Global patterns of resistance to *Bt* cropshighlighting pink bollworm in the United States, China, and India. *J. Econ. Entomol.*, **112** (6), 2513-2523. <https://doi.org/10.1093/jee/toz173>

TABASHNIK, B. E., FABRICK, J. A., CARRIÈRE, Y. (2023): Global Patterns of Insect Resistance to Transgenic *Bt* Crops: The First 25 Years. *J. of Econom. Entomol.*, **116** (2), 297-309. <https://doi.org/10.1093/jee/toac183>

- TABASHNIK, B. E., MOTA-SANCHEZ, D., WHALON, M. E., HOLLINGWORTH, R. M., CARRIÈRE, Y. (2014): Defining terms for proactive management of resistance to *Bt* crops and pesticides. *J. Econ. Entomol.*, **107**, 496-507. <https://doi.org/10.1603/EC13458>
- TAKÁCS, E. (2015): Immunanalitikai módszerek kidolgozása *Bacillus thuringiensis* endotoxin(ok) kimutatására. Doktori disszertáció, Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskola, Gödöllő, Magyarország pp. 1–116.
- TAKÁCS, E., DARVAS, B., SZÉKÁCS, A. (2012a): Analytical difficulties and certain biological aspects of Cry1Ab toxin determination in MON810 genetically modified maize. *Acta Phytopath. Entomol. Hung.*, **47** (2), 293-306. <https://doi.org/10.1556/aphyt.47.2012.2.10>
- TAKÁCS, E., FÓNAGY, A., JURACSEK, J., KUGLER, N., SZÉKÁCS, A. (2012b): Characterization of tritrophic effects of DAS-59122-7 maize in the seven-spotted ladybird (*Coccinella septempunctata*) feeding on the bird cherry-oat aphid (*Rhopalosiphum padi*). *IOBC Bulletin*, **73**, 121-134.
- TRABALZA-MARINUCCI, M., BRANDI G., RONDINI, C., AVELLINI, L., GIAMMARINI, C., COSTARELLI, S., ACUTI, G., ORLANDI, C., FILIPPINI, G., CHIARADIA, E., MALATESTA, M., CROTTI, S., ANTONINI, C., AMAGLIANI, G., MANUALI, E., MASTROGIACOMO, A. R., MOSCATI, L., HAOUET, M. N., GAITI, A., MAGNANI, M. (2008): A three-year longitudinal study on the effects of a diet containing genetically modified *Bt176* maize on the health status and performance of sheep. *Livest. Sci.*, **113**, 178-190. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.03.009>
- US EPA (2010a): Biopesticides Registration Action Document (BRAD) – *Bacillus thuringiensis* Cry34Ab1 and Cry35Ab1 Proteins and the Genetic Material Necessary for Their Production (PHP17662 T-DNA) in Event DAS-59122-7 Corn (OECD Unique Identifier: DAS-59122-7). https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/pip/cry3435ab1-brad.pdf
Lekérdezés időpontja: 2025.10.16.
- US EPA (2010b): *Cry1Ab* and *Cry1F* *Bt* Plant-Incorporated Protectants September 2010 Biopesticides Registration Action Document. <https://downloads.regulations.gov/EPA-HQ-OPP-2010-0607-0010/content.pdf> Lekérdezés időpontja: 2025.10.16.
- VAN DEN BERG, J., HILBECK, A., BØHN, T. (2019): Pest resistance to Cry1Ab *Bt* maize: Field resistance, contributing factors and lessons from South Africa. *Crop. Protection.*, **54**, 154-160. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.08.010>

- VAN EENENNAAM, A.L. (2013): GMOs in animal agriculture: time to consider both costs and benefits in regulatory evaluations. *J. Animal. Sci. Biotechnol.*, **4**, 37. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-37>
- VIEIRA, L., HISSA, D. C., SOUZA, T., GONCALVES, I. F. S., EVARISTO, J. A. M., NOGUEIRA, F. C. S., CARVALHO, A. F. U., FARIAS, D. (2021): Assessing the effects of an acute exposure to worst-case concentration of cry proteins on zebrafish using the embryotoxicity test and proteomics analysis. *Chemosphere*, **264**, 128538. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128538>
- WALSH, M. C., BUZOIANU, S. G., GARDINER, G. E., REA, M. C., GELENCSEÉR, É., JÁNOSI, A., EPSTEIN, M. M., ROSS, G. E., LAWLOR, P. G. (2011): Fate of transgenic DNA from orally administered *Bt MON810* maize and effects on immune response and growth in pigs. *PLoS ONE*, **6**, e27177. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027177>
- WALSH, M. C., BUZOIANU, S. G., REA, M. C., O'DONOVAN, O., GELENCSEÉR, É., ÚJHELYI, G., ROSS, R. P., GARDINER, G. E., LAWLOR, P. G. (2012): Effects of feeding *Bt MON810* maize to pigs for 110 days on peripheral immune response and digestive fate of the *CryIAb* gene and truncated *Bt* toxin. *PLoS ONE*, **7**, e36141. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036141>
- WANG, Y. D., LIU, W. X., LI, Z. P., QIU, B., LI, J., GENG, G., HU, B., LIAO, A., M., CAI, Y. P., WEN, M., WANG, S., QIN, Q., LUO, K., LIU, S. (2024): Improvement and application of genetic resources of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Reprod. Breed.*, **4**, 126-133. <https://doi.org/10.1016/j.repbre.2024.04.003>
- WATKINS, C.E., SHIREMAN, J.V., ROTTMANN, R.W., COLLE, D.E. (1981): Food habits of fingerling grasscarp. *The Prog. Fish-Culturist*, **43**, 95-97. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1981\)43\[95:FHOFGC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1981)43[95:FHOFGC]2.0.CO;2)
- WIEDEMANN, S., LUTZ, B., ALBRECHT, C., KUEHN, R., KILLERMANN, B., EINSPANIER, R., MEYER, H.H.D. (2009): Fate of genetically modified maize and conventional rapeseed, and endozoochory in wild boar (*Sus scrofa*). *Mamm. Biol.*, **74**, 191-197. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2008.07.002>
- WOLT, J. D., PETERSON, R. K. D., BYSTRAK, P., MEADE, T. (2003): A screening level approach for nontarget insect risk assessment: transgenic *Bt* corn pollen and the monarch butterfly (Lepidoptera: Danaidae). *Environ. Entomol.* **32** (2), 237-246. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-32.2.237>

- XING-GUO, L., HONG-YE, S., ZHAO-JUN, G., GUOFENG, C., JIE, W., HAO, Z. (2023): The environmental impact and development direction of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*, aquaculture. *J. World. Aquac. Soc.*, **54** (5), 1089-1426. <https://doi.org/10.1111/jwas.12990>
- YANG, G., NIU, Y., HEAD, G., PRICE, P. A. HU ANG, F. (2016): Performance of Cry1Ab susceptible and -heterozygous resistant populations of sugarcane borer in sequential feedings on non-*Bt* and *Bt* maize plant tissue. *Ent. Exp. et Appl.*, **162**, 51-59. <https://doi.org/10.1111/eea.12502>
- YIN Y, FLASINSKI S, MOAR W, BOWEN D, CHAY C, MILLIGAN J, KOUADIO, J.-L., PAN, A., WERNER, B., BUCKMAN, K., ZHANG, J., MUELLER, G., PREFTAKES, C., HIBBARD, B. E., PRICE, P., ROBERTS, J. (2020) A new *Bacillus thuringiensis* protein for Western corn rootworm control. *PLoS ONE*, **15** (11), e0242791. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242791>
- ZHANG, C., WOHLHUETER, R., ZHANG, H. (2016): Genetically modified foods: A critical review of their promise and problems. *Food Sci. & Human Wellnes*, **5** (3), 116-123. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.002>
- ZHANG, Q., ZHOU, X. (2025): *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab: a functional core of transgenic maize. *New Crops, online first*. <https://doi.org/10.1016/j.ncrops.2025.100092>
- ZHANG, X., CANDAS, M., GRIKO, N. M., TAUSSIG, R., BULLA JR. L. A. (2006): A mechanism of cell death involving an adenylyl cyclase/PKA signaling pathway is induced by the *Cry1Ab* toxin of *Bacillus thuringiensis*. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **103**, 9897-9902. <https://doi.org/10.1073/pnas.060401710>

M2 Publikációs lista

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-állománygyérítés 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 Unió szabályozás keretei. *Ökotoxikológia*, **5** (3-4), 45-54.
- GÉMES B., KLÁTYIK SZ., OLÁH M., TAKÁCS E., GYURCSÓ G., KRIFATON CS., DARVAS B., SZÉKÁCS A.** (2022): Összegző áttekintés a *glyphosate* biokémiai és ökotoxikológiai hatásainak kimutatására végzett *in vitro* és *in vivo* vizsgálatainkról. *Ökotoxikológia*, **4** (3-4), 67-74.
- 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 zoocidok. *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., GÉMES, 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 embrional 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.

OTTUCSÁK, 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 rovarirtószer-hatóanyag és bomlástermékeinek kimutatása a Budapesti Vegyiművek környékéről származó talajmintákból. In: *Talajtani Vándorgyűlés programfüzet*, 72.

DARVAS B., **GYURCSÓ G.**, SZÉKÁCS, A. (2024): A csipőszúnyog-állománygyérítés 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 csökkentia 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-maradékos szennyezettsége 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.

Köszönetnyilvánítás

A kísérletek tervezéséért és pályázati finanszírozásáért témavezetőmnek Darvas Bélának köszönöm a sokrétű segítségét.

Köszönettel tartozom Sárospataki Miklósnak belső témavezetőmnek a sok segítségért és az adminisztratív feladatok ellátásáért.

A *Inachis io* tenyészet kezeléséért Vajdics Gyöngyinek és Peregovits Lászlónak (Természettudományi Múzeum), az amur tenyészetért Pasaréti Gyulának és Cséffán Tamásnak tartozunk köszönettel. A módosított növények termesztése Nádasdi József érdeme.

A szabadföldi gyom- és mezővédő erősávok felvételezésében Csóti Attila és Darvas Béla, továbbá †Pifkó Dániel (Természettudományi Múzeum) működött közre. Az eredmények statisztikai értékelésében Podani János (ELTE) vett részt. Az üvegházi munkák értékelésében Bánáti Hajnalka közreműködött. A takarmányozási kísérletek boncolási és mintázási munkáiban Bánáti Hajnalka, Cséffán Tamás, Darvas Béla, Fejes Ágnes, Juracsek Judit, Klátyik Szandra, Oláh Mariann, Pasaréti Gyula, Simon László és Takács Eszter vettek részt.

A Cry-toxinmérést Székács András és Takács Eszter (munkahelyi vezetőim) irányították és Juracsek Judit segítségével történt. A vérminták sokrétű feldolgozásáért Vajdovich Péternek és Szabó Bernadettnek (Állatorvosi Egyetem) tartozunk köszönettel. A *TUNEL*-teszben Simon László volt segítségünkre. A szövettani minták feldolgozása Baska Ferenc (neki az általános állatorvosi felügyeletért is köszönet) és Vincze Boglárka (Állatorvosi Egyetem) irányításával történt. Az immunológiai mintafeldolgozását Matkó János és Szikora Bence (ELTE) segítette és Simon Lászlónak jár külön köszönet érte. A statisztikai munkákért Darvas Bélának, Simon Lászlónak és Takács Eszternek tartozom köszönettel.